

НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ УКРАЇНИ
«КИЇВСЬКИЙ ПОЛІТЕХНІЧНИЙ ІНСТИТУТ
імені ІГОРЯ СІКОРСЬКОГО»

Навчально-науковий інститут енергозбереження та енергоменеджменту
(повне найменування інституту, факультету)

Кафедра автоматизації електротехнічних та мехатронних комплексів
(повна назва кафедри)

«До захисту допущено»

Завідувач кафедри

_____ Сергій БОЙЧЕНКО
(підпис) (ім'я, прізвище)

« ____ » _____ 2023 р.

Дипломний проєкт

на здобуття ступеня бакалавра

за освітньо-професійною програмою – Інжиніринг автоматизованих
електротехнічних комплексів

спеціальності 141 Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка
(код та назва спеціальності)

на тему: «Електромеханічне обладнання та автоматизація адміністративної будівлі з
розробкою системи моніторингу та управління»

Виконав:

Студент 4 курсу, групи ОА-91 Маламан Д.О.
(шифр групи) (прізвище та ініціали) _____
(підпис)

Керівник ст. вик. Прядко С.Л.
(науковий ступінь, вчене звання, , прізвище, ініціали) _____
(підпис)

Консультант з електропостачання к. т. н., доцент Мейта О.В.
(науковий ступінь, вчене звання, , прізвище, ініціали) _____
(підпис)

Консультант з охорони праці д. т. н., професор Третякова Л.Д.
(науковий ступінь, вчене звання, , прізвище, ініціали) _____
(підпис)

Нормоконтролер к. т. н., доцент Кулаковський Л.Я.
(науковий ступінь, вчене звання, , прізвище, ініціали) _____
(підпис)

Рецензент _____
(науковий ступінь, вчене звання, , прізвище, ініціали) _____
(підпис)

Засвідчую, що у цій магістерській дисертації немає
запозичень з праць інших авторів без відповідних
посилань

Студент _____
(підпис)

Київ – 2023 року

НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ УКРАЇНИ
«КИЇВСЬКИЙ ПОЛІТЕХНІЧНИЙ ІНСТИТУТ
імені ІГОРЯ СІКОРСЬКОГО»

Навчально-науковий інститут енергозбереження та енергоменеджменту
(повне найменування інституту, факультету)

Кафедра автоматизації електротехнічних та мехатронних комплексів
(повна назва кафедри)

Рівень вищої освіти – перший (бакалаврський) за освітньо-професійною програмою
«Інжиніринг автоматизованих електротехнічних комплексів»

Спеціальність (спеціалізація) – 141 Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри

_____ **Сергій БОЙЧЕНКО**
(підпис) (ім'я, прізвище)
« ____ » _____ 2023 р.

ЗАВДАННЯ
на дипломний проєкт

студенту _____ **Маламану Дімітрію Олександровичу**
(прізвище, ім'я, по-батькові)

1. Тема проєкту «Електромеханічне обладнання та автоматизація адміністративної будівлі з розробкою системи моніторингу та управління» керівник проєкту Прядко Сергій Леонідович, старший викладач

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

затверджені наказом по університету від «31 » травня 2023 р. №2097-с

2. Дата подання студентом дисертації «16» червня 2023 р.

3. Вихідні данні до проєкту: Геометрія будівлі: Довжина $A=139,62$ м, ширина $B=16,1$ м, кількість поверхів $N=3$. Клімат: Мінімальна температура зовнішнього повітря $t_{зв} = - 22^{\circ}\text{C}$, температура повітря всередині будівлі $t_{вн}=18^{\circ}\text{C}$, середня швидкість повітря $\omega=8$ м/с.

4. Зміст пояснювальної записки:

- 1 Загально-технічна частина.** Огляд концепції інтелектуальної будівлі, вибір системи теплопостачання у якості об'єкта керування.
- 2 Електропостачання.** Розрахунок площі перерізу проводів, розрахунок струмів короткого замикання, вибір захисної апаратури, розробка схеми електропостачання адміністративної будівлі.
- 3 Спеціальна частина.** Розрахунок потужності насоса, вибір насоса за розрахованою потужністю, вибір теплообмінника, розрахунок параметрів теплообмінника

- 4 Автоматизація системи теплопостачання.** Виконання математичної моделі теплообмінного апарату, моделювання системи теплопостачання у програмному середовищі MatLab Simulink
- 5 Охорона праці.** Характеристика робочого приміщення, розрахунок штучного освітлення, розрахунок захисного заземлення. Оцінка ОТБ методом Елмері

5. Орієнтовний перелік графічного матеріалу:

1 аркуш - Загально-технічна частина;

2 аркуш - Схема електропостачання адміністративної будівлі;

3 аркуш - Спеціальна частина;

4 аркуш - Автоматизація системи теплопостачання адміністративної будівлі.

6. Консультанти розділів проєкту

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Дата, підпис	
		завдання видав	завдання прийняв
2. Електропостачання	к.т.н., доцент, Мейта О.В.		
5. Охорона праці	д.т.н., професор, Третьякова Л.Д.		

7. Дата видачі завдання: «15» квітня 2023 р.

Календарний план

№ з/п	Назва етапів виконання магістерської дисертації	Термін виконання етапів магістерської дисертації	Примітка
1.	Загально-технічна частина	15.05-20.05	виконано
2.	Електропостачання	21.05-24.05	виконано
3.	Спеціальна частина	25.05-1.06	виконано
4.	Охорона праці	2.06- 6.06	виконано
5.	Підготовка графічного матеріалу	7.06- 16.06	виконано

Студент

Науковий керівник

-

(підпис)

(підпис)

Дімітрій МАЛАМАН

(ім'я, прізвище)

Сергій ПРЯДКО

(ім'я, прізвище)

ВІДОМІСТЬ ДИПЛОМНОГО ПРОЄКТУ

№ з/п	Формат	Позначення	Найменування	Кількість в листів	Примітка
1	A4		Завдання на дипломний проект	2	
2	A4	ОА.91.08.2097-С.000 ПЗ	Пояснювальна записка	92	
3	A1	ОА.91.08.2097-С.000 С1	Загально-технічна частина	1	
4	A1	ОА.91.08.2097-С.000 С2	Спеціальна частина	1	
5	A1	ОА.91.08.2097-С.000 С3	Схема електропостачання адміністративної будівлі	1	
6	A1	ОА.91.08.2097-С.000 С4	Автоматизація системи теплопостачання адміністративної будівлі	1	

					ОА.91.08.2097-С.000						
Зм.	Аркуш	№ докум.	Підпис	Дата							
Розроб.		Маламан Д.О.			Відомість дипломного проєкту			Лит.	Аркуш	Аркушів	
Перевір.		Прядко С.Л.							1	1	
Реценз.								КПІ ім. Ігоря Сікорського Каф. АЕМК, гр. ОА-91			
Н. Контр.		Кулаковський Л.Я.									
Затверд.											

Пояснювальна записка
до дипломного проєкту
на тему: «Електромеханічне обладнання та
автоматизація адміністративної будівлі з
розробкою системи моніторингу та
управління»

Київ – 2023 року

РЕФЕРАТ

Дипломний проєкт на тему «Електромеханічне обладнання та автоматизація адміністративної будівлі з розробкою системи моніторингу та управління»: 92 с., 5 розділів, 23 рис., 21 табл., 20 джерел.

Проектування, система теплопостачання, енергоефективність, моделювання,
перетворювач частоти

Об'єкт дослідження – режими роботи системи теплопостачання адміністративної будівлі.

Мета роботи - створення енергоефективної системи автоматичного керування системою теплопостачання адміністративної будівлі.

Методи дослідження – аналіз та синтез, методи класифікації, порівняння; комп'ютерне моделювання; теорія оптимального керування.

У дипломному проєкті виконано автоматизацію системи теплопостачання адміністративної будівлі. Класифікація та порівняння сучасних систем теплопостачання дали змогу запропонувати використання двоконтурного теплового насоса та теплообмінника з U-подібними трубами.

Розроблена система автоматизації з використанням двоконтурного теплового насоса, що використовує як низькопотенційне джерело тепла зворотну мережеву воду, дозволила досягти тих температурних позначок, яких не можна було досягти при звичайних високотемпературних теплових насосах, використовуючи всього один контур даного насосу.

ABSTRACT

Diploma project on "Electromechanical equipment and automation of an administrative building with the development of a monitoring and control system": 92 pages, 5 sections, 23 figures, 21 tables 20 sources.

Design, heat supply system, energy efficiency, modeling, frequency converter

The object of research is the operating modes of the heat supply system of the administrative building.

The purpose of the work is to create an energy-efficient system of automatic control of the heat supply system of an administrative building.

Research methods – analysis and synthesis, methods of classification, comparison; computer modeling; theory of optimal control.

In the diploma project, the automation of the heat supply system of the administrative building was performed. Classification and comparison of modern heat supply systems made it possible to propose the use of a double-circuit heat pump and a heat exchanger with U-shaped pipes.

An automation system has been developed using a double-circuit heat pump, which uses return network water as a low-potential heat source, made it possible to reach those temperature marks that could not be reached with ordinary high-temperature heat pumps, using only one circuit of this pump.

Зміст

Вступ.....	3
Список скорочень	4
1 ЗАГАЛЬНО-ТЕХНІЧНА ЧАСТИНА	5
1.1 Моніторинг в системах тепло- та водопостачання адміністративних будівель	5
1.1.1 Інтелектуалізація будівель	5
1.2 Комплексна система моніторингу та керування будівлею	13
1.3 Моніторинг у системах тепло- та водопостачання будівлі	16
1.4 Організація моніторингу тепло- та водопостачання будівлі.....	18
2. ЕЛЕКТРОПОСТАЧАННЯ	20
2.1 Розрахунок освітлення	20
2.1.1 Розрахунок освітлення приміщення методом використання світлового потоку	20
2.1.2 Розрахунок прожекторного освітлення.....	22
2.2 Розрахунок електричних навантажень	24
2.3 Розрахунок електричних мереж	27
2.3.1 Вибір перетину провідників і жил кабелів за нагрівом	29
2.3.2 Вибір елементів електричної мережі за механічною міцністю	29
2.3.3 Перевірка мережі за втратами напруги.....	29
2.3.4 Остаточний вибір перетинів проводів і жил кабелів	31
2.4 Розрахунок струмів КЗ	32
2.5 Вибір електричних апаратів	37
2.5.1 Захист електродвигунів напругою до 1000 в плавкими запобіжниками	38
2.5.2 Вибір автоматичних вимикачів у загальнопромисловому виконанні та уставок їх захисту.....	38
2.5.3 Вибір КРП	39
3. СПЕЦІАЛЬНА ЧАСТИНА	42
3.1 Тепловий розрахунок будівлі	42
3.1.1 Розрахунок тепловтрат через вікна будинку.....	42
3.1.2 Розрахунок тепловтрат з інфільтрацією	48
3.1.3 Розрахунок тепловиділень від людей	50
3.1.4 Розрахунок тепловиділень від штучного освітлення	51
3.1.5 Тепловий баланс будівлі	52
3.2 Тепловий розрахунок теплонасосної установки	52
3.3 Розрахунок елементів теплонасосної установки	57
3.3.1 Розрахунок випарника	57
3.3.2 Розрахунок конденсатора.....	61
Висновки до розділу	64
4. АВТОМАТИЗАЦІЯ СИСТЕМИ ТЕПЛОПОСТАЧАННЯ	65

					ОА.91.08.2097-С.000 ПЗ			
Змн.	Арк	№ докум.	Підпис	Дата	Зміст			
Розроб.		Маламан Д.О.						
Перевір.		Прядко С.Л.						
Реценз.								
Н. Контр.		Кулаковський Л.Я.						
Затверд.								
					Літ.		Арк.	Аркушів
							1	92
					НТУУ "КПІ" НН-ІЕЕ ОА-91			

4.1 Математична модель теплообмінного апарату	65
4.2 Моделювання у програмному середовищі MatLab Simulink.....	70
4.3 Аналіз проведених експериментів на моделі	73
4.4 Проектування і розробка системи автоматичного керування двоконтурного теплового насоса.....	77
5 СИСТЕМА МОНІТОРИНГУ ОХОРОНИ ПРАЦІ ЕЛЕКТРОТЕХНІЧНОГО ПРАЦІВНИКА.....	80
5.1 Характеристика приміщення й організація робочого місця	80
5.2 Мікроклімат	80
5.3 Шкідливі речовини в повітрі робочої зони.	81
5.4 Освітлення	81
5.4.1 Природне освітлення	81
5.4.2 Штучне освітлення	82
5.5. Шум.....	83
5.6 Заходи для запобігання ураження електричним струмом	84
5.7 Пожежна безпека.....	87
5.8 Оцінка організаційно- технічної безпеки методом Елмері	88
Висновки з розділу.....	88
Висновки	90
Список використаної літератури.....	91

					ОА.91.08.2097-С.000 ПЗ	Арк
Змн.	Арк	№ докум.	Підпис	Дата		2

Вступ

Сучасне проектування та будівництво енергоефективних будівель передбачає прийняття способів життя, які є технічно, економічно обґрунтованими, екологічно та соціально життєздатними, без зміни звичного способу життя. При виборі енергозберігаючих технологій пріоритет віддається технічним рішенням, здатним одночасно поліпшити мікроклімат ділянки і захистити навколишнє середовище. Розгляд енергоефективних будівель як комплексу самостійних інноваційних рішень порушує системні принципи та призводить до зниження енергетичної та економічної ефективності проекту. Зростаючий попит на комфорт і послуги призвів до потреби в кращому моніторингу, контролі та управлінні системами опалення та водопостачання в будівлях. У кожної компанії свої вимоги до будівельного обладнання. При цьому дуже важливим є вибір відповідного технічного рішення системи керування.

Комплексні системи життєзабезпечення створені для сприяння ідеальним умовам для роботи та життя людей у будівлях, зниження експлуатаційних витрат та економії енергії.

					ОА.91.08.2097-С.000 ПЗ						
Змн.	Арк	№ докум.	Підпис	Дата							
Розроб.		Маламан Д.О.			Вступ			Літ.	Арк	Аркушів	
Перевір.		Прядко С.Л.								3	92
Реценз.											
Н. Контр.		Кулаковський Л.Я.						НТУУ “КПІ” НН-ІЕЕ ОА-91			
Затверд.											

Список скорочень

ІБ – інтелектуальна будівля

АСК – автоматична система керування

КСБ – комплекс систем безпеки;

КСЖ – комплекс систем життєзабезпечення;

КСІ – комплекс систем інформатизації;

СКС – структурована кабельна система

					ОА.91.08.2097-С.000 ПЗ	Арк
						4
Змн.	Арк	№ докум.	Підпис	Дата		

1 ЗАГАЛЬНО-ТЕХНІЧНА ЧАСТИНА

1.1 Моніторинг в системах тепло- та водопостачання адміністративних будівель

1.1.1 Інтелектуалізація будівель

Концепція «Розумної будівлі» полягає у створенні незалежної та взаємозалежної системи управління всіма інженерними системами в будівлі, забезпечення комфортного та безпечного середовища проживання, яке максимально відповідає потребам користувачів, мінімізуючи витрати на їх обслуговування.

Розумні будівлі – це будівлі, які застосовують сучасні технології в процесі проектування, будівництва та експлуатації, здатні керувати всім життєвим циклом будівлі та її підсистем в цілому, забезпечуючи сучасний рівень гарантії працездатності. Повна інженерна система, оптимальний режим роботи та економне споживання зовнішніх ресурсів [1].

Ключові особливості розумних будівель:
здатність оптимально реагувати на технологічні зміни, що відбуваються в будівлі;

Принцип децентралізованої (розподіленої) побудови системи поєднується з централізацією функцій моніторингу;

Структурний підхід до побудови інженерних систем;

Всі системи управління інтегровані між собою за мінімальними витратами;

					ОА.91.08.2097-С.000 ПЗ							
Изм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата								
Розроб.	Маламан Д.О.				Загально-технічна частина				Літ.	Арк	Аркушів	
Перевір.	Прядко С.Л.										5	90
Реценз.									НТУУ “КПІ”НН-ІЕЕ ОА-91			
Н. Контр.	Кулаковський Л.Я.											
Затверд.												

Обслуговування системи організовано оптимально;

Можливість розширення та зміни конфігурації встановленої системи;

Центральне диспетчерське управління забезпечує моніторинг, контроль і управління функціями будівлі.

Система життєзабезпечення розумної будівлі не тільки взаємодіє з системами безпеки, але й здійснює постійний саомоніторинг своєї мережі та пристроїв. Моніторинг пристроїв і мережевих функціональних можливостей, функція «розумних» систем, дозволяє запобігти аварійним ситуаціям, що є надзвичайно важливим у багатолюдних установках.

Просте визначення інтелектуальної будівлі з точки зору кабельної системи: це будівля з унікальною кабельною архітектурою, яка забезпечує протікання всіх потоків інформації: телефону, передачі даних у локальній мережі, відео та інших даних навіть до великої системи життєзабезпечення та управління будівлею.

Створення системи життєзабезпечення означає:

- телефонні та комп'ютерні мережі;
- контроль доступу до об'єктів;
- пожежна безпека будівель;
- Управління опаленням та гарячим водопостачанням;
- кондиціонування та вентиляція;
- Відеоспостереження в цілях безпеки.

					ОА.91.08.2097-С.000 ПЗ	Арк
						6
Змн.	Арк	№ докум.	Підпис	Дата		

Інтелектуальна будівля (ІВ - Intelligent Building) - це комплекс організаційних, інженерно-технічних заходів і програмних засобів, спрямованих на створення ефективної економічної інфраструктури для обслуговування комплексу, що максимально задовольняє потреби користувачів, будь то в спеціальних технічних засобах, ідеально за допомогою клімату та професійних умов праці працівників, забезпечення необхідного рівня захисту будівель від стихійних лих і несанкціонованого доступу, найбільш раціональне використання наявних енергетичних і комунальних ресурсів [4].

Можливості для розумних будівель величезні, а переваги для споживачів значні. Крім того, оскільки всі компоненти працюють в енергозберігаючому режимі, обмежений час витрачається на підтримку комфорту, економію матеріальних ресурсів.

Переваги концепції «розумного будинку»: виключення «людського фактору», комплексна безпека (захист інформації та мінімізація ризику нещасних випадків людини), автоматичний контроль та управління енергоресурсами, гнучке використання ресурсів (власних і зовнішніх), зниження витрат на управління та експлуатацію обладнання, програмований розподіл навантаження, можливість інтеграції та оновлення систем.

Створення промислових персональних комп'ютерних контролерів на основі мікропроцесорів дозволило розробити надійні високопродуктивні системи моніторингу, контролю та управління в будівельній галузі. Сьогодні існує багато різноманітних систем і протоколів, які забезпечують комплексний моніторинг інженерних систем будівлі [2, 3, 4].

1.2 Класи енергоефективності будівель

Сучасне законодавство сприяло світовому впровадженню енергоефективних технологій. Європейський стандарт EN 15232

					ОА.91.08.2097-С.000 ПЗ	Арк
						7
Змн.	Арк	№ докум.	Підпис	Дата		

«Енергетична ефективність будівель. Важливість для автоматизації, контролю та управління будівлями» розроблено та впроваджено відповідно до Європейської Директиви 2002/91/ЕС щодо енергетичної ефективності будівель. Цей стандарт описує методи оцінки впливу систем автоматизації та керування на енергоспоживання будівлі.

Для цього введено чотири класи ефективності від А до D. Після того як будівлю оснастили системами автоматизації та управління, її відносять до одного з цих класів. Потенційна економія тепла та електроенергії на кожному рівні розраховується на основі типу будівлі та використання. Показники категорії С використовуються як орієнтири при порівнянні енергоефективності інших систем

На малюнку нижче показано різницю між показниками енергоефективності категорій А, В і D по відношенню до значення категорії С

Таблиця 1.1 – різниця показників енергоефективності класів А, В, та D відносно значень класу С

Клас енергоефективності будівлі	Потенційна економія теплової енергії			Потенційна економія електричної енергії		
	Офіс	Школа	Готель	Офіс	Школа	Готель
Системи автоматизації і керування з високою енергетичною ефективністю	0,7	0,8	0,68	0,87	0,86	0,9
Системи автоматизації і керування з підвищеною енергетичною ефективністю	0,8	0,88	0,85	0,93	0,93	0,95
Стандартні системи автоматизації і керування будівлею	1	1	1	1	1	1

Неенергоефективні системи автоматизації і керування будівлею	1,51	1,2	1,31	1,1	1,07	1,07
--	------	-----	------	-----	------	------

Таблиця 1.2 – Перелік функцій та їх відповідності класу енергетичних характеристик

	Опалення	Вентиляція	Освітлення	Жалюзі
А	- Автоматичне регулювання температури на рівні приміщення за потребою (за сигналами датчику присутності) з прямим зв'язком між контролерами і SCADA - Змінна уставка температури теплоносія з компенсацією внутрішньої температури	- Автомати чне регулювання витрати повітря на рівні приміщення за фактичною потребою - Неперервне (0-100%) регулювання витрати повітря на рівні приміщення - Автомати чне регулювання повітряного потоку	- Автоматичне виявлення присутності - Автоматичне регулювання яскравості в залежності від рівня освітленості - Реєстрація енергоспоживання за зонами	Моторизовані жалюзі з комбінованим автоматичним керуванням

					ОА.91.08.2097-С.000 ПЗ	Арк
Змн.	Арк	№ докум.	Підпис	Дата		9

		тиску вентиляц ійних установо к - Змінна уставка температ ури припливн ого повітря з компенса цією внутрішн ьої температ ури		
В	- Автоматичне регулювання температури на рівні приміщення	- Автомати чне регулюва ння витрати повітря на рівні приміще нь за	- Автоматичн е виявлення присутності - Автоматичн е регулюванн я яскравості в залежності	Моторизов ані жалюзі з автоматичн им керування м

					ОА.91.08.2097-С.000 ПЗ	Арк
Змн.	Арк	№ докум.	Підпис	Дата		10

		фактично ю потребою . - Двопозиц ійне керуванн я витратою повітря на рівні приміще нь - Автомати чне регулюва ння повітрян ого потoku і тиску вентиляц ійних установо к	від рівня освітленості - Реєстрація загального енергоспожи вання освітлення	
С	Автоматичне регулювання температури по приміщеннях за допомогою термостатичних клапанів або електронних регуляторів Змінна уставка температури теплоносія/холодоносія з компенсацією зовнішньої температури Часткове взаємне блокування системи	- Автомати чне регулюва ння витрати повітряна рівні приміще ння за розкладо м	- Зональне ручне ввімк/вимк приміщення - Зональне ручне вимірюванн я яскравості - Централізов ане ручне вимк	Моторизов ані жалюзі з ручним керування м вимикачам и

					ОА.91.08.2097-С.000 ПЗ	Арк
Змн.	Арк	№ докум.	Підпис	Дата		11

		- Двопозиційне керування витратою повітря на рівні приміщень - Регулювання повітряного потоку за розкладом		
D	Відсутність автоматичного рег. Ентралізоване автоматичне керування приміщенням генерації або розподілу Ручне керування циркуляційними насосами	Відсутність регулювання витрати повітря Автоматичне керування установкою за розкладом Відсутність регулювання витрати повітря	Ручне ввімк/вимк	Ручне керування

Як бачимо з таблиці, застосування автоматизованих систем керування будівлею дає можливість знизити енергоспоживання і дозволяє легко задавати та підтримувати оптимальні параметри мікроклімату.

Застосування систем автоматизації з датчиками присутності дозволяють мінімізувати витрати на опалення та охолодження шляхом автоматичної зміни потрібного значення комфортної температури. Зміна необхідного значення комфортної температури на 1 градус забезпечить економію від 2% до 10%. Настільки незначна різниця між значенням комфортної і економної

					ОА.91.08.2097-С.000 ПЗ	Арк
Змн.	Арк	№ докум.	Підпис	Дата		12

температур дозволить на протязі декількох хвилин змінювати фактичну температуру в приміщенні та при цьому забезпечить суттєвий економічний ефект у моменти відсутності людей

1.3 Комплексна система моніторингу та керування будівлею

Загальна структурна схема комплексної системи управління будівлею наведена на рисунку 1.1. Система складається з центральної панелі управління, оснащеної сервером, і підсистемою управління та контролю будівлі, яку можна розділити на три основні напрямки. Впровадження такої системи управління залежить від фінансових можливостей цільового замовника та технічної кваліфікації будівельної компанії.

Бюджетні обмеження та проблеми з навколишнім середовищем підвищили вимоги до енергоменеджменту. Зростаючі вимоги до комфорту та сервісу призводять до потреби у вдосконаленні засобів керування. У кожній компанії свої вимоги до будівельного обладнання. При цьому дуже важливим є вибір правильного технічного рішення системи керування [5].

Системи управління будинками дозволяють:

Швидко приймати рішення в екстрених і аварійних ситуаціях (пожежа, повінь, витік води і газу, несанкціоноване проникнення в охоронювані місця); забезпечити своєчасну локалізацію аварійних ситуацій; отримувати об'єктивну інформацію про всі системи в будинку та їх робочий стан; забезпечують контроль і управління в надзвичайних ситуаціях; Забезпечення оптимального керування інженерним обладнанням для зниження витрат на використання енергетичних ресурсів (холодної та гарячої води, тепла, електроенергії, повітря тощо), що споживаються будівлями; Об'єктивний аналіз дій підрозділів охорони.

					ОА.91.08.2097-С.000 ПЗ	Арк
Змн.	Арк	№ докум.	Підпис	Дата		13

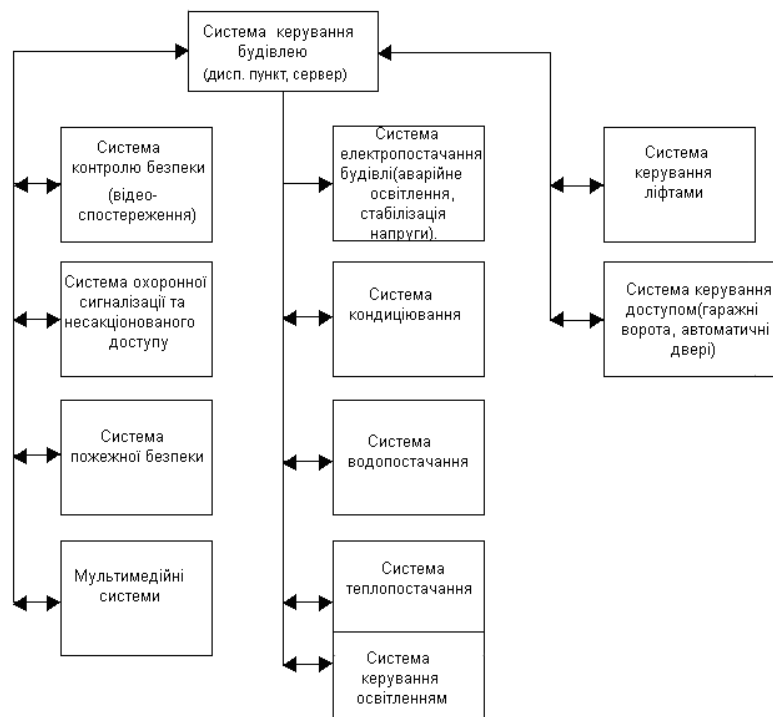


Рисунок 1.1 - Загальна структурна схема комплексної системи керування адміністративною будівлею

Основні елементи інтелектуальної будівлі («конструктивні» принципи побудови) [6]:

Комплекс систем безпеки (КСБ);

комплексна система життєзабезпечення (КСЖ);

Комплексна інформаційна система (КІС);

Структурована кабельна система (СКС);

Єдиний центр моніторингу, контролю та управління (корпус АСК).

Ключовою структурною одиницею розумної будівлі є єдиний диспетчерський центр, який контролює стан всього комплексу та керує системами життєзабезпечення будівлі. Щоб це працювало правильно, необхідно забезпечити всі взаємозв'язки між незалежними системами, ступінь їх інтеграції та основну структуру апаратного та програмного забезпечення. Тому при проектуванні розумних будівель одним із визначальних принципів є формування єдиного підходу при побудові всіх багатокomплексних систем. Такого єдиного підходу до формування комплексу багатofункціональних

Змн.	Арк	№ докум.	Підпис	Дата

ОА.91.08.2097-С.000 ПЗ

систем легше досягти, якщо створення розумної будівлі довірити одній компанії – системному інтегратору, який бере на себе повну відповідальність за кінцевий результат.

складна система життєзабезпечення

Комплексні системи життєзабезпечення створені для створення ідеальних умов для роботи та життя людей у будівлях, зниження експлуатаційних витрат та економії енергії.

Комплекс системи життєзабезпечення включає такі основні системи:

Системи моніторингу та контролю параметрів енергоефективності опалення, вентиляції та кондиціонування повітря;

система управління мікрокліматом;

Гарантована система безперебійного електропостачання;

Виведення систем моніторингу, контролю та управління енергопостачанням; системи освітлення та керування освітленням;

Система контролю та керування ліфтом;

Система обліку енергоресурсів та інші системи.

Складні системи опалення, вентиляції та кондиціонування повітря призначені для створення оптимальних параметрів повітря та підтримки їх на заданих рівнях у приміщеннях будівлі. На основі даних, отриманих від датчиків зовнішньої та внутрішньої температури повітря та алгоритму програмованого контролера, автоматично здійснюється моніторинг та керування процесом опалення системи опалення будівлі в холодну пору року. Керуйте роботою виконавчих механізмів (електропривод трубні засувки, приводи насосів).

Система управління мікрокліматом контролює параметри повітря в будівлі. Інтелектуальна система управління мікрокліматом будівлі побудована на базі розподіленої мережі управління, а за наявності центральної станції моніторингу забезпечує додаткові сервісні функції. Система управління складається з виконавчих контролерів, розташованих всередині будівлі,

					ОА.91.08.2097-С.000 ПЗ	Арк
Змн.	Арк	№ докум.	Підпис	Дата		15

підключених до серверів і робочих місць операторів автоматизації. Контролери зазвичай розташовуються поблизу контрольованого обладнання та датчиків. Вони обмінюються інформацією по мережі з автоматизованим робочим місцем оператора. У разі втрати зв'язку з оператором вони можуть працювати в автономному режимі за попередньо завантаженим алгоритмом програми.

Контролер забезпечує:

Отримання та попередня обробка інформації від датчиків температури і тиску;
Регулювання температури теплоносія в трубопроводі за заданим алгоритмом;
Контролювати стан теплообмінників і фільтрів;
Система самодіагностики локального управління;
Закривається в екстрених випадках.

Сучасна система управління складається з керуючого комп'ютера, підключеного до сервера бази даних, і мережевого контролера, до якого можна підключити сотні запущених (локальних) мережевих контролерів. При цьому останні дані доступні для всієї системи.

Системи, що гарантують безперебійне електропостачання, забезпечують споживачів електроенергією визначених параметрів, здійснюють моніторинг та контроль надходження електроенергії.

Система моніторингу живлення виконує найважливішу функцію - захищає інформацію, що зберігається на серверах і робочих станціях. У разі тривалого збою мережі програми, запущені на сайті, спочатку належним чином вимкнуться, а потім запуснуться на сервері.

Система енергообліку призначена для сумарного обліку води, тепла та електроенергії на вході в будівлю, обліку площ та передачі даних обліку в диспетчерську службу.

1.3 Моніторинг у системах тепло- та водопостачання будівлі

					ОА.91.08.2097-С.000 ПЗ	Арк
Змн.	Арк	№ докум.	Підпис	Дата		16

Впровадження програми моніторингу та розрахунків є необхідним для ефективного розподілу та споживання тепла та зменшення непродуктивних втрат.

Моніторинг — це процес забезпечення отримання безперервної актуальної інформації про роботу підприємства. Моніторинг повинен оцінювати ефективність виробництва, транспортування та споживання теплової енергії за фізичними та економічними показниками.

Моніторинг і управління системами опалення та водопостачання в будівлях - це програмно-апаратний комплекс, основною функцією якого є забезпечення надійного та гарантованого контролю цих систем, що використовуються в будівлях, а також обладнання, що їх реалізує.

Моніторинг базується на незалежній оцінці параметрів ефективності системи опалення та водопостачання на основі укрупнених основних показників:

- споживання ресурсів (палива, електроенергії, води, хімікатів);
- Фактичні втрати енергії та води на одиницю довжини теплової мережі (Вт/м, л/м) для заданого діапазону густини теплового навантаження
- (МВт/км). Щоб зменшити вартість і підвищити ефективність і ймовірність моніторингу, ми використовуємо найменший доступний набір даних, який важко підробити, як вихідні дані:

- ресурсоємність джерела;
- Потужність і площа обігріву;
- Середньодобова температура в опалювальний період.

Система моніторингу знижує споживання за рахунок:

Підвищення ефективності управління споживанням тепла та води;

					ОА.91.08.2097-С.000 ПЗ	Арк
Змн.	Арк	№ докум.	Підпис	Дата		17

Підвищення ефективності за рахунок виявлення непродуктивних втрат тепла, роботи обладнання в аварійному режимі тощо.

Перелік вимог до системи моніторингу параметрів енергоефективності опалення та водопостачання адміністративних будівель:

- зниження первинних витрат на виробництво теплової енергії;
- Мобільне управління цими системами без затримок;
- підвищення вимог до комфорту та обслуговування;
- Зменшити споживання енергії.

Вартість системи моніторингу та управління безпосередньо залежить від типу та обсягу виконуваних функцій.

1.4 Організація моніторингу тепло- та водопостачання будівлі

Добре організована та економічна система опалення адміністративної будівлі складається з кількох контурів і оснащена спеціальною системою моніторингу. Теплоносій від котла розподіляється по різних контурах опалення, кожен з яких має свою автоматику регулювання. Один контур забезпечує високотемпературне опалення будинку (радіатори), інший контур – коридори, службові приміщення. У зв'язку зі зміною подачі холодоагенту коригування температури здійснюється на основі даних, отриманих від датчиків температури. Індикатори знімаються зсередини та ззовні будівлі [2].

Організаційний моніторинг систем опалення та водопостачання виходить за рамки оснащення цих систем засобами моніторингу. По-перше, це впровадження організаційно-правової та нормативно-правової бази, яка забезпечує створення економічних стимулів для енергозбереження та підвищення енергоефективності виробництва та споживання тепла.

Функціональність систем моніторингу та контролю параметрів

					ОА.91.08.2097-С.000 ПЗ	Арк
						18
Змн.	Арк	№ докум.	Підпис	Дата		

енергоефективності в тепло- та водопостачанні - визначення джерел можливої економії в системах тепло- та водопостачання.

					ОА.91.08.2097-С.000 ПЗ	Арк
						19
Змн.	Арк	№ докум.	Підпис	Дата		

2 ЕЛЕКТРОПОСТАЧАННЯ

Проектування системи електропостачання виконується для адміністративної будівлі, що розташована у місті Києві та має наступні параметри:

Геометрія будівлі: Довжина $A=139,62$ м, ширина $B=16,1$ м, кількість поверхів $N=3$. Клімат: Мінімальна температура зовнішнього повітря $t_{зв} = -22^{\circ}\text{C}$, температура повітря всередині будівлі $t_{вн}=18^{\circ}\text{C}$, середня швидкість повітря $\omega=8$ м/с.

Живлення будівлі здійснюється від ВРП, все електроустаткування живиться від напруги 0,4 кВ.

2.1 Розрахунок освітлення

Освітлення територій та приміщень промислів виконується у відповідності з вимогами галузевих нормативних документів. Необхідна освітленість об'єктів досягається за допомогою системи загального робочого освітлення, а при необхідності, і додаткового місцевого.

2.1.1 Розрахунок освітлення приміщення методом використання світлового потоку

Вхідними умовами для розрахунку методом коефіцієнта світлового потоку є розміри приміщення – 7×16 м, та висота підвісу світильника $h = 1,8$ м. Нормована освітленість приміщення $E_H = 7,5$ лк, стеля світла, стіни сірі. Приймаємо тип світильника (Табл. 2.1) і знаходимо світловий потік лампи $F_{л}$.

					ОА.91.08.2097-С.000 ПЗ			
Змн.	Арк	№ докум.	Підпис	Дата	Електропостачання	Літ.	Арк	Аркушів
Розроб.		Маламан Д.О.						
Перевір.		Мейта О.В.					20	92
Реценз.						НТУУ “КПІ” НН-ІЕЕ ОА-91		
Н. Контр.		Кулаковський Л.Я.						
Затверд.								

Таблиця 2.1 – параметри обраного світильника (одноламповий)

Тип світильника	Тип лампи	Напруга, U, В	Потужність, Р, Вт	Світловий потік, $F_{\text{л}}$, лм	Коефіцієнт потужності, $\cos \varphi$	ККД %
Астра-1	Б 230-40-10 (розжарювання)	220-230	40	345	1	70

Розраховуємо показник приміщення:

$$i = \frac{A \cdot B}{h \cdot (A + B)} = \frac{7 \cdot 16}{1,8 \cdot (7 + 16)} = 2,705; \quad (2.1)$$

де А і В - довжина та ширина освітлюваного приміщення, м; h - висота підвісу світильника над робочою поверхнею, м.

Розраховуємо площу приміщення, враховуючи його прямокутну форму:

$$S = A \cdot B = 7 \cdot 16 = 112 \text{ м}^2; \quad (2.2)$$

Мінімальна освітленість по нормах приймається в залежності від умов проектування. Для приміщення заданого типу:

$$E_{\min} = E_{\text{н}} = 7,5 \text{ лк};$$

Коефіцієнт використання при індексі приміщення $i = 2,705$ (округлюємо до меншого значення 2,5) для світлого кольору стелі та сірого кольору стін визначаємо з довідкової літератури []:

$$K_{\text{в}} = 0,59;$$

Розраховуємо загальний світловий потік, потрібний для забезпечення необхідної освітленості:

$$F = \frac{K_3 \cdot E_{\min} \cdot S \cdot z}{K_{\text{в}}} = \frac{1,4 \cdot 7,5 \cdot 112 \cdot 1,35}{0,59} = 2690,8 \text{ лм}; \quad (2.3)$$

де K_3 - коефіцієнт запасу, який враховує старіння ламп та заповищеність їхніх ковпаків, $K_3 = 1,3 \dots 1,5$ для ламп розжарювання (приймаємо 1,4), $K_3 = 1,5 \dots 2,0$ для люмінесцентних ламп; z - коефіцієнт нерівномірності освітлення ($z = 1,3 \dots 1,4$ (приймаємо 1,35)).

Обчислюємо потрібну кількість ламп:

$$N = \frac{F}{F_{\text{л}}} = \frac{2690,8}{345} = 7,8; \quad (2.4)$$

Приймаємо $N = 8$ шт.

					ОА.91.08.2097-С.000 ПЗ	Арк
						21
Змн.	Арк	№ докум.	Підпис	Дата		

Розташовуємо 2 ряди по 4 світильники. Відстань між світильниками в ряду – 4 м, між рядами – 3,5 м.

Необхідну на освітлення приміщення світильниками потужність розраховуємо аналогічно точковому методу.

$$P_{po} = N \cdot P_{л} = 8 \cdot 40 = 320 \text{ Вт}; \quad (2.5)$$

2.1.2 Розрахунок прожекторного освітлення

Вхідні умови: промисловий майданчик розміром 15х35м, нормована освітленість майданчика $E_H = 2,5$ лк.

Освітлювану територію можна представити у вигляді прямокутника площею $S = A \cdot B$, m^2 , де A та B – довжина та ширина майданчику:

$$S = A \cdot B = 15 \cdot 35 = 525 \text{ м}^2;$$

Визначаємо світловий потік, необхідний для створення на площі необхідної освітленості E_H

$$\sum \Phi = E_H \cdot S \cdot Z \cdot k_3 \cdot k_{BT} = 2,5 \cdot 525 \cdot 2,5 \cdot 1,4 \cdot 1,4 = 6431,25 \text{ лм}; \quad (2.6)$$

де $k_3 = 1,2...1,5$ - коефіцієнт запасу, $k_{BT} = 1,15...1,5$ - коефіцієнт, що враховує втрати світла в залежності від конфігурації освітлюваної площі, $Z = 1...3$ - коефіцієнт нерівномірності освітлення. Приймаємо: $k_3 = 1,4$, $k_{BT} = 1,4$, $Z = 2,5$
Обираємо прожектор з параметрами, що вказані в табл 1.2.

Таблиця 2.2 – параметри прожектора ПЗМ – 35А (одноламповий)

Тип прожектора	Тип лампи	Напруга, В	Потужність, Вт	Світловий потік, лм 10^3	Максимальна сила світла, кд 10^3	ККД %
ПЗМ – 35А	Г220 – 500	220	500	7,2	40	25

Визначаємо число прожекторів для освітлення даної площі:

$$N_{пр} = \frac{\sum \Phi}{\Phi_{л} \cdot \eta_{пр}} = \frac{6431,25}{7200 \cdot 0,25} = 3,573; \quad (2.7)$$

де $\eta_{пр}$ = ККД прожектора; $\Phi_{л}$ - світловий потік лампи прожектора, лм.

Приймаємо кількість прожекторів ПЗМ – 35А: $N_{пр} = 4$ шт.

					ОА.91.08.2097-С.000 ПЗ	Арк
Змн.	Арк	№ докум.	Підпис	Дата		22

Визначаємо висоту встановлення прожектора на щоглі. За умовами обмеження осліплюючої дії висота установки прожекторів, м:

$$h \geq \sqrt{\frac{I_{\max}}{300}} = \sqrt{\frac{40000}{300}} = 11,55 \text{ м}; \quad (2.8)$$

де $I_{\max}$ - осьова сила світла прожектора.

Необхідну на освітлення прожекторами потужність розраховуємо аналогічно точковому методу.

$$P_{\text{ро}} = N_{\text{пр}} \cdot P_{\text{л}} = 4 \cdot 500 = 2000 \text{ Вт};$$

Де $N_{\text{пр}}$ – кількість прожекторів; $P_{\text{л}}$ -потужність прожекторів.

Обчислення сприятливого кута нахилу:

Освітленість світлової плями: $E_o = k_3 \cdot E_n \cdot h^2$ - коли освітлювана ділянка перекривається світловою прямою одного прожектора, $E_o = 1/2 \cdot k_3 \cdot E_n \cdot h^2$ - коли світлові плями прожекторів перекривають один одного:

$$E_o = 1/2 \cdot k_3 \cdot E_n \cdot h^2 = 1/2 \cdot 1,4 \cdot 2,5 \cdot 11,55^2 = 233,3 \text{ лк}. \quad (2.9)$$

де E_n - нормована освітленість, k_3 - коефіцієнт запасу.

Кут нахилу прожектора значно впливає на освітленість, форму і площу світлової плями. Кут θ , при якому пляма, обмежена кривою з заданою освітленістю, має найбільшу площу, називається оптимальним:

$$\theta = \arcsin \sqrt{m + n \cdot E_0^{\frac{2}{3}}} = \arcsin \sqrt{0,03 + 0,011 \cdot 233,3^{\frac{2}{3}}} = 41,95^\circ; \quad (2.10)$$

де m, n - постійні коефіцієнти кутів розсіювання для даного прожектора.

Відстань між щоглами визначається в процесі розрахунку освітленості, частіше усього складає $(6...8)h$ і, не повинна перевищувати $15h$.

Прожектори слід розмістити по 4 кутах майданчику і під нахилом $41,95^\circ$ до горизонталі.

					ОА.91.08.2097-С.000 ПЗ	Арк
						23
Змн.	Арк	№ докум.	Підпис	Дата		

2.2 Розрахунок електричних навантажень

Розрахунок навантажень *методом коефіцієнта попиту* проводиться від нижчих рівнів напруги до вищих, об'єднуючи електроприймачі у збірки (вузли).

Згідно з заданою інформацією щодо споживачів адмінбудівлі з 3 поверхами та підвалом будується спрощена розрахункова схема електропостачання (рис.2.1).

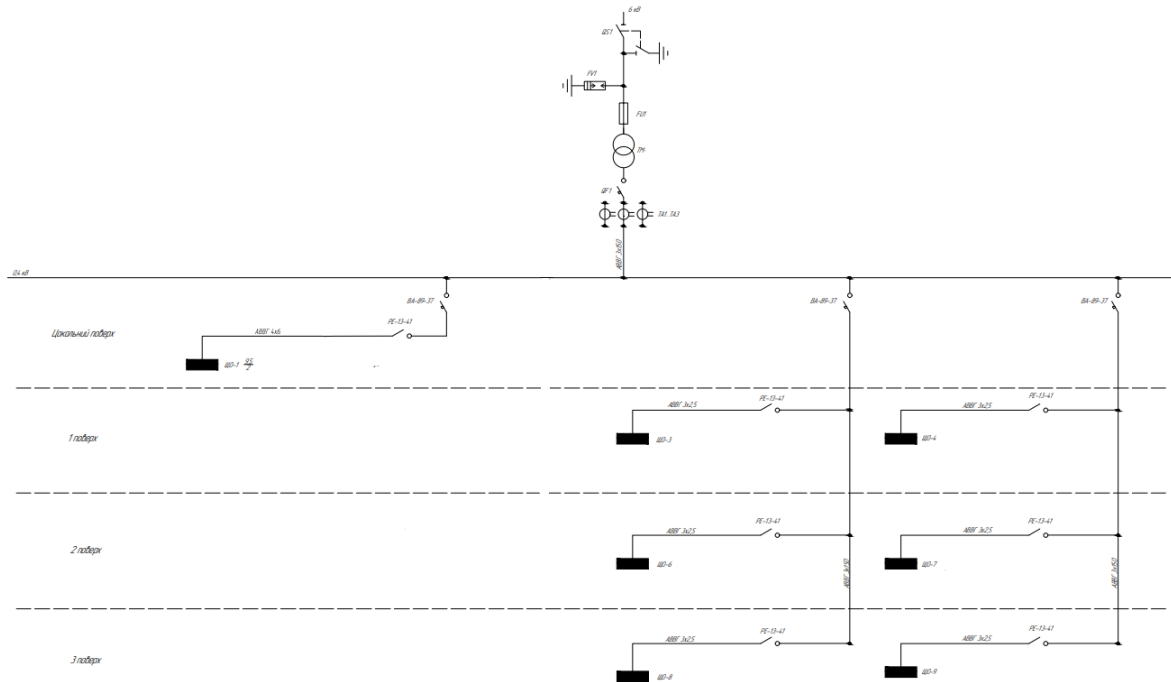


Рисунок 2.1 – Групування електроприймачів у збірки

Розрахункове активне навантаження P_p для кожного електроприймача:

$$P_p = K_{\Pi} \cdot \sum_{i=1}^n P_{\text{н.і.}};$$

$$P_{p1} = K_{\Pi 1} \cdot P_{\text{н1}} = 0,85 \cdot 2,2 = 1,87 \text{ кВт};$$

$$P_{p2} = K_{\Pi 2} \cdot P_{\text{н1}} = 1 \cdot 0,5 = 0,5 \text{ кВт};$$

Аналогічно для решти споживачів

Визначаємо розрахункове реактивне навантаження Q_p для кожного електроприймача

$$\operatorname{tg} \varphi_p = \operatorname{tg}(\arccos(\varphi_p))$$

$$1) \operatorname{tg} \varphi_1 = \operatorname{tg}(\arccos(0,9)) = 0,484;$$

$$2) \operatorname{tg} \varphi_2 = \operatorname{tg}(\arccos(0,8)) = 0,75;$$

					ОА.91.08.2097-С.000 ПЗ	Арк
Змн.	Арк	№ докум.	Підпис	Дата		24

$$3) \operatorname{tg} \varphi_3 = \operatorname{tg}(\arccos(0,85)) = 0,619;$$

$$4) \operatorname{tg} \varphi_4 = \operatorname{tg}(\arccos(0,6)) = 1,33;$$

$$Q_p = P_p \cdot \operatorname{tg} \varphi_p$$

$$Q_{p1} = P_{p1} \cdot \operatorname{tg} \varphi_{p1} = 1,87 \cdot 0,75 = 1,4 \text{ кВАр};$$

$$Q_{p2} = P_{p2} \cdot \operatorname{tg} \varphi_{p2} = 0,5 \cdot 0,484 = 0,242 \text{ кВАр};$$

$$S_p = \sqrt{P_p^2 + Q_p^2}$$

$$S_{p1} = \sqrt{P_{p1}^2 + Q_{p1}^2} = \sqrt{1,87^2 + 1,4^2} = 2,33 \text{ кВА};$$

$$S_{p2} = \sqrt{P_{p2}^2 + Q_{p2}^2} = \sqrt{0,5^2 + 0,242^2} = 0,555 \text{ кВА};$$

Аналогічно для решти споживачів

					ОА.91.08.2097-С.000 ПЗ	Арк
Змн.	Арк	№ докум.	Підпис	Дата		25

Таблиця 2.3 – Розрахунок електричних навантажень

Вхідні дані					Результати розрахунків			
Споживач	P_n , кВт	К-ть споживачів	$\cos\varphi$	K_p	$\operatorname{tg}\varphi$	P_p , кВт	Q_p , кВАр	S_p , кВА
1	2	3	4	5	6	7	8	9
Збірка № 1 – Підвал								
Циркуляційний насос Grundfoss	2,2	1	0,8	0,85	0,75	1,8 7	1.4025	2.3375
Світильники аварійного освітлення	0,5	1	0,9	1	0,484	0.5	0.242	0.5554
Допоміжне обладнання	4	1	0,8	0,2	0,75	0.8	0.6	1
Σ						3,1 7	2,244	3,884
Збірка № 2 – Кабінет-офіс								
Розетки зала	1,3	1	0,8	0,5	0,75	0.6 5	0.4875	0.8125
Розетки коридор	0,6	1	0,8	0,5	0,75	0.3	0.225	0.375
Вентиляційна установка	8	1	0,85	1	0,619	8	4.952	9.41
Освітлення приміщення	0,32	1	0,9	1	0,484	0.32	0.1549	0.3555
Кондиціонер	1,2	1	0,6	0,7	1,33	0.84	1.1172	1.3978
Розетки зала(негарантоване живлення)	1,3	1	0,8	0,5	0,75	0.65	0.4875	0.8125
Розетки зала(негарантоване живлення)	0,6	1	0,8	0,5	0,75	0.3	0.225	0.375
Σ						11.0 6	7,64	13,44
Загалом								
Збірка № 1		1				3,17	2,244	3,884
Збірка № 2		6	-	-	-	66,3 6	45,89	80,68
Σ						69,5 3	48,13	84,568

За розрахованою повною сумарною потужністю $\Sigma S_p = 84,568$ кВА і сферою застосування, враховуючи що трансформатор може працювати при навантаженні до 30% більше номінального, $U_{\text{номВН}} = 10$ кВ, а $U_{\text{номНН}} = 0,4$ кВ.

					ОА.91.08.2097-С.000 ПЗ			Арк
Змн.	Арк	№ докум.	Підпис	Дата				26

вибираємо трансформатор ТМ-100/10. Коефіцієнт одночасності прийнятий рівний 1.

Таблиця 2.4 - Технічні дані трансформатора ТМ-100/10

Тип	S _{ном} , кВА	Номинальна напруга, кВ		Витрати, кВт		Напруга КЗ, U _к %	Струм XX I _х , %	Схема і група з'єднань обмоток
		ВН	НН	XX, P _х , кВт	КЗ, P _к , кВт			
ТМ- 100/10	100	10	0,4	0,33	1,97	4,5	2,6	Y/Y _н - 0 Δ/Z _н -11

Розрахунок втрат активної та реактивної потужності в трансформаторах ТМ-100/10 :

$$\Delta P_{TЗ} = 0,02 \cdot S_{\text{ном.Т}} = 0,02 \cdot 100 = 2 \text{ кВт};$$

$$\Delta Q_{TЗ} = 0,1 \cdot S_{\text{ном.Т}} = 0,1 \cdot 100 = 10 \text{ кВАр};$$

2.3 Розрахунок електричних мереж

Кабельні лінії напругою до 1000 В вибирають аналогічно повітряним на цю ж напругу. При виборі перетинів проводів і жил кабелів розрахунковий струм навантаження групи електроприймачів визначається так:

$$I_n = P_p / \sqrt{3} \cdot U_H \cdot \eta_M \cdot \cos \varphi_p$$

$$I_p = S_p / \sqrt{3} \cdot U_H$$

де P_p , S_p - розрахункові навантаження для даного елемента мережі, кВт; кВА; U_H - напруга мережі (0,23 або 0,4), кВ; η_m - ККД мережі (для повітряних ЛЕП, 0,94...0,95; для-гнучких кабелів 0,97...0,99; $\cos \varphi_p$ - розрахунковий коефіцієнт потужності для даного елемента мережі.

Розрахунковий струм двигуна (груп двигунів) визначається по його номінальній потужності:

$$I_p = \frac{P_H}{\sqrt{3} \cdot U_H \cdot \eta_H \cdot \cos \varphi_H}$$

де η_H – ККД двигуна при номінальному навантаженні; $\cos \varphi_H$ – номінальний коефіцієнт потужності.

Враховуємо той факт, що всі лінії – кабельні лінії напругою до 1000 В (230 або 400 В)

Таблиця 2.5 – Вхідні дані для розрахунку електричних мереж

Споживач	№ лінії	Довжина лінії, м	Потужність, що передається лінією, кВт	$\cos \varphi$	ККД	Розрахунковий робочий струм лінії, А
1	2	3	5	6	7	8
Збірка № 1	L ₁	20	3,17	0,8	0,85	11.7
Циркуляційний насос Grundfoss	L _{1.1}	20	1.87	0,8	0,8	7.3
Світильники аварійного освітлення	L _{1.2}	20	0.5	0,9	0,9	1.55
Допоміжне обладнання	L _{1.3}	20	0.8	0,8	0,9	2.79
Збірка № 2	L ₂	15	11.06	0,85	0,85	38.4
Розетки зала	L _{2.1}	15	0.65	0,8	0,85	2.4
Розетки коридор	L _{2.2}	20	0.3	0,8	0,85	1.11
Вентиляційна установка	L _{2.3}	15	8	0,85	0,84	28.1
Освітлення приміщення	L _{2.4}	20	0.32	0,9	0,84	1.06
Кондиціонер	L _{2.5}	10	0.84	0,6	0,87	4.04
Розетки зала(негарантоване живлення)	L _{2.6}	25	0.65	0,8	0,9	2.3

Продовження таблиці 2.5

Розетки зала(негарантоване живлення)	L _{2.7}	25	0.3	0,8	0,9	1.04
Загальний	L ₃	50	69,53	0,82	0.8	266.06
Збірка № 2.1	L _{3.1}	15	11.06	0,85	0.85	38.43
Збірка № 2.2	L _{3.2}	20	11.06	0,85	0.85	38.43
Збірка № 2.3	L _{3.3}	20	11.06	0,85	0.85	38.43
Збірка № 2.4	L _{3.4}	25	11.06	0,85	0.85	38.43
Збірка № 2.5	L _{3.5}	25	11.06	0,85	0.85	38.43

2.3.1 Вибір перетину провідників і жил кабелів за нагрівом

Вибір перетину провідників за нагрівом зводиться до порівняння розрахункового струму I_P з довготривалими припустимими струмами навантаження,

$$I_P \leq I_{\text{доп}}$$

2.3.2 Вибір елементів електричної мережі за механічною міцністю

Кабельні лінії для силових та освітлювальних мереж: Мідь: $S_{\text{мех}} = 2,5 \text{ мм}^2$.
Умови вибору кабелів за механічною міцністю наведені в додатку 77 [7].

2.3.3 Перевірка мережі за втратами напруги

Для низьковольтних електроприймачів (до 1 кВ) – втрати напруги у вольтах. Величину втрат напруги для мережі до 1 кВ приймають рівною 39В, 63В, 117В) – відповідно при УН мережі 380В, 660В, 1140В.

$$\Delta U_{\text{доп}} = 39 \text{ В};$$

					ОА.91.08.2097-С.000 ПЗ	Арк
						29
Змн.	Арк	№ докум.	Підпис	Дата		

Розрахунок втрат напруги в трансформаторі [%]

$$\Delta U_{TP\%} = \beta(U_{a\%} \cos \varphi_{TP} + U_{p\%} \sin \varphi_{TP})$$

де $\beta = \frac{S_p}{S_{H.T}}$ – коефіцієнт завантаження трансформатора;

$$U_{a\%} = \frac{\Delta P_K}{10 S_{H.T.}} - \text{активна складова напруги КЗ трансформатора;}$$

ΔP_K - втрати КЗ трансформатора, Вт;

$S_{H.T.}$ - номінальна потужність трансформатора, кВА;

$$U_{p\%} = \sqrt{(U_{k\%})^2 - (U_{a\%})^2} - \text{реактивна складова напруги КЗ}$$

трансформатора;

Абсолютне значення втрат напруги в трансформаторі, В:

$$\Delta U_{TP\%} = \Delta U_{TP\%} \cdot K_0 \cdot \frac{U_0}{100}$$

де K_0 – коефіцієнт зміни напруги в трансформаторі, що дорівнює 0,95, 1,0 та 1,05 при відпайках +5%, 0, -5%. U_0 – вторинна напруга холостого ходу трансформатора.

Розраховуємо втрати напруги для трансформатора ТМ-100/10:

$$\beta = \frac{S_p}{S_{H.T.}} = \frac{84,568}{100} = 0,8457;$$

$$U_{a\%} = \frac{\Delta P_K}{10 \cdot S_{H.T.}} = \frac{1970}{10 \cdot 100} = 1,97\%;$$

$$U_{p\%} = \sqrt{(U_{k\%})^2 - (U_{a\%})^2} = \sqrt{4,5^2 - 1,97^2} = 4,046\%;$$

$$\cos \varphi = \frac{P}{S} = \frac{69,53}{84,568} = 0,822;$$

$$\sin \varphi = \sqrt{1 - \cos^2 \varphi} = \sqrt{1 - 0,822^2} = 0,57;$$

$$\Delta U_{TP\%} = \beta \cdot (U_{a\%} \cdot \cos \varphi + U_{p\%} \cdot \sin \varphi)$$

$$= 0,8457 \cdot (1,97 \cdot 0,822 + 4,046 \cdot 0,57) = 3,32 \%$$

$$\Delta U_{TP} = \Delta U_{TP\%} \cdot K_0 \cdot \frac{U_0}{100} = 3,32 \cdot 1 \cdot \frac{400}{100} = 13,28 \text{ В;}$$

					ОА.91.08.2097-С.000 ПЗ	Арк
						30
Змн.	Арк	№ докум.	Підпис	Дата		

Тоді допустимі втрати напруги в кабелі:

$$\Delta U_{\kappa} = \Delta U_{\text{доп}} - \Delta U_{TP} = 39 - 13,28 = 25,72 \text{ В};$$

Розрахунок втрат напруги в кабелі [В] проводиться за формулою:

$$\Delta U_{\text{г.к.}} = \frac{P_{\text{н}} \cdot L_{\text{г.к.}} \cdot 10^3}{\gamma \cdot S_{\text{г.к.}} \cdot U_{\text{н}} \cdot \eta_{\text{н}}}$$

$$\Delta U_{\text{г.к1}} = \frac{P_{\text{н}} \cdot L_{\text{г.к1}} \cdot 10^3}{\gamma \cdot S_{\text{г.к1}} \cdot U_{\text{н}} \cdot \eta} = \frac{3,17 \cdot 20 \cdot 10^3}{32 \cdot 2,5 \cdot 230 \cdot 0,85} = 4,054 < 25,72 \text{ В};$$

$$\Delta U_{\text{г.к3}} = \frac{P_{\text{н}} \cdot L_{\text{г.к3}} \cdot 10^3}{\gamma \cdot S_{\text{г.к3}} \cdot U_{\text{н}} \cdot \eta} = \frac{69,5 \cdot 50 \cdot 10^3}{32 \cdot 150 \cdot 400 \cdot 0,8} = 20,06 < 25,72 \text{ В};$$

$P_{\text{н}}$ - потужність всіх електроприймачів, що живиться цим кабелем [кВт];

$L_{\text{г.к.}}$ - довжина кабелю [м];

$\gamma=50$ [м/(Ом•мм²)] - питома провідність мідного кабелю ($\gamma=32$ для алюмінієвих жил);

$S_{\text{г.к.}}$ - переріз кабелю [мм²];

$U_{\text{н}}$ - номінальна напруга мережі, для якої розраховуються втрати напруги [В];

$\eta_{\text{н}}$ - ККД електроприймача (якщо не зазначено, то ККД=1).

2.3.4 Остаточний вибір перетинів проводів і жил кабелів

Розрахунок розподільної мережі можна звести у таблицю 2.6.

					ОА.91.08.2097-С.000 ПЗ	Арк
						31
Змн.	Арк	№ докум.	Підпис	Дата		

Таблиця 2.6 – Остаточний розрахунок мережі

№ лінії	Розрахунковий робочий струм лінії I_p , А	За нагрівом		Механічна міцність, $S_{\text{мех}}$, мм ²	За втратами напруги		Остаточна обрана марка та переріз лінії
		$I_{\text{доп.}}$, А	$S_{\text{нагр.}}$, мм ²		Втрати напруги, В	$S_{\text{втр.напр.}}$, мм ²	
1	2	3	4	5	6	7	8
L ₁	11.702	27	3x1,5	2,5	4.05	2,5	АВВГ 3x2,5
L _{1.1}	7.334	27	3x1,5	2,5	2.5	2,5	АВВГ 3x2,5
L _{1.2}	1.549	27	3x1,5	2,5	0.6	2,5	АВВГ 3x2,5
L _{1.3}	2.789	27	3x1,5	2,5	0.97	2,5	АВВГ 3x2,5
L ₂	38.426	49	3x4	2,5	6.62	4	АВВГ 3x4
L _{2.1}	2.399	27	3x1,5	2,5	0.62	2,5	АВВГ 3x2,5
L _{2.2}	1.107	27	3x1,5	2,5	0.38	2,5	АВВГ 3x2,5
L _{2.3}	28.126	38	3x2,5	2,5	7.76	2,5	АВВГ 3x2,5
L _{2.4}	1.062	27	3x1,5	2,5	0.41	2,5	АВВГ 3x2,5
L _{2.5}	4.04	38	3x2,5	2,5	0.52	2,5	АВВГ 3x2,5
L _{2.6}	2.266	27	3x1,5	2,5	0.98	2,5	АВВГ 3x2,5
L _{2.7}	1.046	27	3x1,5	2,5	0.45	2,5	АВВГ 3x2,5
L ₃	266.06	305	3x150	35	20.06	150	АВВГ 3x150

2.4 Розрахунок струмів КЗ

Необхідно скласти розрахункову схему заміщення (рис.2.3) на основі схеми підприємства. На схемі позначити характерні точки, для яких буде розраховано струми КЗ.

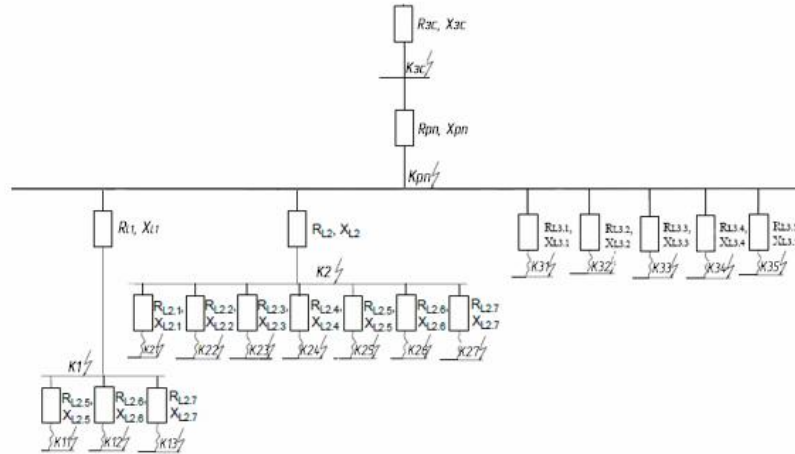


Рисунок 2.3 – Схема заміщення для розрахунку точок КЗ

Трифазний струм КЗ:

$$I_K^{(3)} = \frac{U_{cp}}{\sqrt{3} \cdot \sqrt{(\sum r)^2 + (\sum x)^2}} \quad (2.11)$$

де U_{cp} - середня номінальна напруга ступіні КЗ (690,400, 230,133 В)

$\sum r, \sum x$ - сума активних і реактивних опорів до точки КЗ,

включаючи трансформатор та опір зовнішньої системи, мОм.

Опір зовнішньої системи приведений до напруги споживачів 0,4 кВт:

$$X_{zc} = \frac{U_{c.n.}^2}{S_K^{(3)}} = \frac{400^2}{40 \cdot 10^6} = 4 \cdot 10^{-3} \text{ Ом}; \quad (2.12)$$

де $S_K^{(3)}$ – потужність трифазного короткого замикання на шинах; Приймаємо 40 МВА.

$U_{c.n.}^2$ – 230, 400, 690, 1200 В

Опір трансформатора

$$R_T = \Delta P_K / (3 \cdot I_{H.T.}^2); \quad (2.13)$$

$$X_T = \sqrt{Z_T^2 - R_T^2}; \quad (2.14)$$

$$Z_T = U_K \cdot U_{c.n.} / 100 \cdot \sqrt{3} \cdot I_{H.T.}; \quad (2.15)$$

де: ΔP_K - втрати короткого замикання трансформатора, Вт; $I_{H.T.}$ - номінальний струм вторинної обмотки трансформатора. А; U_K - напруга короткого замикання трансформатора, %.

$$I_{H.T.} = \frac{S}{\sqrt{3} \cdot U_H} = \frac{100}{\sqrt{3} \cdot 0,4} = 144,438 \text{ А};$$

$$Z_{Tp} = \frac{U_k \cdot U_{CH}}{100 \cdot \sqrt{3} \cdot I_{H.T.}} = \frac{4,5 \cdot 400}{100 \cdot \sqrt{3} \cdot 144,438} = 0,072 \text{ Ом};$$

$$R_{Tp} = \frac{\Delta P_k}{3 \cdot I_{H.T.}^2} = \frac{1970}{3 \cdot 144,438^2} = 0,03152 \text{ Ом};$$

$$X_{Tp} = \sqrt{Z_{Tp}^2 - R_{Tp}^2} = \sqrt{0,072^2 - 0,03152^2} = 0,0647 \text{ Ом};$$

Активний опір кабельних ліній, що живить споживачів низької напруги (Ом) (довжину КЛ переводимо в кілометри):

$$R_{L1} = \frac{1000}{\gamma \cdot S_{м.к1}} \cdot L_1 = \frac{1000}{32 \cdot 2,5} \cdot 0,02 = 0,25 \text{ Ом};$$

$$R_{L1.1} = \frac{1000}{\gamma \cdot S_{м.к1.1}} \cdot L_2 = \frac{1000}{32 \cdot 2,5} \cdot 0,02 = 0,25 \text{ Ом};$$

Реактивний опір кабельних ліній, що живить споживачів низької напруги $x_0=0,07$ Ом/км - реактивний опір КЛ, $U < 1$ кВ довжиною 1 км;

$$X_{L1} = x_0 \cdot L_1 = 0,07 \cdot 0,02 = 0,0014 \text{ Ом};$$

Аналогічно розраховуємо решту опорів та заносимо значення до табл.4.1.

Таблиця 2.7 - Опори елементів мережі

Елемент мережі	Довжина лінії, км	Переріз КЛ, мм ²	R, Ом	X, Ом
Джерело живлення	-	-	-	0,004
Трансформатор ТМ-100/10	-	-	0.03152	0.06473
Лінія L1	0,02	2,5	0.25	0.0014
Лінія L1.1	0,02	2,5	0.25	0.0014

Лінія L1.2	0,02	2,5	0.25	0.0014
Лінія L1.3	0,02	2,5	0.25	0.0014
Лінія L2	0,015	4	0.11719	0.00105
Лінія L2.1	0,015	2,5	0.1875	0.00105
Лінія L2.2	0,02	2,5	0.25	0.0014
Лінія L2.3	0,015	2,5	0.1875	0.00105
Лінія L2.4	0,02	2,5	0.25	0.0014
Лінія L2.5	0,01	2,5	0.125	0.0007
Лінія L2.6	0,025	2,5	0.3125	0.00175
Лінія L2.7	0,025	2,5	0.3125	0.00175
Лінія L3.1	0,015	4	0.11719	0.00105
Лінія L3.2	0,02	4	0.15625	0.0014
Лінія L3.3	0,02	4	0.15625	0.0014
Лінія L3.4	0,025	4	0.19531	0.00175
Лінія L3.5	0,025	4	0.19531	0.00175

Розрахуємо сумарний опір до кожної точки КЗ:

Точка К_{зс}: Опір складається лише з реактивного опору зовнішньої системи X_{зс}

$$Z_{K_{зс}} = X_{зс} = 0,004 \text{ Ом};$$

Точка К_{рп}: Опір складається з опорів зовнішньої системи X_{зс} та трансформатора ТМ-100/10:

$$\sum R_{K_{рп}} = R_{Tp} = 0,03152 \text{ Ом};$$

$$\sum X_{K_{рп}} = X_{зс} + X_{Tp} = 0,004 + 0,06473 = 0,0687 \text{ Ом};$$

$$Z_{K_{рп}} = \sqrt{(\sum R_{K_{рп}})^2 + (\sum X_{K_{рп}})^2} = \sqrt{0,03152^2 + 0,06873^2} = 0,07562 \text{ Ом};$$

Точка К₁: Складається з опорів зовнішньої системи X_{зс}, трансформатора ТМ-100/10 та лінії:

$$\sum R_{K_1} = \sum R_{K_{рп}} + R_{L1} = 0,03152 + 0,25 = 0,28152 \text{ Ом};$$

$$\sum X_{K_1} = \sum X_{K_{рп}} + X_{L1} = 0,06873 + 0,0014 = 0,0701 \text{ Ом};$$

$$Z_{K_1} = \sqrt{(\sum R_{K_1})^2 + (\sum X_{K_1})^2} = \sqrt{0,28152^2 + 0,0701^2} = 0,2901 \text{ Ом};$$

Результати заносимо в табл. 4.2

Приклад розрахунку струмів КЗ для точки

а) діюче значення струму трифазного КЗ для і-ої точки ланцюга

					ОА.91.08.2097-С.000 ПЗ	Арк
Змн.	Арк	№ докум.	Підпис	Дата		35

$$I_{K3c}^3 = \frac{U_{с.н.}}{\sqrt{3} \cdot Z_{K3c}} = \frac{400}{\sqrt{3} \cdot 0,004} = 57,7350 \text{ кА};$$

б) струм двофазного короткого замикання

$$I_{K3c}^2 = \frac{U_{с.н.}}{2 \cdot Z_{K3c}} = \frac{400}{2 \cdot 0,004} = 50 \text{ кА};$$

в) миттєве значення ударного струму КЗ через півперіоду (0.01с) після виникнення КЗ

$$i_y = k_y \cdot \sqrt{2} \cdot I_K^3; \quad (2.16)$$

$$i_{yK3c} = k_y \cdot \sqrt{2} \cdot I_{K3c}^3 = 1,8 \cdot \sqrt{2} \cdot 57,7350 = 146,969 \text{ кА};$$

$$i_{yрп} = k_y \cdot \sqrt{2} \cdot I_{Kрп}^3 = 1,2 \cdot \sqrt{2} \cdot 3,054 = 5,183 \text{ кА};$$

$$i_{yK1} = k_y \cdot \sqrt{2} \cdot I_{K1}^3 = 1 \cdot \sqrt{2} \cdot 0,796 = 1,125 \text{ кА};$$

Решту струмів розраховуємо аналогічно.

г) діюче значення повного струму КЗ

$$I_{yK3c} = I_{K3c}^3 \cdot \sqrt{1 + 2 \cdot (k_y - 1)^2} = 57,7350 \cdot \sqrt{1 + 2 \cdot (1,8 - 1)^2} = 87,178 \text{ кА};$$

$$I_{yрп} = I_{Kрп}^3 \cdot \sqrt{1 + 2 \cdot (k_y - 1)^2} = 3,054 \cdot \sqrt{1 + 2 \cdot (1,2 - 1)^2} = 3,173 \text{ кА};$$

$$I_{yK1} = I_{K1}^3 \cdot \sqrt{1 + 2 \cdot (k_y - 1)^2} = 0,796 \cdot \sqrt{1 + 2 \cdot (1 - 1)^2} = 0,796 \text{ кА};$$

Аналогічно розраховуємо решту струмів короткого замикання та заносимо значення до табл. 2.8.

Таблица 2.8 – Розрахунок струмів Кз в іменованих одиницях

Точки Кз	U _{сн} , В	R, Ом	X, Ом	Z, Ом	I _k ⁽³⁾ , А	I _k ⁽²⁾ , А	i _y , А	I _y , А
1	2	3	4	5	6	7	8	9
КЗС	-	0	0.004	0.004	57735	50000	146969	87178
КРП	400	0.03152	0.06873	0.07562	3054.09	2644.92	5182.97	3173.91
К1	400	0.28152	0.07013	0.29012	796.003	689.359	1125.72	796.003
К1.1	400	0.53152	0.07153	0.53631	430.608	372.917	608.971	430.608
К1.2	400	0.53152	0.07153	0.53631	430.608	372.917	608.971	430.608

K1.3	230	0.53152	0.07153	0.53631	430.608	372.917	608.971	430.608
K2	230	0.14871	0.06978	0.16427	1405.88	1217.53	1988.22	1405.88
K2.1	400	0.33621	0.07083	0.34359	672.142	582.092	950.552	672.142
K2.2	400	0.39871	0.07118	0.40501	570.205	493.812	806.392	570.205
K2.3	400	0.33621	0.07083	0.34359	672.142	582.092	950.552	672.142
K2.4	400	0.39871	0.07118	0.40501	570.205	493.812	806.392	570.205
K2.5	400	0.27371	0.07048	0.28264	817.09	707.621	1155.54	817.09
K2.6	400	0.46121	0.07153	0.46672	494.813	428.521	699.771	494.813
K2.7	400	0.46121	0.07153	0.46672	494.813	428.521	699.771	494.813
K3.1	400	0.14871	0.06978	0.16427	1405.88	1217.53	1988.22	1405.88
K3.2	400	0.18777	0.07013	0.20044	1152.16	997.803	1629.41	1152.16
K3.3	400	0.18777	0.07013	0.20044	1152.16	997.803	1629.41	1152.16
K3.4	400	0.22683	0.07048	0.23753	972.252	841.995	1374.97	972.252
K3.5	400	0.22683	0.07048	0.23753	972.252	841.995	1374.97	972.252

2.5 Вибір електричних апаратів

При роз'єднувачах за номінальною напругою повинні виконуватись умови:

$$U_{н.а.} \geq U_{н.с.} ; U_{м.а} \geq U_{р.м.}$$

де $U_{н.а.}$, $U_{н.с.}$ - номінальна напруга відповідно апарату, що вибирається та напруга мережі; $U_{р.м.}$ - максимально тривала робоча напруга; $U_{м.а}$ - максимально допустима напруга апарата.

При виборі апаратів за струмом

$$I_{н.а.} \geq I_p ;$$

де $I_{н.а.}$ - дається при розрахунковій температурі зовнішнього середовища $\theta_{о.с} = +35^{\circ}\text{C}$.

Струмоведучі частини й електричні апарати повинні бути динамічно і термічно стійкі при струмах КЗ:

$$I_{\max} \geq I_y \text{ чи } i_{\max} \geq i_y$$

де $I_{\max}$, $i_{\max}$ - діюче значення й амплітуда максимально припустимого струму, що характеризують динамічну стійкість апарата; I_y , i_y - діюче значення та амплітудне значення ударного струму КЗ

$$I_t \cdot \sqrt{t} \geq I_{\infty} \cdot \sqrt{t_{\phi}}$$

					ОА.91.08.2097-С.000 ПЗ			Арк
								37
Змн.	Арк	№ докум.	Підпис	Дата				

де I_t - струм термічної стійкості, що даний апарат може витримати без ушкодження протягом t (1...10 с) (приводиться в каталогах); t_ϕ - приймається 0,25 с.

2.5.1 Захист електродвигунів напругою до 1000 в плавкими запобіжниками

Захист повинен захищати електродвигуни (мережі) від струмів КЗ, але не повинен відключати ланцюги при запуску електродвигуна чи піковому навантаженні лінії [7].

$$I_{н.вст.} \geq I_{н.дв.}$$

$$I_{н.вст.} \geq I_{н.дв.} / K_n$$

$$I_{н.вст(L1.1)} \geq \frac{7,3}{2,5} = 2,92 \text{ A};$$

де $I_{п.дв.}$ – пусковий струм електродвигуна; K_n – коефіцієнт короткочасного теплового перевантаження вставки, що враховує умови пуску двигуна.

Для захисту освітлювального навантаження

$$I_{н.в.} \geq I_{р.о.}$$

де - $I_{р.о.}$ розрахункове навантаження освітлення.

Для захисту первинних обмоток освітлювальних трансформаторів

$$I_{н.в.} \geq (1,2...1,4) \cdot I_{р.т} / K_{тр}$$

де $I_{р.т}$ – розрахунковий струм вторинної обмотки трансформатора.

2.5.2 Вибір автоматичних вимикачів у загальнопромисловому виконанні та уставок їх захисту

Вибір апаратів захисту виконується за трьома нижче наведеними умовами.

$$I_{н.а.} \geq I_p; U_{н.а.} \geq U_{н.м.}; I_{в.} \geq 1,2 \cdot I_k^{(3)};$$

					ОА.91.08.2097-С.000 ПЗ	Арк
						38
Змн.	Арк	№ докум.	Підпис	Дата		

де $I_{н.а.}$, $U_{н.а.}$ – номінальні струми та напруги автомата; $I_{в.}$ – граничний струм автомата, що вимикається; $I_K^{(3)}$ - струм трифазного КЗ на входних затискачах автоматичного вимикача

2.5.3 Вибір КРП

Добирають КРП за умовами:

$$I_{н.я.} \geq I_p; U_{н.я.} = U_{н.м.}; I_{р.я.} \geq I_K^{(3)}$$

де $I_{н.я.}$, $U_{н.я.}$, $I_{р.я.}$ - відповідно номінальні струм, напруга та граничний струм комірки, що вимкнеться.

					ОА.91.08.2097-С.000 ПЗ	Арк
						39
Змн.	Арк	№ докум.	Підпис	Дата		

Таблиця 2.9 – Роз'єднувачі

Напруга мережі $U_H = 0.4$ кВ							
Місце встановлення	I_p	I_H	$I_{к.макс.}^{(3)}$	$I_{к.мін.}^{(2)}$	$I_{д.с.}$	$I_{т.с.}$	Тип прийнятого апарату
Роз'єднувачі							
Q1(L2)	38.4	1000	1,405	1,217	85	3200	РЕ 13-41
Q2(L3.1)	38.4	1000	1,405	1,217	85	3200	РЕ 13-41
Q3(L3.2)	38.4	1000	1,15	0,997	85	3200	РЕ 13-41
Q4(L3.3)	38.4	1000	1,15	0,997	85	3200	РЕ 13-41
Q5(L3.4)	38.4	1000	0,97	0,84	85	3200	РЕ 13-41
Q6(L3.5)	38.4	1000	0,97	0,84	85	3200	РЕ 13-41

Таблиця 2.10 – Плавкі запобіжники

Місце встановлення	$I_{н.дв.}$	$I_{вст.}$	$K_{п}$	$I_{осн.зап.}$	Тип прийнятого апарату
F1(L1.1)	2,92	25	2.5	100	ПП-57-31

Таблиця 2.11 – Автоматичні вимикачі

Місце встановлення	$I_{н.а.}, A$	I_p, A	$U_{н.а.}, B$	$U_{н.м.}, B$	$I_{в.}, кА$	$1,2 \cdot I_{к}^{(3)}, кА$	Тип прийнятого апарату
Автоматичні вимикачі							
L1	13	11.7	400	400	4,5	0.955	ВА-47-29
L1.1	1	7.3	400	400	4,5	0.516	ВА-47-29
L1.2	2	1.55	400	400	4,5	0.516	ВА-47-29
L1.3	3	2.79	400	400	4.5	0.516	ВА-47-29
L2.1	3	2.4	400	400	4,5	0.80	ВА-47-29
L2.2	2	1.11	400	400	4,5	0.68	ВА-47-29
L2.3	32	28.1	400	400	4,5	0.80	ВА-47-29
L2.4	2	1.06	400	400	4,5	0.68	ВА-47-29
L2.5	5	4.04	400	400	4,5	0.98	ВА-47-29
L2.6	3	2.3	400	400	4,5	0.59	ВА-47-29
L2.7	2	1.04	400	400	4,5	0.59	ВА-47-29
L _{РП}	400	266.06	400	400	35	3.66	ВА-89-37

Таблиця 2.12 – Ящики силові

Місце встановлення	I_n	$I_{с.ящ.}$	Тип прийнятого апарату	Тип запобіжника
Ящики силові				
L2	38.4	100	ЯРП - 100	ПН2 - 100
L _{РП}	266.06	400	ЯРП - 400	ПН2 - 400
L3.1	38.4	100	ЯРП - 100	ПН2 - 100
L3.2	38.4	100	ЯРП - 100	ПН2 - 100
L3.3	38.4	100	ЯРП - 100	ПН2 - 100
L3.4	38.4	100	ЯРП - 100	ПН2 - 100
L3.5	38.4	100	ЯРП - 100	ПН2 - 100
L3.5	38.4	100	ЯРП - 100	ПН2 - 100

Висновки до розділу

У розділі Електропостачання був виконаний розрахунок освітлення приміщення методом світлового потоку, розрахунок прожекторного освітлення майданчика. Сумарна потужність освітлення дорівнює 2.32 кВт

У результаті розрахунку електричних навантажень був вибраний трансформатор ТМ-100/10.

Виконаний розрахунок електричних мереж, вибрані перетини проводів та жил кабелів, вибрана марка кабелів (АВВГ).

Розраховані струми короткого замикання. У відповідності до розрахованих струмів КЗ вибрані електричні апарати (роз'єднувачі, автоматичні вимикачі, плавкі запобіжники, ящики силові).

Розроблена схема електропостачання адміністративної будівлі.

3. СПЕЦІАЛЬНА ЧАСТИНА

3.1 Тепловий розрахунок будівлі

Дані для розрахунку:

$t_{зв} = -22\text{ }^{\circ}\text{C}$ – мінімальна розрахункова температура довкілля (зовнішнього повітря),

$t_{вн} = 18\text{ }^{\circ}\text{C}$ - температура повітря в адміністративному приміщенні,

$\omega = 8\text{ м/с}$ - середня швидкість вітру;

зона вологості – суха.

Геометрія будівлі:

$A = 139,62\text{ м}$ - Довжина будівлі,

$B = 16,1\text{ м}$ - ширина будівлі,

$N = 3$ - кількість поверхів.

3.1.1 Розрахунок тепловтрат через вікна будинку

В даному випадку ми маємо справу з рівною триярусною стіною. Товщина двох шарів скла 1,5 мм. Враховуючи, що товщина скла дуже мала, нехтуємо його термічним опором і розглядаємо лише повітряний прошарок, товщина якого $\delta = 0,08\text{ м}$. Для зручності розрахунків складний процес конвективного теплообміну в повітряному шарі замінюється основним явищем теплопровідності і одночасно вводиться.

Термічний опір повітряного прошарку:

$$R_{\text{пр}} = \frac{\delta}{\lambda_{\text{ек}}} \quad (3.1)$$

					ОА.91.08.2097-С.000 ПЗ						
Змн.	Арк	№ докум.	Підпис	Дата							
Розроб.		Маламан Д.О.			Спеціальна частина			Літ.	Арк	Аркуші	
Перевір.		Прдко С.Л.								39	92
Реценз.								НТУУ “КПІ”НН-ІЕЕ ОА-91			
Н. Контр.		Кулаковський Л.Я.									
Затверд.											

Якщо поділити $\lambda_{ек}$ на коефіцієнт теплопровідності повітря λ_B , то отримаємо безрозмірну величину $\varepsilon_{ек} = \frac{\lambda_{ек}}{\lambda_B}$, яка характеризує вплив конвекції і називається коефіцієнтом конвекції $\varepsilon = f(G_r, Pr)$.

Критерій Грасгофа:

$$G_r = \frac{\beta_B \cdot \delta^3 \cdot g \cdot \Delta t}{\nu_B^2} \quad (3.2)$$

Припустимо, що температура зовнішньої поверхні вікна $t_{зв.п} = -20,3^\circ\text{C}$, а температура внутрішньої поверхні вікна $t_{вн.п} = 5^\circ\text{C}$, тоді середня температура повітряного прошарку:

$$t_{cp} = 0,5 \cdot (t_{зв.п} + t_{вн.п}) \quad (3.3)$$

$$t_{cp} = 0,5 \cdot (-20,3 + 5) = -7,7^\circ\text{C}$$

За цієї температури фізичні властивості повітря:

коефіцієнт теплопровідності повітря:

$$\lambda_B = 2,3784 \cdot 10^{-2} \frac{\text{Вт}}{\text{м} \cdot ^\circ\text{C}}$$

коефіцієнт кінематичної в'язкості повітря:

$$\nu_B = 12,6255 \cdot 10^{-6} \frac{\text{м}^2}{\text{с}}$$

число Прандтля:

$$Pr = 0,71085$$

Коефіцієнт об'ємного розширення:

$$\beta_B = \frac{1}{t_{cp} + 273} = \frac{1}{-7,7 + 273} = 0,003769 \frac{1}{\text{K}}$$

Перепад температур:

$$\Delta t = t_{вн.п} - t_{нар.п} = 5,0 + 20,3 = 25,3^\circ\text{C}$$

Підставляючи значення у формулу, отримаємо:

$$Gr = \frac{0,003769 \cdot 0,08^3 \cdot 9,81 \cdot 25,3}{(12,6255 \cdot 10^{-6})^2} = 2,993 \cdot 10^6$$

Добуток критерію Грасгофа на число Прандтля дорівнює:

$$Gr \cdot Pr = 2,993 \cdot 10^6 \cdot 0,71085 = 2,128 \cdot 10^6$$

					ОА.91.08.2097-С.000 ПЗ	Арк
						43
Змн.	Арк	№ докум.	Підпис	Дата		

При $G_r \cdot P_r > 10^3$ можна використовувати наступну залежність:

$$\varepsilon_K = 0,18 \cdot (G_r \cdot P_r)^{0,25} \quad (3.4)$$

$$\varepsilon_K = 0,18 \cdot (2,128 \cdot 10^6)^{0,25} = 6,875$$

Еквівалентний коефіцієнт теплопровідності повітряного прошарку:

$$\lambda_{ек} = \varepsilon_K \cdot \lambda_B \quad (3.5)$$

$$\lambda_{ек} = 6,875 \cdot 2,3784 \cdot 10^{-2} = 0,164 \frac{Вт}{м \cdot ^\circ C}$$

Термічний опір повітряного прошарку:

$$R_{пр} = \frac{\delta}{\lambda_{ек}} \quad (3.6)$$

$$R_{пр} = \frac{0,08}{0,164} = 0,489 \frac{м^2 \cdot ^\circ C}{Вт}$$

Термічний опір біля внутрішньої поверхні вікна

$$R_{вн} = \frac{1}{\alpha_{к.вн}} \quad (3.7)$$

Усередині будівлі завжди спостерігається природна циркуляція повітря. Відомий коефіцієнт тепловіддачі конвекції в процесі природної циркуляції повітря

$$\alpha_{к.вн} = f(G_r, P_r) \quad (3.8)$$

Знайдемо ці критерії при температурі повітря в приміщенні $t_{вн} = 18^\circ C$ та висоті вікна $l = 1,2$ м. При цій температурі фізичні властивості повітря: коефіцієнт теплопровідності повітря:

$$\lambda_B = 2,574 \cdot 10^{-2} \frac{Вт}{м \cdot ^\circ C}$$

коефіцієнт кінематичної в'язкості повітря:

$$\nu_B = 14,88 \cdot 10^{-6} \frac{м^2}{с}$$

число Прандтля:

$$Pr = 0,7034$$

Коефіцієнт об'ємного розширення:

					ОА.91.08.2097-С.000 ПЗ	Арк
						44
Змн.	Арк	№ докум.	Підпис	Дата		

$$\beta_B = \frac{1}{t_{BH} + 273} = \frac{1}{18 + 273} = 0,003436 \frac{1}{K}$$

Перепад температур:

$$\Delta t = t_{BH} - t_{BH,II} = 18 - 5 = 13^{\circ}C$$

Критерій Грасгофа:

$$Gr = \frac{\beta_B \cdot l^3 \cdot g \cdot \Delta t}{\nu_B^2} \quad (3.9)$$

$$Gr = \frac{0,003436 \cdot 1,2^3 \cdot 9,81 \cdot 13}{(14,88 \cdot 10^{-6})^2} = 3,398 \cdot 10^9$$

Добуток критерію Грасгофа на число Прандтля дорівнює:

$$Gr = \frac{0,003436 \cdot 1,2^3 \cdot 9,81 \cdot 13}{(14,88 \cdot 10^{-6})^2} = 3,398 \cdot 10^9$$

При $Gr \cdot Pr > 10^9$ рекомендується використовувати таку формулу:

$$Nu = 0,15 \cdot (Gr \cdot Pr)^{0,33} = \frac{\alpha_{K.BH} \cdot l}{\lambda_B} \quad (3.10)$$

Отже:

$$\alpha_{K.BH} = \frac{\lambda_B}{l} \cdot 0,15 \cdot (Gr \cdot Pr)^{0,33} \quad (3.11)$$

$$\alpha_{K.BH} = \frac{2,574 \cdot 10^{-2}}{1,2} \cdot 0,15 \cdot (2,423 \cdot 10^9)^{0,33} = 4,212 \frac{Bm}{m^2 \cdot ^{\circ}C}$$

Термічний опір біля внутрішньої поверхні вікна:

$$R_{BH} = \frac{1}{4,212} = 0,237 \frac{m^2 \cdot ^{\circ}C}{Bm}$$

Термічний опір на зовнішній поверхні вікна

$$R_{3B} = \frac{1}{\alpha_{3B}} \quad (3.12)$$

Інтенсивність тепловіддачі зовнішньої поверхні вікна характеризується коефіцієнтом тепловіддачі, який дорівнює сумі коефіцієнтів конвекційної тепловіддачі та радіаційної тепловіддачі, тобто..

					ОА.91.08.2097-С.000 ПЗ	Арк
						45
Змн.	Арк	№ докум.	Підпис	Дата		

$$\alpha_{3B} = \alpha_{K.3B} + \alpha_{Л.3B} \quad (3.13)$$

Конвективний коефіцієнт тепловіддачі є функція від числа Рейнольдса

$$\alpha_{K.3B} = f(Re):$$

$$Re = \frac{\omega \cdot l}{\nu_B} \quad (3.14)$$

Де $\omega = 8$ м/с – швидкість вітру;

$l = 1,2$ м - Висота вікна;

Коефіцієнт кінематичної в'язкості повітря, приймемо:

$$\nu_B = 11,704 \cdot 10^{-6} \frac{M^2}{c}$$

Підставляючи дані значень, отримаємо:

$$Re = \frac{8 \cdot 1,2}{11,704 \cdot 10^{-6}} = 8,202 \cdot 10^5$$

Підставивши значення формулу, отримаємо:

$$\alpha_{K.3B} = \frac{2,264 \cdot 10^{-2}}{1,2} \cdot 0,032 \cdot (8,202 \cdot 10^5)^{0,8} = 32,508 \frac{Bm}{M^2 \cdot ^\circ C}$$

Коефіцієнт тепловіддачі випромінюванням визначається за формулою:

$$\alpha_{Л.3B} = c \cdot \varepsilon \cdot \frac{\left(\frac{273 + t_{3B, П}}{100}\right)^4 - \left(\frac{273 + t_{3B}}{100}\right)^4}{t_{3B, П} - t} = 3,413 \frac{Bm}{M^2 \cdot ^\circ C}$$

Підставляючи значення, отримаємо коефіцієнт тепловіддачі зовнішньої поверхні вікна:

$$\alpha_{3B} = 32,508 + 3,413 = 35,921 \frac{Bm}{M^2 \cdot ^\circ C}$$

Загальний термічний опір

$$R = 0,237 + 0,489 + 0,028 = 0,754 \frac{M^2 \cdot ^\circ C}{Bm}$$

Перевірка прийнятих температур на зовнішній та внутрішній поверхнях вікна

Температура зовнішньої поверхні вікна:

					ОА.91.08.2097-С.000 ПЗ	Арк
						46
Змн.	Арк	№ докум.	Підпис	Дата		

$$t_{зв.п} = -22 + \frac{18 + 22}{0,754} \cdot 0,028 = -20,5^{\circ}\text{C}$$

Температура внутрішньої поверхні вікна:

$$t_{вн.п.} = 18 - \frac{18 + 22}{0,754} \cdot 0,237 = 5,4^{\circ}\text{C}$$

Оскільки розбіжність значень заданих і розрахованих температур менше $0,5^{\circ}\text{C}$, перерахунок не проводимо.

Для розрахунку тепловтрат через вікна будівлі використовуємо таку формулу:

$$Q_{\text{вік.}} = F_{\text{вік.}} \cdot \frac{t_{\text{вн.}} - t_{\text{зв.}}}{R} \cdot \eta \cdot (1 + \beta) \quad (3.15)$$

Площі поверхні вікон на північній, західній, східній та південній сторонах будівлі відповідно дорівнюють:

$$F_{\text{вік.}}^{\text{півн.}} = 2,232 \cdot 8 = 17,9 \text{ м}^2$$

$$F_{\text{вік.}}^{\text{зах.}} = 2,232 \cdot 130 = 290,2 \text{ м}^2$$

$$F_{\text{вік.}}^{\text{сх.}} = 2,232 \cdot 126 = 281,2 \text{ м}^2$$

$$F_{\text{вік.}}^{\text{півд.}} = 0$$

Втрати через вікна на північній, західній, східній та південній сторонах будівлі:

$$Q_{\text{вік.}}^{\text{півн.}} = 17,9 \cdot \frac{18 + 22}{0,754} \cdot 1 \cdot (1 + 0,1) = 1,04 \text{ кВт};$$

$$Q_{\text{вік.}}^{\text{зах.}} = 290,2 \cdot \frac{18 + 22}{0,754} \cdot 1 \cdot (1 + 0,05) = 16,2 \text{ кВт};$$

$$Q_{\text{вік.}}^{\text{сх.}} = 281,2 \cdot \frac{18 + 22}{0,754} \cdot 1 \cdot (1 + 0,1) = 16,4 \text{ кВт};$$

$$Q_{\text{вік.}}^{\text{півд.}} = 0.$$

Загальні тепловтрати через вікна будівлі:

$$Q_{\text{вік.}} = \sum Q = 33,6 \text{ кВт}.$$

					ОА.91.08.2097-С.000 ПЗ	Арк
						47
Змн.	Арк	№ докум.	Підпис	Дата		

3.1.2 Розрахунок тепловтрат з інфільтрацією

Витрати тепла на підігрів зовнішнього інфільтрованого повітря громадських будівель на всіх ділянках визначалися двома розрахунками.

У першому розрахунку були визначені тепловтрати на нагрівання зовнішнього повітря, що надходить у будинок за рахунок роботи природної витяжки.

У другому розрахунку визначається тепло, витрачене на нагрівання зовнішнього повітря, яке проникає в той же будинок через тепловий і вітровий тиск, що викликає нещільності огорожі. Для визначення розрахункових тепловтрат на ділянці візьміть максимальне значення із значень, визначених за наступною формулою.

Перший розрахунок:

Витрати теплоти визначають за формулою:

$$Q_{\text{інф1}} = 0,28 \cdot L \cdot \rho_{\text{н}} \cdot c \cdot (t_{\text{вн}} - t_{\text{зв}}) \quad (3.16)$$

Де L – витрата повітря, що видаляється, приймається $3 \text{ м}^3/\text{год}$ на 1 м^2 площі приміщень ($L = 20230 \text{ м}^3/\text{год}$);

$\rho_{\text{н}}$ - густина зовнішнього повітря;

c - Питома теплоємність повітря.

.

Питома вага γ та густина повітря $\rho_{\text{н}}$ можуть бути визначені за формулами:

$$\gamma = \frac{3463}{273 + t_{\text{зв}}} \quad (3.17)$$

$$\rho_{\text{н}} = \frac{\gamma}{g} \quad (3.18)$$

$$\gamma = \frac{3463}{273 - 22} = 13,8 \frac{\text{Н}}{\text{м}^3},$$

$$\rho_{\text{н}} = \frac{13,8}{9,81} = 1,41 \frac{\text{кг}}{\text{м}^3},$$

Витрата теплоти:

					ОА.91.08.2097-С.000 ПЗ	Арк
						48
Змн.	Арк	№ докум.	Підпис	Дата		

$$Q_{\text{інф1}} = 0,28 \cdot 20230 \cdot 1,31 \cdot 1 \cdot (18 + 22) = 128,3 \text{ кВт}$$

Другий розрахунок

Витрату теплоти $Q_{\text{інф1}}$ на підігрів зовнішнього повітря, що проникає в приміщення через нещільність огорож внаслідок теплового та вітрового тисків, визначають:

$$Q_{\text{інф2}} = 0,28 \cdot G \cdot c \cdot (t_{\text{вн}} - t_{\text{зв}}) \cdot k \quad (3.19)$$

Де G - Витрата інфільтруючого повітря через огорожувальні конструкції;
 k - Коефіцієнт обліку зустрічного теплового потоку, що приймається для вікон і балконних дверей з роздільними палітурками рівним 0,8, для одинарних вікон і вікон зі спареними палітурками 1,0.

Для вікон величину витрати визначають як

$$G = \frac{0,216 \cdot \sum F \cdot \Delta P^{0,67}}{R_I} \quad (3.20)$$

Де ΣF - Розрахункові площі огорож;

ΔP - різниця тисків повітря на зовнішній та внутрішній поверхнях вікон;

$R_I = 0,26 \frac{\text{м}^2 \cdot \text{ч} \cdot \text{Па}}{\text{кг}}$ - Опір повітропроникненню огорож.

Різницю тиску повітря визначають з рівняння:

$$\Delta P = (H - h) \cdot (\gamma_z - \gamma_{\text{вн}}) + 0,5 \cdot \rho_H \cdot \omega^2 \cdot (C_{\text{вн}} - C_{\text{вп}}) \cdot k_1 - P_{\text{інт}} \quad (3.21)$$

де H - висота будівлі від рівня землі до гирла вентиляційної шахти (у безгорищних будинках гирло шахти розташовують на 1м вище покрівлі, в будинках з горищем на 4-5м вище верху горищного перекриття, $H=10,6$ м;

h - Відстань від рівня землі до верху вікон, для яких визначається витрата повітря, $h = 2,6$ м;

$\gamma_z = 13,8 \text{ Н/м}^2$, $\gamma_{\text{вн}} = 11,9 \text{ Н/м}^2$ - Питома вага зовнішнього і внутрішнього повітря:

ω - Розрахункова швидкість вітру;

$C_{\text{в.п.}} = 0,8$ і $C_{\text{в.р.}} = - 0,6$ - аеродинамічні коефіцієнти будівлі відповідно для навітряної та підвітряної поверхонь, для будівлі прямокутної форми;

					ОА.91.08.2097-С.000 ПЗ	Арк
						49
Змн.	Арк	№ докум.	Підпис	Дата		

k_1 - Коефіцієнт обліку зміни швидкісного натиску вітру в залежності від висоти будівлі, при висоті будівлі до 10м;

P_{int} - умовно-постійний тиск повітря, що виникає під час роботи вентиляції зі штучним спонуканням, .

Різниця тиску повітря:

$$\Delta P_1 = (10,6 - 2,6) \cdot (13,80 - 11,90) + 0,5 \cdot 1,41 \cdot 8^2 \cdot (0,8 + 0,6) \cdot 0,65 - 0 = 56,26 \text{ Па},$$

$$\Delta P_2 = (10,6 - 5,6) \cdot (13,80 - 11,90) + 0,5 \cdot 1,41 \cdot 8^2 \cdot (0,8 + 0,6) \cdot 0,65 - 0 = 50,56 \text{ Па},$$

$$\Delta P_3 = (10,6 - 8,6) \cdot (13,80 - 11,90) + 0,5 \cdot 1,41 \cdot 8^2 \cdot (0,8 + 0,6) \cdot 0,65 - 0 = 44,86 \text{ Па}$$

Витрата інфільтруючого повітря:

$$G_1 = \frac{0,216 \cdot 2,232 \cdot 82 \cdot 56,26^{0,67}}{0,26} = 2263 \frac{\text{м}^3}{\text{ч}},$$

$$G_2 = \frac{0,216 \cdot 2,232 \cdot 91 \cdot 50,56^{0,67}}{0,26} = 2338 \frac{\text{м}^3}{\text{ч}},$$

$$G_3 = \frac{0,216 \cdot 2,232 \cdot 91 \cdot 44,86^{0,67}}{0,26} = 2158 \frac{\text{м}^3}{\text{ч}},$$

$$G = 2263 + 2338 + 2158 = 6759 \frac{\text{м}^3}{\text{ч}}$$

Витрата теплоти, необхідна для підігріву цього повітря, визначають за формулою:

$$Q_{\text{інф2}} = \frac{0,28 \cdot 6759 \cdot 1 \cdot (18 + 22) \cdot 0,8}{3600} = 16,82 \text{ кВт}$$

У підсумковий розрахунок визначення тепловтрат приміщень прийнято найбільше з двох значень витрати теплоти на підігрів інфільтруючого повітря, тобто $Q_{\text{інф}} = 128,3 \text{ кВт}$.

3.1.3 Розрахунок тепловиділень від людей

В адміністративних, навчальних, житлових і побутових приміщеннях тепло передається повітрю приміщень від робочого обладнання, машин і двигунів, теплових виробів, освітлювальних приладів і людей, що

					ОА.91.08.2097-С.000 ПЗ	Арк
						50
Змн.	Арк	№ докум.	Підпис	Дата		

знаходяться в приміщенні. Адмінбудівля характеризується значними тепловіддачами від світильників та персоналу.

Тепловиділення від людей:

$$Q_{\text{л}} = q_{\text{ч}} \cdot M_{\text{л}} \quad (3.22)$$

Де $q_{\text{ч}}$ - кількість теплоти, що виділяється однією людиною;
 $M_{\text{л}}=304$ особи – кількість працівників.

Враховуючи інтенсивність виконуваної роботи та теплозахисні властивості одягу, тепловіддачу однією людиною визначають за формулою:

$$q_{\text{ч}} = \beta_{\text{и}} \cdot \beta_{\text{од}} \cdot (2,5 + 10,3 \cdot v_{\text{в}}^{0,5}) \cdot (35 - t_{\text{вн}})$$

де $\beta_{\text{и}}$ - Коефіцієнт, що враховує інтенсивність роботи,

$\beta_{\text{и}} = 1$ – для легкої роботи (інтелектуальної);

$\beta_{\text{од}}$ - Коефіцієнт, що враховує теплозахисні властивості одягу,

$\beta_{\text{од}} = 0,65$ – для звичайного одягу;

$v_{\text{в}} = 0,1$ м/с - Швидкість руху повітря в приміщенні,

$t_{\text{вн}} = 18$ °С- Температура приміщення.

Тепловіддача однією людиною:

$$q_{\text{ч}} = 1 \cdot 0,65 \cdot (2,5 + 10,3 \cdot 0,1^{0,5}) \cdot (35 - 18) = 63,62 \text{ Вт}$$

Тепловиділення від людей:

$$Q_{\text{л}} = 63,62 \cdot 304 = 19,3 \text{ кВт}$$

3.1.4 Розрахунок тепловиділень від штучного освітлення

Тепловиділення від штучного освітлення визначають за формулою:

$$Q_{\text{осв}} = n \cdot N \cdot F \quad (3.23)$$

де n - Коефіцієнт переходу електроенергії в теплову,

$n = 0,5$ - для люмінесцентних ламп;

N - Потужність ламп, якщо вона заздалегідь не відома, можна оцінити її з розрахунку 50-100 Вт/м² для добре освітлених приміщень,

Звідси:

$$Q_{\text{осв}} = 0,50 \cdot 50 \cdot 139,62 \cdot 16,1 \cdot 3 = 168,6 \text{ кВт}$$

					ОА.91.08.2097-С.000 ПЗ	Арк
						51
Змн.	Арк	№ докум.	Підпис	Дата		

3.1.5 Тепловий баланс будівлі

Взагалі різниця між втратами і виділенням тепла визначає теплову потужність опалювальної установки для компенсації нестачі внутрішнього тепла:

$$Q_{от} = 98,9 + 33,6 + 61,6 + 19,3 + 4,2 + 128,3 - 19,3 - 168,6 = 158,0 \text{ кВт}$$

3.2 Тепловий розрахунок теплонасосної установки

Для даної будівлі вибираємо тепловий насос фірми Dufoss (Німеччина) марки WPL 604. Зробимо його розрахунок.

$Q_B = 150$ кВт - теплопродуктивність,

$t_{н1} = 70$ °С - температура тепловіддавача (конденсату) на вході у випарник,

$t_{н2} = 36$ °С - температура тепловіддавача (конденсату) на виході з випарника,

$t_{А2} = 49$ °С - температура теплоприймача на вході в конденсатор,

$t_{В1} = 90$ °С - температура теплоприймача на виході з конденсатора,

$\Delta t_1 = 2$ °С - різниця температур між гріючим і охолодним середовищем у випарнику,

$\Delta t_K = 5$ °С - у конденсаторі,

$\Delta t_{охл} = 10$ °С - В охолоджувачі.

					ОА.91.08.2097-С.000 ПЗ	Арк
						52
Змн.	Арк	№ докум.	Підпис	Дата		

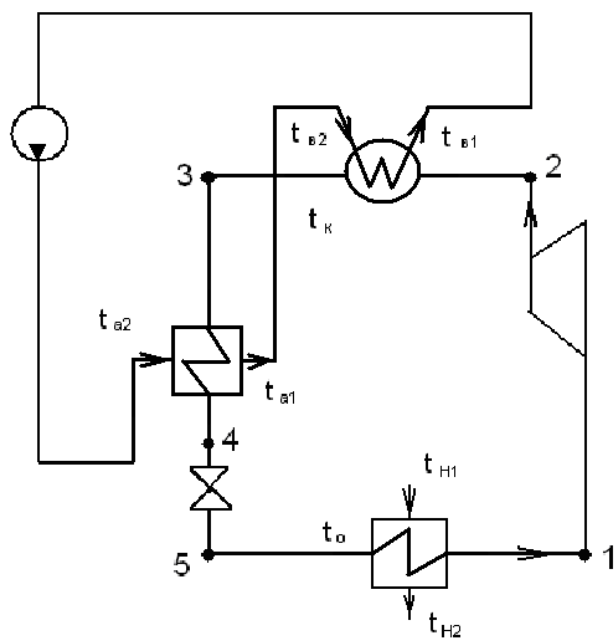


Рисунок 3.1 – Принципова схема теплонасосної установки

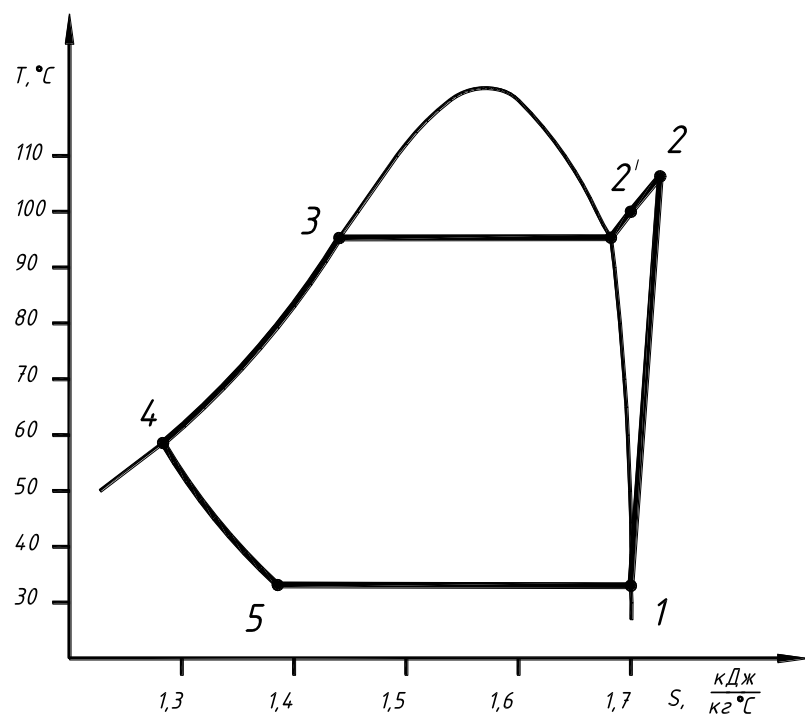


Рисунок 3.2 – Діаграма циклу теплонасосної установки

1. Температура випаровування

$$t_o = t_{H2} - \Delta t_H, \quad (3.24)$$

$$t_o = 36 - 2 = 34^{\circ}\text{C}$$

2. Температура конденсації

$$t_K = t_{B1} + \Delta t_K, \quad (3.25)$$

$$t_K = 90 + 5 = 95^\circ\text{C}$$

3. ККД компресора

$$\eta_{\text{эм}} = 0,9,$$

$$\eta_i = \frac{T_O}{T_K}, \quad (3.26)$$

$$\eta_i = \frac{34 + 273}{95 + 273} = 0,83.$$

4. Значення параметрів в характерних точках

$$t_4 = t_{A2} + \Delta t_{\text{охл}}, \quad (3.27)$$

$$t_4 = 49 + 10 = 59^\circ\text{C}$$

$$l_K = \frac{h_{2'} - h_1}{\eta_i}, \quad (3.28)$$

$$l_K = \frac{448 - 421}{0,83} = 31 \frac{\text{кДж}}{\text{кг}},$$

$$h_2 = h_1 + l_K, \quad (3.29)$$

$$h_2 = 421 + 31 = 452 \frac{\text{кДж}}{\text{кг}}.$$

Розрахунок зведений у таблицю 3.1

Таблиця 3.1 – Значення параметрів у характерних точках процесу

Точки	1	2	2'	3	4	5
$t, ^\circ\text{C}$	34	105	100	95	59	34
$p, \text{МПа}$	0,86	3,0	3,0	3,0		0,86
$v, \frac{\text{м}^3}{\text{кг}}$	0,025			0,006		
$h, \frac{\text{кДж}}{\text{кг}}$	421	452	448	350	285	285
$S, \frac{\text{кДж}}{\text{кг} \cdot ^\circ\text{C}}$	1,70	1,72	1,70	1,44	1,28	1,38

5 Питома холодопродуктивність

$$q_0 = h_1 - h_5, \quad (3.30)$$

$$q_0 = 421 - 285 = 136 \frac{\text{кДж}}{\text{кг}}.$$

6 Тепло, що відводиться від конденсатора

$$q_K = h_2 - h_3, \quad (3.31)$$

$$q_K = 452 - 350 = 102 \frac{\text{кДж}}{\text{кг}}.$$

7 Тепло, що відводиться від охолоджувача

$$q_{OХЛ} = h_3 - h_4, \quad (3.32)$$

$$q_{OХЛ} = 350 - 285 = 65 \frac{\text{кДж}}{\text{кг}}.$$

8 Баланс

$$l_K + q_0 = q_K + q_{OХЛ}, \quad (3.33)$$

$$31 + 136 = 102 + 65,$$

$$167 = 167.$$

9 Масова витрата робочого агента

$$G = \frac{Q_B}{q_K + q_{OХЛ}}, \quad (3.34)$$

$$G = \frac{150}{102 + 65} = 0,90 \frac{\text{кг}}{\text{с}}.$$

10. Об'ємна продуктивність компресора

$$V_K = v_1 \cdot G, \quad (3.35)$$

$$V_K = 0,025 \cdot 0,90 = 0,023 \frac{\text{м}^3}{\text{с}}.$$

11. Розрахункове теплове навантаження випарника

$$Q_O = q_0 \cdot G, \quad (3.36)$$

$$Q_O = 136 \cdot 0,90 = 122 \text{ кВт}.$$

12. Розрахункове теплове навантаження охолоджувача

					ОА.91.08.2097-С.000 ПЗ	Арк
						55
Змн.	Арк	№ докум.	Підпис	Дата		

$$Q_{Oxл} = q_{Oxл} \cdot G, \quad (3.37)$$

$$Q_{Oxл} = 65 \cdot 0,90 = 59 \text{ кВт}.$$

13. Питома робота компресора

$$l = \frac{l_K}{\eta_{ЭМ}}, \quad (3.38)$$

$$l = \frac{31}{0,9} = 34 \frac{\text{кДж}}{\text{кВт}}.$$

14. Питома витрата електроенергії на одиницю виробленого тепла

$$\mathfrak{E}_{TH} = \frac{l}{q_K + q_{Oxл}}, \quad (3.39)$$

$$\mathfrak{E}_{TH} = \frac{34}{102 + 65} = 0,204.$$

15. Електрична потужність компресора

$$N_K = \mathfrak{E}_{TH} \cdot Q_B, \quad (3.40)$$

$$N_K = 0,204 \cdot 150 = 30,6 \text{ кВт}.$$

16. Коефіцієнт трансформації

$$\mu = \frac{1}{\mathfrak{E}_{TH}}, \quad (3.41)$$

$$\mu = \frac{1}{0,204} = 4,90.$$

17. Середня температура низькотемпературного тепловіддавача

$$T_H^{CP} = \frac{T_{H1} + T_{H2}}{2}, \quad (3.42)$$

$$T_H^{CP} = \frac{70 + 35}{2} + 273 = 326 \text{ К}.$$

18. Середня температура отриманого тепла

$$T_B^{CP} = \frac{T_{B1} + T_{B2}}{2}, \quad (3.43)$$

$$T_B^{CP} = \frac{90 + 59}{2} + 273 = 348 \text{ К}.$$

					ОА.91.08.2097-С.000 ПЗ	Арк
						56
Змн.	Арк	№ докум.	Підпис	Дата		

19. Коефіцієнт працездатності тепла

$$\tau_{qK} = \vartheta_B = 1 - \frac{T_{OC}}{T_B^{CP}}, \quad (3.44)$$

$$\tau_{qK} = 1 - \frac{293}{348} = 0,158$$

20. Ексергетичний ККД установки

$$\eta_{e,H} = \vartheta_B \cdot \mu, \quad (3.45)$$

$$\eta_{e,H} = 0,158 \cdot 4,90 = 0,775$$

3.3 Розрахунок елементів теплонасосної установки

3.3.1 Розрахунок випарника

Як випарник виберемо теплообмінник з U-подібними трубами. У кожухотрубчастих апаратах цієї конструкції забезпечується вільне подовження труб, що унеможливорює виникнення температурних напруг.

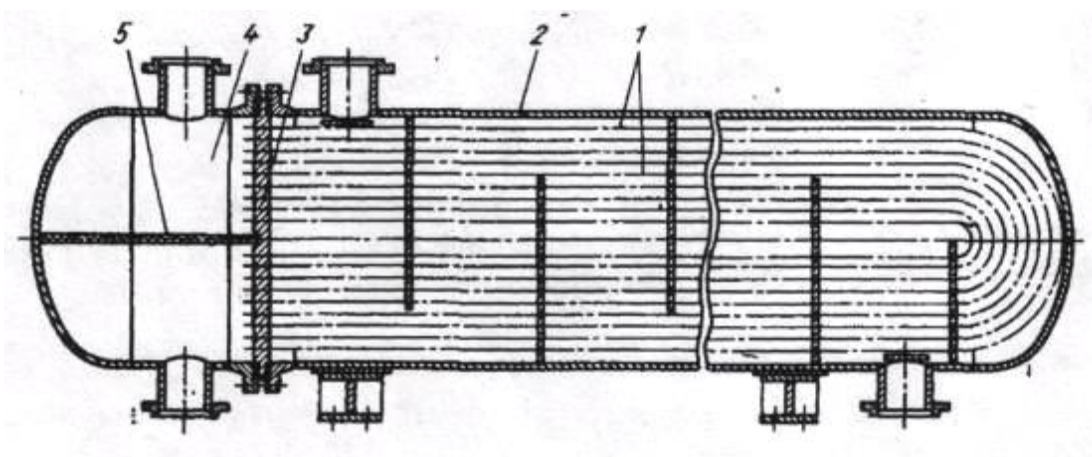


Рисунок 3.3 – Теплообмінник із U-подібними трубами

Даний прилад (рис. 3.3) складається з корпусу 2 із сіткою 3 та П-подібною труби 1. Трубна сітка закріплена на фланці корпусу приладу разом із розподільною камерою 4.

					ОА.91.08.2097-С.000 ПЗ	Арк
Змн.	Арк	№ докум.	Підпис	Дата		57

Для відділення холодоагенту, що циркулює в трубопроводі, розподільна камера обладнана перегородкою 5 .

Перевага U-подібної конструкції полягає в тому, що пучок труб можна періодично розбирати для очищення зовнішньої поверхні труб або для повної заміни пучка труб. Однак слід зазначити, що зовнішні поверхні трубок у цих пристроях не легко піддаються механічному очищенню.

Оскільки механічне очищення внутрішніх поверхонь труб в U-подібному обладнанні практично неможливо, простір трубопроводу такого обладнання має бути спрямований у середовище, де не можуть утворюватися відкладення, які потребують механічного очищення.

Внутрішні поверхні трубок у цих пристроях очищають водою, паром, гарячими нафтопродуктами або хімічними реагентами. Іноді застосовуються гідродинамічні методи (подача в прохідний простір потоку рідини, що містить абразиви, тверді кульки тощо).

Зробимо тепловий розрахунок для випарника - горизонтального U-подібного теплообмінника.

1. Обчислити вхідні дані:

р_{конд} тиск нагрітого конденсату,

Температура конденсату на вході

Температура конденсату на виході

Тиск фреону при нагріванні,

температура фреону,

Споживання фреону.

2. Візуалізуємо витрату теплового конденсату, що надходить у випарник, з рівняння теплового балансу:

$$G_{\text{конд}} = G_{\text{фр}} \cdot \frac{h_1 - h_5}{(h_{\text{Н1}} - h_{\text{Н2}}) \cdot \eta}, \quad (3.46)$$

$$G_{\text{конд}} = 0,90 \cdot \frac{421 - 285}{(293 - 151) \cdot 0,98} = 0,88 \frac{\text{кг}}{\text{с}}.$$

					ОА.91.08.2097-С.000 ПЗ	Арк
						58
Змн.	Арк	№ докум.	Підпис	Дата		

3. Кількість теплоти, що передається конденсатором, що гріє, у випарнику:

$$Q = G_{\text{фр}} \cdot (h_{B1} - h_{B2}) \cdot \eta, \quad (3.47)$$

$$Q = 0,90 \cdot (377 - 247) \cdot 0,98 = 92 \text{ кВт}$$

4. Необхідна площа поверхні теплообміну може бути визначена з рівняння теплопередачі:

$$F = \frac{Q}{k \cdot \Delta t}, \quad (3.48)$$

5. Значення температурного напору при прийнятих вихідних даних:

$$\Delta t = \frac{\Delta t_B - \Delta t_M}{\ln \frac{\Delta t_B}{\Delta t_M}} = \frac{(t_3 - t_{B2}) - (t_2 - t_{B1})}{\ln \frac{t_3 - t_{B2}}{t_2 - t_{B1}}} \quad (3.49)$$

$$\Delta t = \frac{(95 - 59) - (105 - 90)}{\ln \frac{95 - 59}{105 - 90}} = 24,0^\circ \text{C}$$

6. Коефіцієнт теплопередачі приймемо у першому наближенні

$$k = 2,0 \frac{\text{кВт}}{\text{м}^2 \cdot \text{К}}$$

Необхідна площа поверхні у цьому випадку:

$$F = \frac{92}{2,0 \cdot 24,0} = 1,91 \text{ м}^2$$

7. З урахуванням площі поверхні попередньо приймаються основні розміри випарника. Приймавши шахове розташування труб ($S_1 = 22 \text{ мм}$ і $S_2 = 19 \text{ мм}$) з коефіцієнтом заповнення трубної дошки $n_{\text{тр}} = 0,48$ та швидкістю

руху води опалення в трубах $\omega_{\text{от}} = 0,5 \frac{\text{м}}{\text{с}}$, можна визначити число паралельних труб по ходу руху води:

$$z_1 = \frac{4G_{\text{от}} \cdot v_{\text{от}}}{\omega_{\text{от}} \cdot \pi d_{\text{вн}}^2} \quad (3.50)$$

					ОА.91.08.2097-С.000 ПЗ	Арк
						59
Змн.	Арк	№ докум.	Підпис	Дата		

$$z_1 = \frac{4 \cdot 0,72 \cdot 0,00102}{0,5 \cdot 3,14 \cdot 0,0145^2} = 9 \text{ мм}$$

8. При двоходовому русі води загальна кількість трубних кінців, розвальцьованих у трубній дошці:

$$z = 2z_1 = 2 \cdot 9 = 18 \text{ мм}$$

9. Площа трубної дошки, зайнята трубами:

$$F_{TP} = z \cdot \frac{\pi d_H^2}{4} \cdot \frac{1}{\varepsilon} \quad (3.51)$$

$$F_{TP} = 18 \cdot \frac{3,14 \cdot 0,016^2}{4} \cdot \frac{1}{0,48} = 0,00754 \text{ м}^2$$

10. Середня довжина труб:

$$l = \frac{1,91}{2 \cdot 9 \cdot 3,14 \cdot 0,016} = 2,12 \text{ м}$$

11. Для визначення коефіцієнта тепловіддачі від пари до стінки труб необхідно спочатку встановити режим руху плівки конденсату.

12. Значення числа Рейнольдса для плівки конденсату на нижній кромці поверхні:

$$Re = \frac{92 \cdot 0,9}{90 \cdot 167 \cdot 0,18 \cdot 10^{-6}} = 29960$$

13. Оскільки $Re > Re_{KP} = 100$, то середній коефіцієнт тепловіддачі від стінки труби до пари:

$$\alpha_1 = 0,021 \cdot \frac{\lambda}{d_H} \cdot Re^{0,8} \cdot Pr^{0,43} \quad (3.52)$$

14. Фізичні параметри конденсату, що рухається всередині труб, приймаються за наступного значення температури:

$$t = \frac{t_{B1} + t_{B2}}{2}, \quad (3.53)$$

$$t = \frac{90 + 59}{2} = 75^\circ \text{C}$$

15. Число Рейнольдса у такому випадку:

					ОА.91.08.2097-С.000 ПЗ	Арк
						60
Змн.	Арк	№ докум.	Підпис	Дата		

$$Re_{\text{ж}} = \frac{\omega_{OT} d_{BH}}{v_{OT}}, \quad (3.54)$$

$$Re_{\text{ж}} = \frac{0,5 \cdot 0,0145}{3,914 \cdot 10^{-7}} = 18520$$

16. Отже, режим руху води турбулентний.

17. Середній коефіцієнт тепловіддачі від конденсату до стінки труб:

$$\bar{\alpha}_2 = \frac{\overline{Nu}_{\text{ж}} \cdot \lambda_{\text{ж}}}{d_{BH}}, \quad (3.55)$$

$$\bar{\alpha}_2 = \frac{79,1 \cdot 0,667}{0,0145} = 3640 \frac{Bm}{m^2 \cdot K}.$$

18. Коефіцієнт теплопередачі:

$$k = \frac{1}{\frac{1}{\alpha_1} + \frac{\delta_{CT}}{\lambda_{CT}} + \frac{1}{\alpha_2}}, \quad (3.56)$$

$$k = \frac{1}{\frac{1}{5082} + \frac{0,00075}{52} + \frac{1}{3640}} = 2058 \frac{Bm}{m^2 \cdot K}$$

Похибка отриманого значення становить 1%, що допустимо.

3.3.2 Розрахунок конденсатора

Зробимо тепловий розрахунок конденсатора - U-подібного теплообмінника горизонтального типу.

1. Вихідні дані до розрахунку:

$p_{OT} = 0,15 \text{ МПа}$ тиск опалювальної води, що нагрівається,

$t_{B2} = 59^\circ\text{C}$ температура води на вході

$t_{B1} = 90^\circ\text{C}$ температура води на виході

$p_{\text{фр}} = 3,0 \text{ МПа}$ тиск гріючого фреону,

$t_2 = 105^\circ\text{C}$ температура фреону на вході в конденсатор

$t_2 = 95^\circ\text{C}$ температура фреону на виході з конденсатора

					ОА.91.08.2097-С.000 ПЗ	Арк
						61
Змн.	Арк	№ докум.	Підпис	Дата		

$$G_{\text{фр}} = 0,90 \frac{\text{кг}}{\text{с}} \text{ витрата фреону.}$$

2. Витрата опалювальної води, що нагрівається, що надходить у конденсатор, з рівняння теплового балансу:

$$G_{\text{от}} = G_{\text{фр}} \cdot \frac{h_2 - h_3}{(h_{B1} - h_{B2}) \cdot \eta}, \quad (3.57)$$

$$G_{\text{конд}} = 0,90 \cdot \frac{452 - 350}{(377 - 247) \cdot 0,98} = 0,72 \frac{\text{кг}}{\text{с}}.$$

3. Кількість теплоти, що передається фреоном, що гріє, в конденсаторі:

$$Q = G_{\text{фр}} \cdot (h_{B1} - h_{B2}) \cdot \eta, \quad (3.58)$$

$$Q = 0,90 \cdot (377 - 247) \cdot 0,98 = 92 \text{ кВт}.$$

4. Необхідна площа поверхні теплообміну може бути визначена з рівняння теплопередачі:

$$F = \frac{Q}{k \cdot \Delta t} \quad (3.59)$$

5. Значення температурного напору при прийнятих вихідних даних:

$$\Delta t = \frac{\Delta t_B - \Delta t_M}{\ln \frac{\Delta t_B}{\Delta t_M}} = \frac{(t_3 - t_{B2}) - (t_2 - t_{B1})}{\ln \frac{t_3 - t_{B2}}{t_2 - t_{B1}}}, \quad (3.60)$$

$$\Delta t = \frac{(95 - 59) - (105 - 90)}{\ln \frac{95 - 59}{105 - 90}} = 24,0^\circ \text{C}$$

6. Коефіцієнт теплопередачі приймемо у першому наближенні

$$k = 2,0 \frac{\text{кВт}}{\text{м}^2 \cdot \text{К}}. \text{ Необхідна площа поверхні у цьому випадку:}$$

$$F = \frac{92}{2,0 \cdot 24,0} = 1,91 \text{ м}^2$$

7. З урахуванням площі поверхні попередньо приймаються основні розміри конденсатора. Приймавши шахове розташування труб ($S_1 = 22 \text{ мм}$ і $S_2 = 19 \text{ мм}$) з коефіцієнтом заповнення трубної дошки $n_{\text{тр}} = 0,48$ та швидкістю

					ОА.91.08.2097-С.000 ПЗ	Арк
						62
Змн.	Арк	№ докум.	Підпис	Дата		

руху води опалення в трубах $\omega_{OT} = 0,5 \frac{м}{с}$, можна визначити число паралельних труб по ходу руху води:

$$z_1 = \frac{4G_{OT} \cdot v_{OT}}{\omega_{OT} \cdot \pi d_{BH}^2}, \quad (3.61)$$

$$z_1 = \frac{4 \cdot 0,72 \cdot 0,00102}{0,5 \cdot 3,14 \cdot 0,0145^2} = 9_{шт}$$

8. При двоходовому русі води загальна кількість трубних кінців, розвальцьованих у трубній дошці:

$$z = 2z_1 = 2 \cdot 9 = 18_{шт}$$

9. Площа трубної дошки, зайнята трубами:

$$F_{TP} = 18 \cdot \frac{3,14 \cdot 0,016^2}{4} \cdot \frac{1}{0,48} = 0,00754 м^2$$

10. Середня довжина труб:

$$l = \frac{1,91}{2 \cdot 9 \cdot 3,14 \cdot 0,016} = 2,12 м$$

11. Для визначення коефіцієнта тепловіддачі від пари до стінки труб необхідно спочатку встановити режим руху плівки конденсату.

12. Значення числа Рейнольдса для плівки конденсату на нижній кромці поверхні:

$$Re = \frac{92 \cdot 0,9}{90 \cdot 167 \cdot 0,18 \cdot 10^{-6}} = 29960$$

13. Оскільки $Re > Re_{кр} = 100$, то середній коефіцієнт тепловіддачі від пари, що конденсується, до стінок труб:

$$\alpha_1 = 0,021 \cdot \frac{0,6}{0,016} \cdot 29960^{0,8} \cdot 3,4^{0,43} = 5082 \frac{Вт}{м^2 \cdot К}$$

14. Фізичні параметри води, що рухається всередині труб, приймаються за наступного значення температури:

$$t = \frac{90 + 59}{2} = 75^\circ C$$

15. Число Рейнольдса у випадку:

					ОА.91.08.2097-С.000 ПЗ	Арк
Змн.	Арк	№ докум.	Підпис	Дата		63

$$Re_{ж} = \frac{0,5 \cdot 0,0145}{3,914 \cdot 10^{-7}} = 18520$$

16. Отже, режим руху турбулентний.

$$\overline{Nu}_{ж} = 0,021 \cdot 18520^{0,8} \cdot 2,38^{0,43} \cdot 1 = 79,1$$

17. Середній коефіцієнт тепловіддачі від конденсату до стінки труб:

$$\overline{\alpha}_2 = \frac{79,1 \cdot 0,667}{0,0145} = 3640 \frac{Вт}{м^2 \cdot K}$$

18. Коефіцієнт теплопередачі:

$$k = \frac{1}{\frac{1}{5082} + \frac{0,00075}{52} + \frac{1}{3640}} = 2058 \frac{Вт}{м^2 \cdot K}$$

Похибка отриманого значення становить 1%, що допустимо.

Висновки до розділу

У розділі виконаний тепловий розрахунок будівлі, у результаті якого визначена необхідна потужність теплової установки у 151 кВт.

Вибраний тепловий насос фірми Dufoss (Німеччина), розраховані його теплові параметри, а також параметри випарника і конденсатора.

Складена принципова схема теплонасосної установки та діаграма циклу теплонасосної установки.

					ОА.91.08.2097-С.000 ПЗ	Арк
Змн.	Арк	№ докум.	Підпис	Дата		64

4. АВТОМАТИЗАЦІЯ СИСТЕМИ ТЕПЛОПОСТАЧАННЯ

4.1 Математична модель теплообмінного апарату

Теплообмінник є основним елементом системи опалення (рисунок 4.1). Основним процесом, що в ньому відбувається, є теплообмін, який складається з рівняння закону збереження енергії.

Для створення математичної моделі теплообмінника необхідно розглянути теплові процеси, що відбуваються в розташуванні протитечійних пластин, спрощена схема яких наведена на рисунку 4.1..

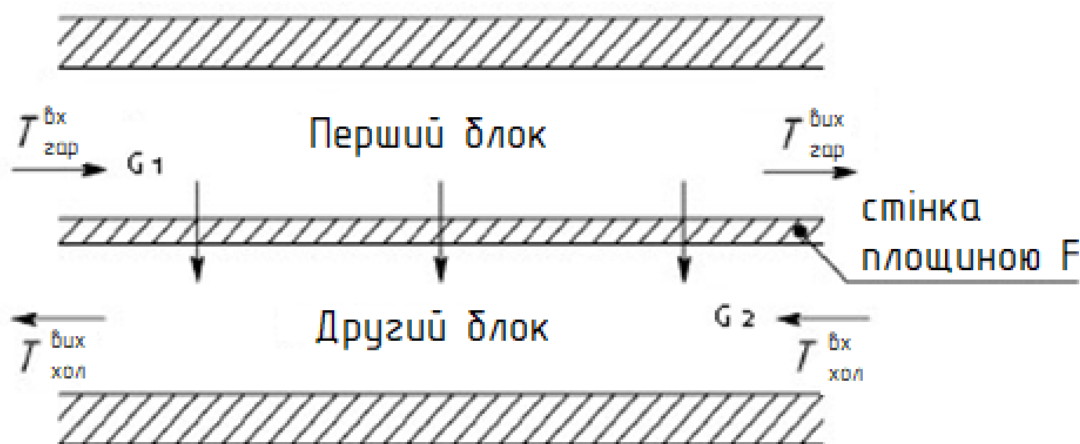


Рисунок 4.1 – Схема протитечійного теплообмінного апарату

Перший теплоносіє проходить між стінками теплообмінника, виділяючи теплову енергію з пластин, а потім через них - теплоносіє No2 у другому блоці. На малюнку 4.2 ви можете побачити, як температура падає в першому блоці і підвищується в другому блоці.

					ОА.91.08.2097-С.000 ПЗ			
Змн.	Арк	№ докум.	Підпис	Дата	Автоматизація системи теплопостачання	Літ.	Арк	Аркуші
Розроб.		Маламан Д.О.					65	92
Перевір.		Прядко С.Л.						
Реценз.								
Н. Контр.		Кулаковський Л.Я.						
Затверд.						НТУУ "КПІ" НН ІЕЕ ОА-91		

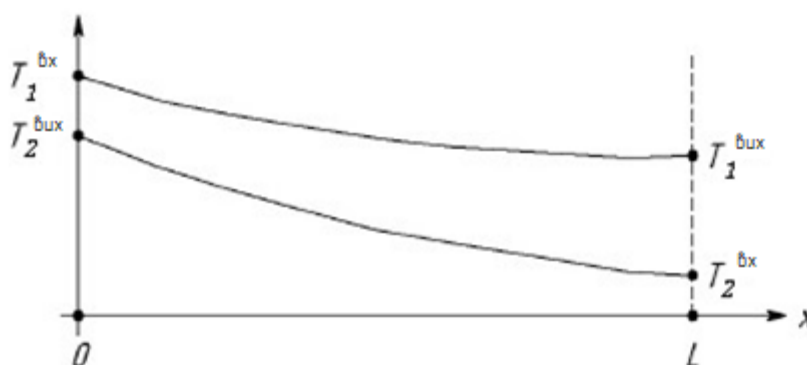


Рисунок 4.2 – Графік зміни температури у першому та другому блоці

Виходячи з рівняння закону збереження енергії, роботу теплообмінної системи можна описати системою рівнянь у частинних похідних. Перша формула описує перший блок, температура якого залежить від температури теплообміну в пластинах, що розділяють блоки. Друга формула показує температурну залежність всієї пластини. Третя формула описує другий блок..

$$\begin{cases} \frac{\partial T'(x,t)}{\partial t} + V' \frac{\partial T'(x,t)}{\partial x} = \frac{1}{\tau'} (T_{cm}(x,t) - T'(x,t)), \\ \frac{\partial T_{cm}(x,t)}{\partial t} = C_1 (T'(x,t) - T_{cm}(x,t)) - C_2 (T_{cm}(x,t) - T''(x,t)), \\ \frac{\partial T''(x,t)}{\partial t} + V'' \frac{\partial T''(x,t)}{\partial x} = \frac{1}{\tau''} (T_{cm}(x,t) - T''(x,t)). \end{cases} \quad (4.1)$$

Де $T'(x,t)$ – температура теплоносія у першому блоці у перерізі апарату x та в момент часу t ;

$T''(x, t)$ – температура теплоносія у другому блоці в перерізі апарата x та в момент часу t ;

$T_{cm}(x,t)$ – температура стінки апарату, якою виробляється обмін теплової енергією між теплоносіями, у перерізі апарату і в момент часу t ;

Коефіцієнт швидкості (V', V'') теплоносіїв у першому та другому блоці, які визначаються за формулами:

$$V' = \frac{G'}{S'_{сеч} \rho_2}, \quad V'' = \frac{G''}{S''_{сеч} \rho_a}, \quad (4.2)$$

де G', G'' – масова витрата теплоносіїв у першому та другому блоці;

					ОА.91.08.2097-С.000 ПЗ	Арк
						66
Змн.	Арк	№ докум.	Підпис	Дата		

ρ_1, ρ_2 – густина теплоносіїв;

$S'_{\text{пер}}, S''_{\text{пер}}$ – площа перерізу входу теплообмінного апарату для першого та другого блоку.

$$\tau' = \frac{S'_{\text{сеч}} \rho_2 c_в L}{\alpha' F}, \quad \tau'' = \frac{S''_{\text{сеч}} \rho_6 c_x L}{\alpha'' F}, \quad (4.3)$$

Де α', α'' – коефіцієнт тепловіддачі від теплоносія першого блоку до металевої стінки теплообмінника;

F – площа поверхні теплообміну; L – довжина поверхні теплообміну;

$c_в, c_x$ – теплоємність води та теплоємність холодоагенту.

Коефіцієнти C_1, C_2 визначаються за формулами:

$$C_1 = \frac{\alpha' S'_{\text{сеч}}}{c_{\text{ст}} m_{\text{ст}}}, \quad C_2 = \frac{\alpha'' S''_{\text{сеч}}}{c_{\text{ст}} m_{\text{ст}}}, \quad (4.4)$$

де $c_{\text{ст}}$ – питома теплоємність металевої стінки між першим та другим блоком.

$m_{\text{ст}}$ – маса стінки теплообмінного апарату між першим та другим блоком.

Для розв'язання задачі розіб'ємо просторову координату x на N рівних ділянок довжиною Δx :

$$\Delta x = \frac{L}{N}. \quad (4.5)$$

$$\frac{\partial T'(x, t)}{\partial x} \approx \begin{cases} \frac{T'_{i+1}(t) - T'_{i-1}(t)}{2\Delta x}, & i = 1, \dots, (N-1), \\ \frac{T'_i(t) - T'_{i-1}(t)}{\Delta x}, & i = N, \end{cases} \quad (4.6)$$

$$\frac{\partial T''(x,t)}{\partial x} \approx \begin{cases} \frac{T''_{i+1}(t) - T''_{i-1}(t)}{2\Delta x}, & i = 1, \dots, (N-1), \\ \frac{T''_i(t) - T''_{i-1}(t)}{\Delta x}, & i = N, \end{cases} \quad (4.7)$$

$$\begin{cases} T'(t) = T'_{\text{ex}}(t) + T'(0) + \int (A'T'(t) + B'T_{\text{cm}}(t))dt, \\ T_{\text{cm}}(t) = T_{\text{cm}}(0) + \int (C_1T'(t) + C_2(R'T''(t)) - (C_1 + C_2)T_{\text{cm}}(t))dt, \\ T''(t) = T'T''_{\text{ex}}(t) + T''(0) + \int (A''T''(t) + B''(R'T_{\text{cm}}(t)))dt. \end{cases} \quad (4.8)$$

$$T'' = \begin{pmatrix} T''_0(t) = T''_{\text{ex}}(t) \\ T''_1(t) \\ T''_2(t) \\ \dots \\ T''_{N-2}(t) \\ T''_{N-1}(t) \\ T''_N = T''_{\text{облх}}(t) \end{pmatrix}, \quad (4.9)$$

$$T' = \begin{pmatrix} T'_0(t) = T'_{\text{ex}}(t) \\ T'_1(t) \\ T'_2(t) \\ \dots \\ T'_{N-2}(t) \\ T'_{N-1}(t) \\ T'_N = T'_{\text{облх}}(t) \end{pmatrix}, \quad (4.10)$$

$$T_{cm} = \begin{pmatrix} T_{cm0}(t) \\ T_{cm1}(t) \\ T_{cm2}(t) \\ \dots \\ T_{cm\ N-2}(t) \\ T_{cm\ N-1}(t) \\ T_{cm\ N}(t) \end{pmatrix}. \quad (4.11)$$

Масиви A_1 і A_2 , що представляють сусідні області теплообмінника, залежать від швидкостей середовища у відповідних блоках і, отже, від витрати теплоносія у відповідному блоці і розраховуються таким чином:

$$A_1 = \frac{V'}{2\Delta X} A' + \frac{1}{\tau'} A'', \quad (4.12)$$

$$A_2 = \frac{V''}{2\Delta X} A' + \frac{1}{\tau''} A''. \quad (4.13)$$

B_1 та B_2 – матриці характеризують вплив температури стінки теплообмінника на перші та другі блоки. Дані матриці розраховуються так:

$$B_1 = \frac{1}{\tau'} B', \quad (4.14)$$

$$B_2 = \frac{1}{\tau''} B' \quad (4.15)$$

З даних систем рівнянь можна створити структурну схему моделі (рисунок 4.3) теплообмінника.

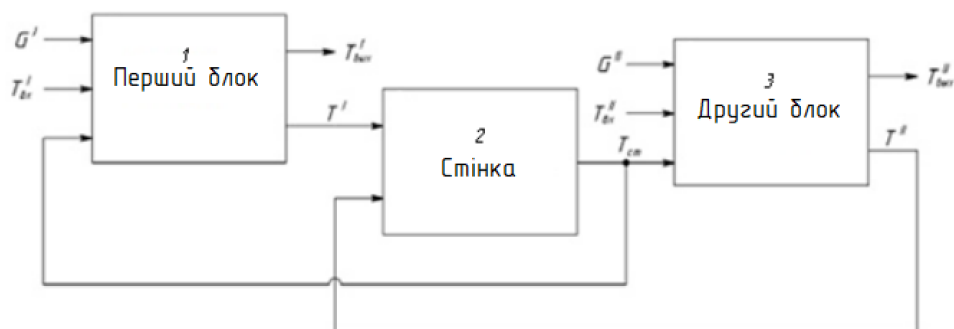


Рисунок 4.3 – Функціональна схема моделі теплообмінника

4.2 Моделювання у програмному середовищі MatLab Simulink

На основі даної структурної схеми та системи рівнянь теплового балансу, що описують процес теплообміну, було побудовано Simulink-модель теплообмінного апарату (рисунок 4.4).

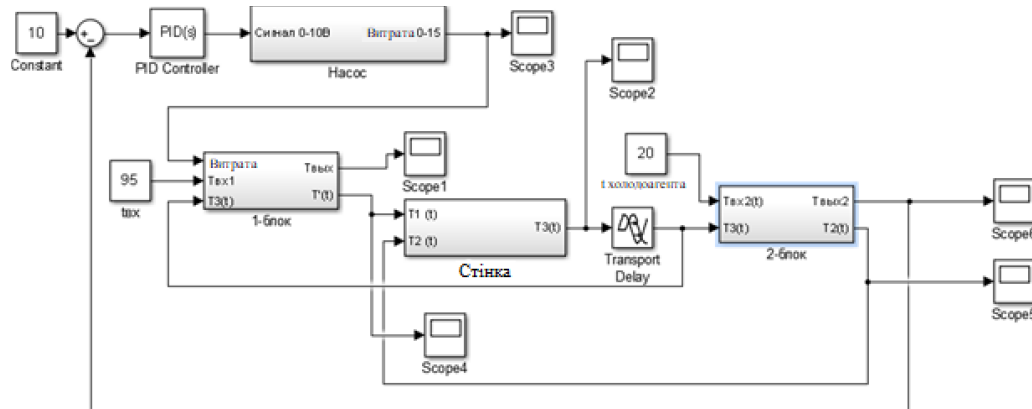


Рисунок 4.4 – Simulink-модель системи

Елемент "Насос" - це модель насоса, вихідна витрата якого пов'язана з косинусом керуючого сигналу 0-10 В.

Залежність продуктивності насоса від входу показана на рисунку 4.5. На осі Y швидкість потоку теплообмінника через насос відкладається в залежності від швидкості, визначеної вхідним сигналом, як показано на малюнку 4.6.

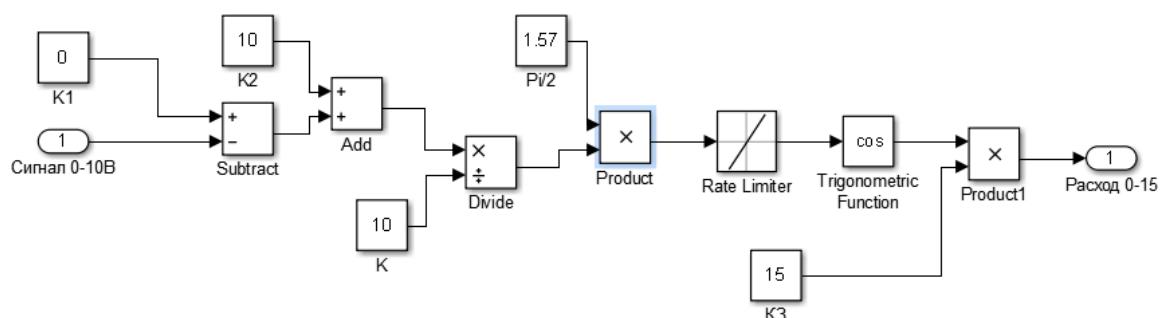


Рисунок 4.5 – Модель насоса

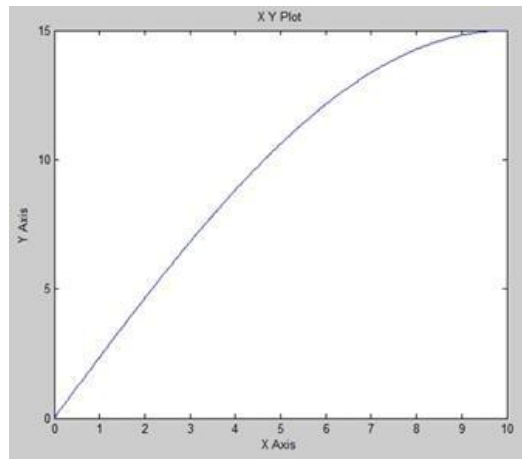


Рисунок 4.6 – Залежність входу від виходу насоса

Модель першого контуру зображена на рис. 4.7, що є реалізацією першого рівняння рівняння (4.1). У цій частині моделі системи теплообміну реалізуються початкові умови для температури теплоносія і зворотний зв'язок від частини моделі, де реалізована модель стінки теплообмінника.

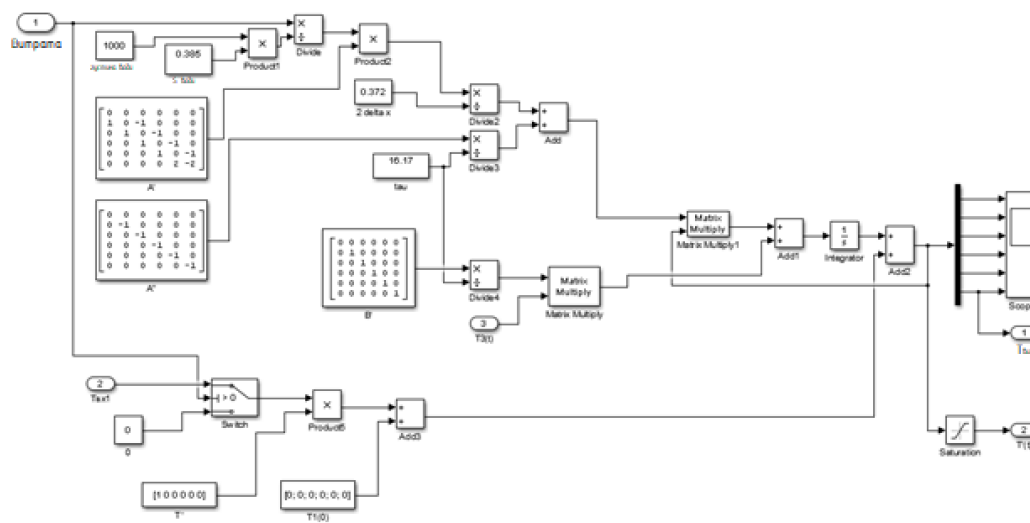


Рисунок 4.7 – Модель першого контуру

На рисунку 4.8 показана модель стінки теплообмінника, яка є реалізацією другого рівняння в системі рівнянь (4.1). У цій частині моделі системи теплообміну відсутня початкова умова для температури стінки

теплообмінника від вектора температури на вході частини моделі з холодоагентом.

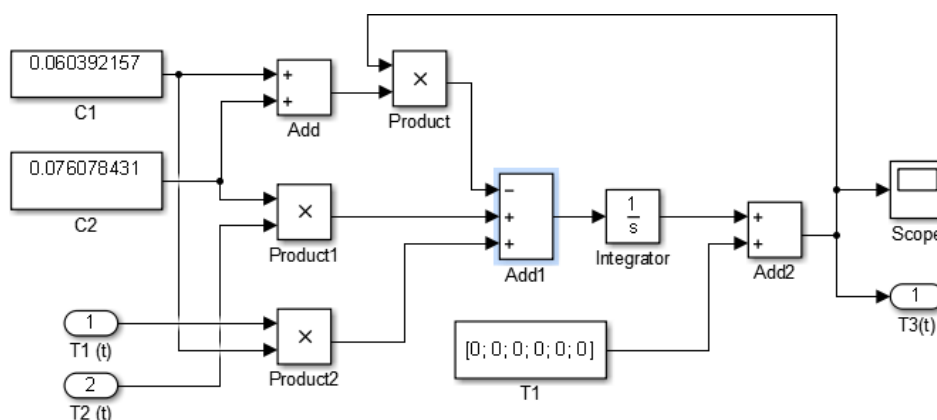


Рисунок 4.8 – Модель поверхні теплообміну

На рисунку 4.9 показано модель другого контуру, що є реалізацією третього рівняння із системи рівнянь (4.1).

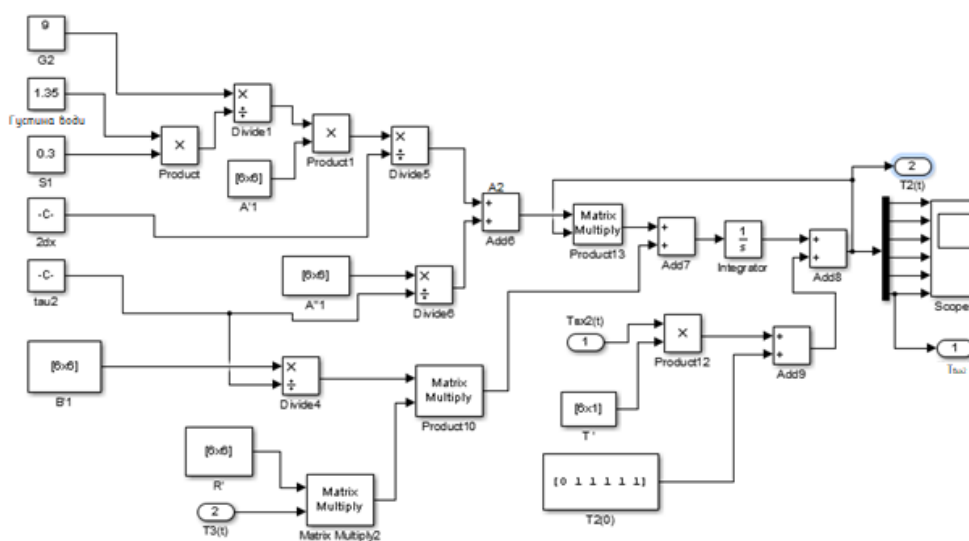


Рисунок 4.9 – Модель другого контуру

У цій частині моделі системи для теплообмінника реалізовані вихідні умови для температури теплоносія № 2 і зворотний зв'язок від частини моделі, в якій реалізована стінкова модель теплообмінника.

4.3 Аналіз проведених експериментів на моделі

Для проведення експерименту потрібно запровадити початкові параметри значень моделі теплового насоса, які наведені у таблицях 4.1-4.2.

Таблиця 4.1 – Початкові умови для першого контуру

Познач.	Величина	Од. вим.	Опис
C1	0,060		Коеф. першого блоку
C2	0,076		Коеф. другого блоку
a1	5600	Вт/(м ² ·°C)	Коеф. тепловіддачі першого блоку
a2	5600	Вт/(м ² ·°C)	Коеф. тепловіддачі другого блоку
S1	0,385	м ²	Площа пер. Труби
S2	0,485	м ²	Площа пер. Труби
C _{cm}	420	Дж/(кг·°C)	Питома теплоємність металічної стінки
M _{cm}	85	кг	Маса стінки
V1	0,020		Коеф. лін. швидк. першого блоку
V2	0,018		Коеф. лін. швидк. другого блоку
G1	8	кг/с	Масова витрата першого блоку
G2	9	кг/с	Масова витрата другого блоку
P	1000	кг/м ³	Густина води
Δ x	0,186		
2Δ x	0,373		
L	1,12	м	Довжина поверхні теплообміну
N	6		
τ1	16,17		Коеф.
τ2	20,37		Коеф.
F	20	м ²	Площа стінки
C _в	4200	Дж/(кг·°C)	Теплоємність води
C _х	1,3	Дж/(кг·°C)	Теплоємність холодоагента R134

Таблиця 4.2 – Початкові умови для другого контуру

Познач.	Величина	Од. вим.	Опис
C1	0,060		Коеф. першого блоку
C2	0,076		Коеф. другого блоку
a1	5600	Вт/(м ² ·°C)	Коеф. тепловіддачі першого блоку
a2	5600	Вт/(м ² ·°C)	Коеф. тепловіддачі другого блоку
S1	0,385	м ²	Площа пер. Труби
S2	0,485	м ²	Площа пер. Труби
C _{cm}	420	Дж/(кг·°C)	Питома теплоємність металічної стінки
M _{cm}	85	кг	Маса стінки
V1	0,020		Коеф. лін. швидк. першого блоку
V2	0,018		Коеф. лін. швидк. другого блоку
G1	8	кг/с	Масова витрата першого блоку
G2	9	кг/с	Масова витрата другого блоку
P	1000	кг/м ³	Густина води
Δ x	0,186		
2Δ x	0,373		
L	1,12	м	Довжина поверхні теплообміну
N	6		
tau1	16,17		Коеф.
tau2	20,37		Коеф.
F	20	м ²	Площа стінки
C _{x1}	1,3	Дж/(кг·°C)	Теплоємність холодоагента R134
C _{x2}	1,3	Дж/(кг·°C)	Теплоємність холодоагента R134

Отримані графіки як результат моделювання наведено нижче. Показники температури на виході другого блоку теплообмінника №1, №2 та №3(рисунок 4.10). Як низькопотенційне тепло використані стічні води.

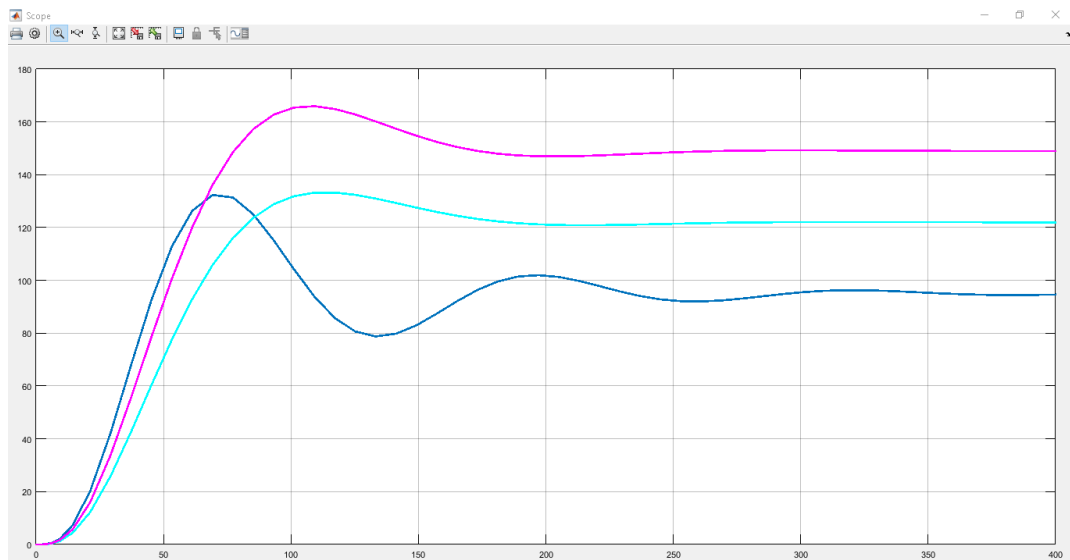


Рисунок 4.10 – Графік зміни температури за часом на зворотній мережевій воді

На рисунку 4.11 показаний графік температури на виході другого блоку теплообмінника №1, №2 та №3. У якості низькопотенційного тепла використана зворотна мережева вода.

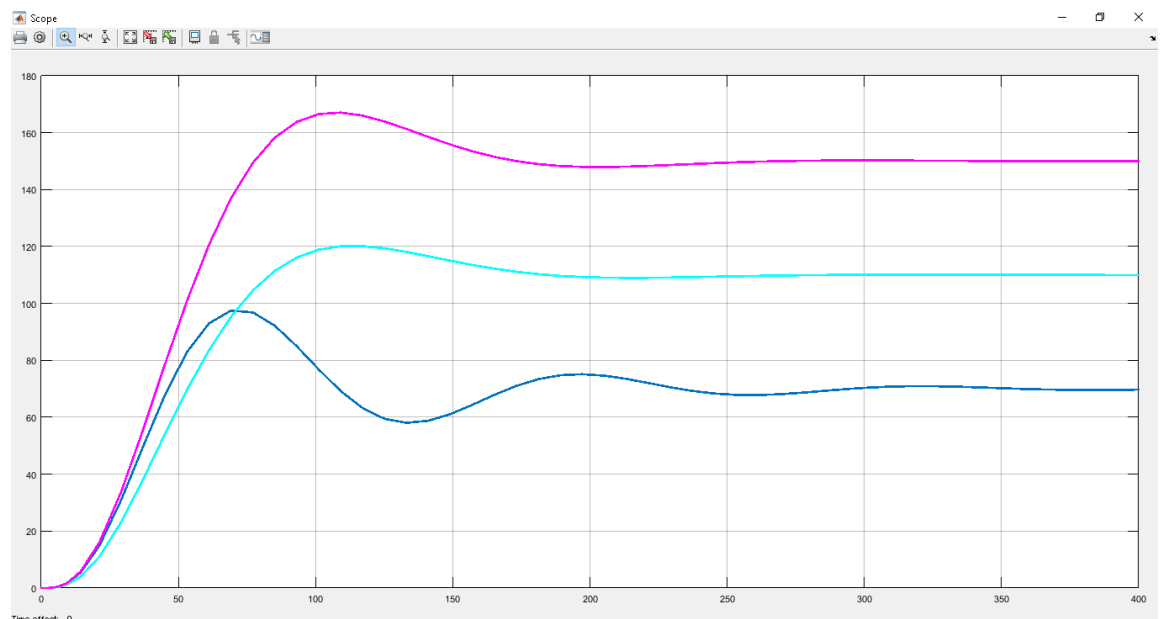


Рисунок 4.11 – Графік зміни температури за часом

У таблицях 4.3 та 4.4 зібрані результати експериментів на математичній моделі.

Таблиця 4.3 - Температурні показання теплоносія на зворотній мережевій воді

Темп. зовн. повітря, °С	Темп. з. м. води, °С	Необхідна темп. води	Темп. води у т.о. №1, °С	Темп. води у т.о. №2, °С	Темп. води у т.о. №3, °С
0	40	65	48	57	65
-10	48	86	60	72	85
-16	53	98	68	83	98
-22	57	110	74	92	110
-28	60	121	80	100	120
-34	64	133	86	109	132
-43	70	150	95	122	149

Таблиця 4.4 - Температурні показання теплоносія на стічних водах

Темп. зовн. повітря, °С	Темп. з. м. води, °С	Необхідна темп. води	Темп. води у т.о. №1, °С	Темп. води у т.о. №2, °С	Темп. води у т.о. №3, °С
0	25	65	37	49	62
-10	24	86	44	65	85
-16	23	98	48	73	98
-22	22	110	51	80	110
-28	21	121	54	87	120
-34	20	133	57	94	132
-43	70	150	95	122	149

Після серії експериментів на математичній моделі було встановлено, що тепловий насос, який використовує підземні води, стічні води та повітря як джерела тепла з низьким потенціалом, повністю досяг температурних позначок, яких не вдалося досягти звичайними високотемпературними тепловими насосами. Двоконтурний високотемпературний тепловий насос, що опалює адміністративну будівлю зворотною водою з водопровідної мережі як низькопотенційного джерела тепла. Досить одного контуру теплового насоса.

4.4 Проектування і розробка системи автоматичного керування двоконтурного теплового насоса

Для реалізації задуму було обрано різне обладнання та механізми доставки. У списку зазначено наступне:

1. Виконавчий механізм – насос з трифазним електродвигуном, що приводиться в дію від перетворювача частоти ПМ Г-500 Профімастер.

2. Програмоване реле PR 200 з аналоговими та дискретними входами та виходами.

Owen PR200 — інтелектуальне реле для створення простих автоматизованих систем управління технологічними процесами в різних галузях промисловості, житлово-комунального господарства, сільського господарства.

Прилад надійний, простий у програмуванні та роботі. Для програмування Owen PR200 не потрібні спеціальні навички, оскільки він працює в простому та інтуїтивно зрозумілому середовищі програмування. Інтелектуальні алгоритми пересилання створюються користувачем мовою функціональних блоків (FB). Програма підключається до пристрою за допомогою стандартного кабелю mini-USB.

3. Датчик температури 4-20 мА. Де значення «0» має нижню межу 4 мА, а значення «100» має верхню межу 20 мА.

4. Блок живлення 24В, контактор 3 фази, кнопка блокування, лампа 24В, автоматичний вимикач 6А, сигналізація ОПОП-124-7.

5. Датчик контролю витрати води 12-24 В, максимальний тип вихідного сигналу 50 мА. Ступінь захисту IP67.

Цей набір буде розташований на панелі керування. Щит легко встановлюється в гарячих точках і не викликає особливих труднощів при установці. Просто підключіть насос до відповідних клем на панелі керування та подайте напругу.

					ОА.91.08.2097-С.000 ПЗ	Арк
						77
Змн.	Арк	№ докум.	Підпис	Дата		

Нижче наведена блок-схема системи керування тепловим насосом (рисунок 4.12). Контролер керуватиме двома перетворювачами частоти, надаючи сигнали керування та регулювання кожному перетворювачу частоти.

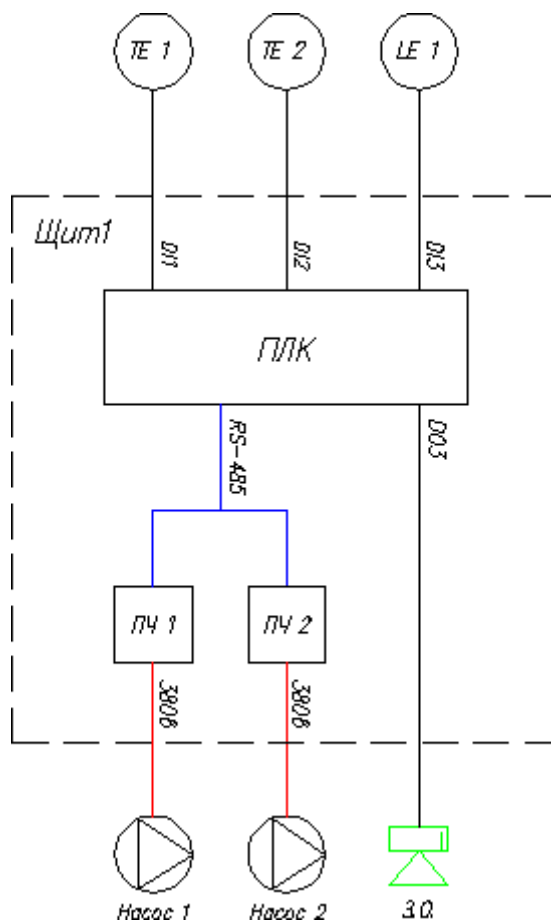


Рисунок 4.12 – Структурна схеми системи керування теплового насоса

На малюнку 4.13 показана схема підключення панелі керування. 13 клем для електричних ланцюгів, 25 найменувань довжини кабелю, 2 коди пристроїв, 2 контактора реле, 2 водяних насоса, 1 кнопка фіксована, 1 контролер, 1 джерело живлення, 1 лампа, 1 пристрій світлозвукової сигналізації.

Трифазна напруга підключається до клем 1-4, джерело живлення трифазного двигуна водяного насоса підключається до клем 4-7, а «+» і «-» датчика тиску підключаються до клем 8 і 9. «+» і «-» датчика занурення у воду підключені до клем 10 і 11. «+» і «-» сигналізації Ороп124-7 підключені до клем 12 і 13 і спрацьовують при аварії..

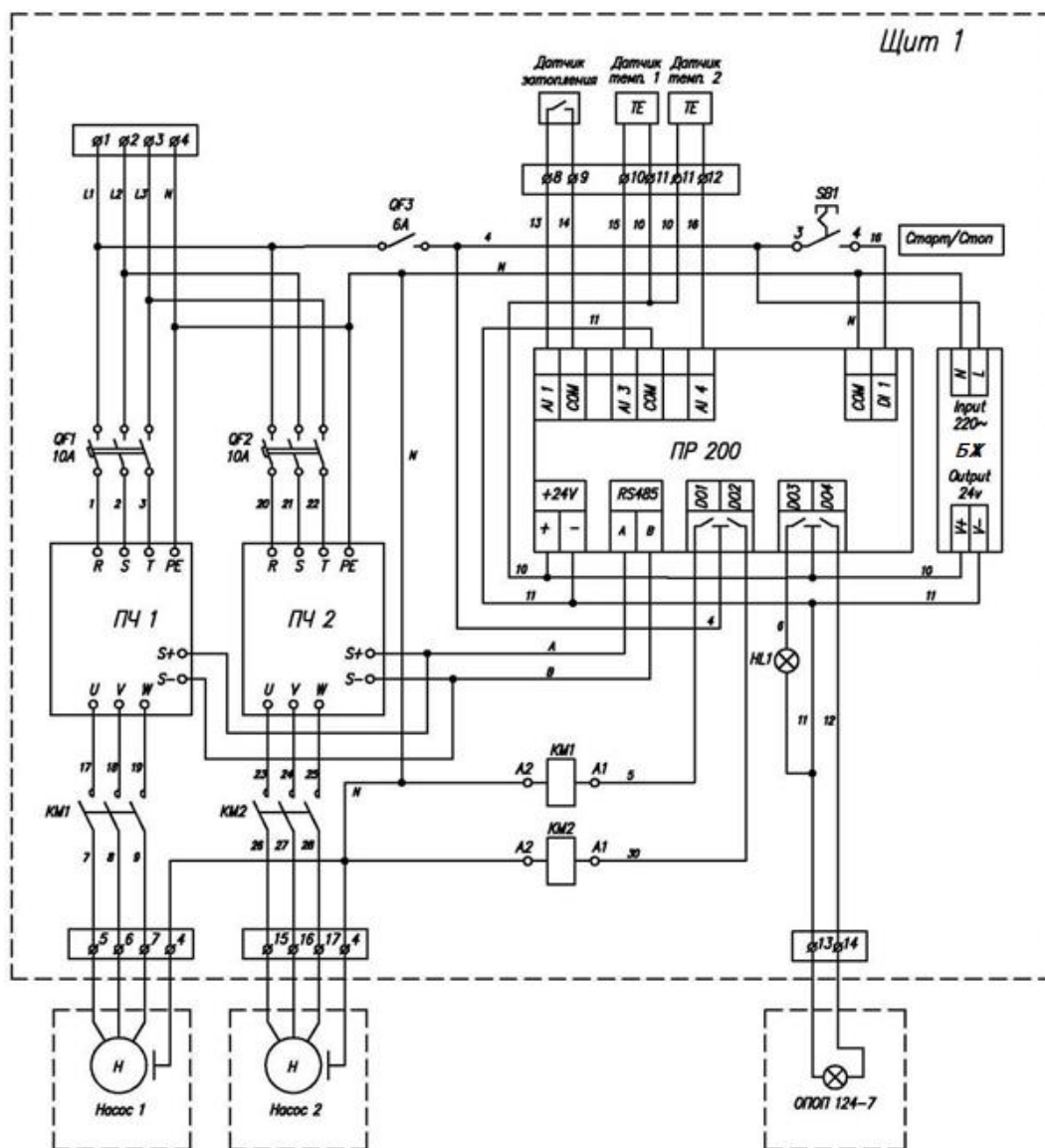


Рисунок 4.13 – Електрична схема підключення

Основним блоком управління є програмований логічний контролер PR 200 із входами, підключеними до датчиків тиску, датчиків занурення у воду та фіксованих кнопок. До виходу підключаються контактори, лампи і аварійні сирени.

При подачі напруги на входи контактора A1 і A2 ланцюг замикається і через виходи контактора проходить трифазна напруга. Таким чином керуючи двигуном водяного насоса.

Режим зв'язку між контролером і інвертором - інтерфейс RS485.

Змн.	Арк	№ докум.	Підпис	Дата

5 СИСТЕМА МОНІТОРИНГУ ОХОРОНИ ПРАЦІ ЕЛЕКТРОТЕХНІЧНОГО ПРАЦІВНИКА

5.1 Характеристика приміщення й організація робочого місця

В розділі охорона праці розглядаємо роботу електрослюсаря, при обслуговуванні теплового пункту. Кімната площею 24 м² уміщає одне робоче місце. Площа, що доводиться на одне робоче місце відповідає нормі у 9 м² на людину [1]. У кімнаті є одне вікно, орієнтоване на південний захід.

5.2 Мікроклімат

Метеорологічні умови або мікроклімат робочого місця визначають такі параметри: температуру повітря в приміщенні; відносна вологість, %; швидкість вітру м/с

Робота електрика відноситься до легких робіт, віднесена до категорії 2а, тому що робота пов'язана з постійним ходінням, переміщенням виробів або дрібних предметів (до 1 кг) стоячи або сидячи, вимагає фізичних зусиль, енерговитрат в межах 151 .. 200 ккал/год (175 .. 232 Вт).

У машинних залах, пультах і пунктах управління технологічними процесами, місцях комп'ютерної техніки та інших виробничих дільницях при виконанні робіт, пов'язаних з нервово-емоційним навантаженням, ідеальна температура повітря 22...24 °С при відносній вологості повітря 40- 60%, швидкість руху не перевищує 0,1 м/с.

					ОА.91.08.2097-С.000 ПЗ			
Змн.	Арк	№ докум.	Підпис	Дата	Охорона праці	Літ.	Арк	Аркушів
Розроб.		Маламан Д.О.						
Перевір.		Третьякова Л.Д.					80	92
Реценз.						НТУУ "КПІ" НН ІЕЕ ОА-91		
Н. Контр.		Кулаковський Л.Я.						
Затверд.								

За результатами вимірів у приміщенні даного типу температура у холодний період року дорівнює + 23 °С, а в теплу пору року +24 °С, вологість у приміщенні є нормальною: відносна вологість - 50 %, швидкість повітря складає-0,05м/с. Робота в приміщенні не супроводжується виділенням у повітря шкідливих речовин: пар, газів і т.д.

Параметри мікроклімату забезпечуються системою вентиляції, кондиціонування й опалення відповідно до вимог стандарту [2].

Таблиця 5.1 Санітарні норми параметрів мікроклімату

Параметри мікроклімату	Норма	Фактичне значення
Температура		
- холодний період року, °С	22...24	22
- теплий період року, °С	22..24	23
Відносна вологість, %	40-60	50
Швидкість повітря, м/с	≤0,1	0,05

Висновок: Вимірянні значення температури, відносної вологості і швидкості повітря відповідають санітарним нормам мікроклімату.

5.3 Шкідливі речовини в повітрі робочої зони.

В приміщенні теплового пункту відсутні шкідливі речовини.

5.4 Освітлення

5.4.1 Природне освітлення

Природне освітлення обумовлене прямими сонячними променями й розсіяним світлом і змінюється залежно від географічної широти, часу доби, ступеня хмарності, прозорості атмосфери.

В даному випадку в приміщення світло проникає через бокове вікно, тому називається однобічним .

					ОА.91.08.2097-С.000 ПЗ	Арк
						81
Змн.	Арк	№ докум.	Підпис	Дата		

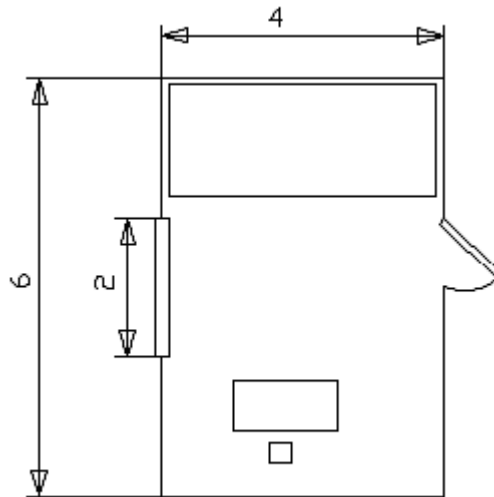


Рисунок 5.1 Розташування робочого місця у приміщенні

Як критерій природного освітлення прийнятий коефіцієнт природної освітленості (КПО). Для будинків, розташованих в 1, 2, 4 та 5 поясах світлового клімату, нормовані значення КПО по [3].

$$e_n^{i,II,IV,V} = e_n^{III} \cdot m \cdot C \quad (5.1)$$

де e_n^{III} - значення КПО по таблицях і нормам, %;

m - коефіцієнт світлового клімату (оскільки Київ розташований в 4 поясі світлового клімату, коефіцієнт світлового клімату $m = 0,9$);

C - коефіцієнт сонячності клімату. (захід $C = 0,85$);

$$e_n^{IV} = 1.5 \cdot 0.85 \cdot 0.95 = 1.2 \%$$

Фактичне значення КПО $e_n = 1,2\%$ - відповідає нормі, тобто природне освітлення відповідає нормам.

5.4.2 Штучне освітлення

Штучне освітлення застосовується при недостатності природного освітлення або його відсутності.

По призначенню штучне освітлення розділяється на: робоче, аварійне, евакуаційне, охоронне й чергове.

Усі приміщення, які використовуються для роботи та проходу персоналу, обладнані робочим освітленням.

Забезпечує штучне освітлення - люмінесцентні лампи ЛБ-40 з номінальним світловим потоком, рівним 3120 лм, так як за своїм спектральним складом наближені до природного освітлення і є більш економічними. Встановити в приміщенні 2 лампочки USP-35-4*40. Головка лампи виготовлена із світлорозсіюючого матеріалу. У зв'язку з пульсуючим ефектом при включенні необхідно стежити за різнофазним підключенням ламп. Контраст об'єкта розрізнення з фоном:

$$K = \left| \frac{L_o - L_{\phi}}{L_{\phi}} \right| = \left| \frac{0.5 - 2}{2} \right| = 0.72 \quad (5.2)$$

Контраст об'єкта розрізнення із фоном вважається - великим $K > 0,5$.

5.5. Шум.

Тепловий насос створює шум під час роботи, джерелом шуму є тертя обертових частин двигуна.

Шум, що створюється в розглянутій кімнаті, можна класифікувати як фоновий шум, тобто широкосмуговий шум змішаного походження, створюваний роботою двигунів.

Допустимий рівень звукового тиску октавної смуги, рівень звуку та еквівалентний рівень звуку на робочому місці визначають відповідно до [4]:

Рівень звукового тиску двигуна в майстерні не повинен перевищувати 80 децибел.

Для тонального та імпульсного шуму допустиме значення повинно бути на 5 дБ менше значення, зазначеного в [4].

Основними засобами колективного захисту від шуму є: зниження шуму в джерелі шуму та зниження шуму на шляху шуму.

					ОА.91.08.2097-С.000 ПЗ	Арк
						83
Змн.	Арк	№ докум.	Підпис	Дата		

Заходи щодо зниження механічного шуму в джерелі включають встановлення кожухів, екранів, встановлення менш шумного обладнання, використання віброізоляційних і звукопоглинаючих прокладок, покриттів, своєчасний ремонт і заміну зношених механізмів. Якщо можливо, замініть підшипники на підшипники ковзання, які можуть знизити шум на 10-15 децибел.

Необхідно регулярно очищати зазори в механічній коробці передач і змащувати тертьові поверхні.

Зменшити рівень шуму можна також шляхом розміщення на стінах приміщення звукопоглинальних матеріалів, установки штучних звукопоглиначів, правильного розміщення шумного обладнання в приміщенні.

5.6 Заходи для запобігання ураження електричним струмом

Розрізняють два режими роботи електрообладнання:

- нормальний (паспорт)
- Аварія - це перехід струму зі струмоведучої частини в неструмопровідну.

За звичайних обставин такі методи можна використовувати для запобігання ураження людей електричним струмом:

1. Ізоляція струмоведучих частин електрообладнання
2. Підвіска годинниці недоступна.
3. Використання напруги нижче зазначеної [5].
4. Маркування частин електрообладнання, по яких тече струм. Всі струмоведучі частини повинні бути пофарбовані в яскраво-червоний колір.
5. Вирівнювання потенціалів при замиканні струму на землю.

В аварійному режимі існує ризик ураження електричним струмом:

- Порушення ізоляції проводів від електрообладнання

					ОА.91.08.2097-С.000 ПЗ	Арк
						84
Змн.	Арк	№ докум.	Підпис	Дата		

- Компоненти обладнання, які не пропускають струм, можуть опинитися під напругою через пошкодження ізоляціїВ приміщенні теплопункту розташовується таке устаткування:

Таблиця 5.2 Технічні параметри устаткування теплопункту

Найменування устаткування	Кількість	Потужність, кВт	Напруга живлення, В
Циркуляційні насоси сист. опалення	2	4	380
Циркуляційні насоси сист. тепло пост.	2	0,88	380
Циркуляційні насоси системи ГВС	2	0,68	380
Контролери	2	-	220
Датчики	2	-	220

Для запобігання ураження електричним струмом використовується захисне заземлення.

Визначаються припустимі опори пристрою, що треба заземлити $R_g = 10 \text{ Ом}$ (електроустановки напругою до 1000 В з ізолюваною нейтраллю та при сумарній потужності генераторів чи трансформаторів 100 кВА та менше). При розрахунку заземлення використовуємо наступні параметри :

1. напруга устаткування, що заземлюється, 400 В;
2. електроустановка з ізолюваною нейтраллю;
3. ґрунт, $\rho = 100 \text{ Ом} \cdot \text{м}$;
4. діаметр стержня, $d = 15 \text{ мм}$;
5. довжина стержня, $l = 3 \text{ м}$.

Визначаються припустимі опори пристрою, що треба заземлити $R_g = 10 \text{ Ом}$ (електроустановки напругою до 1000 В з ізолюваною нейтраллю). Опори штучних заземлень:

$$R_u = R_g = 10 \text{ Ом} \quad (5.3)$$

Вибираємо тип і розміри вертикального електрода заземлення. У якості вертикального заземлення вибираємо сталевий стержень (діаметр – 15 мм,

довжина 3 м). Опір ґрунту $\rho = 100 \text{ Ом} \cdot \text{м}$. Розраховуємо опір розтіканню з одного вертикального електрода по формулі:

$$R_1 = \frac{\rho}{2\pi l} \left(\ln \frac{2l}{d} + \frac{1}{2} \ln \frac{4t+l}{4t-l} \right) = \frac{100}{2 \cdot 3,14 \cdot 3} \cdot \left(\ln \frac{2 \cdot 3}{15 \cdot 10^{-3}} + \frac{1}{2} \ln \frac{4 \cdot 2 + 3}{4 \cdot 2 - 3} \right) = 32 \text{ Ом} \quad (5.4)$$

Необхідна кількість вертикальних електродів визначається залежністю:

$$n = \frac{R_1}{\eta_b R_u} = \frac{32}{0,78 \cdot 10} = 4 \text{ шт} \quad (5.5)$$

де $\eta_b = 0,78$ – коефіцієнт взаємного екранування електродів, що залежить від кількості електродів і їх взаємного розташування.

Вибираємо форму перетину з'єднувальної смуги: сталева смуга товщиною 4 мм і шириною 40 мм. Визначаємо довжину сполучної смуги:

$$l_n = a(n-1), \quad (5.6)$$

$$l_n = 3(4-1) = 9 \text{ м},$$

де a – відстань між вертикальними електродами $a = l = 3 \text{ м}$.

Опір розтікання струму з'єднувальної смуги:

$$R_n = \frac{\rho}{2\pi\eta_e} \cdot \ln \frac{2l_n^2}{bt_n} = \frac{100}{2 \cdot 3,14 \cdot 0,75} \cdot \ln \frac{2 \cdot 9^2}{0,04 \cdot 0,82} = 6,015 \text{ Ом}, \quad (5.7)$$

Де η_e – коефіцієнт екранізування сполучної смуги і вертикальних електродів.

Звідси еквівалентний опір штучних заземлень:

$$R_u = \frac{R_1 \cdot R_n}{R_1 + n \cdot \eta_e \cdot R_n} = \frac{32 \cdot 6,015}{32 + 4 \cdot 0,75 \cdot 6,015} = 8,13 \text{ Ом} \quad (5.8)$$

Отриманий еквівалентний опір заземлювача відповідає вимогам [5].

Схема заземлення зображена на рис. 5.2.

					ОА.91.08.2097-С.000 ПЗ	Арк
Змн.	Арк	№ докум.	Підпис	Дата		86

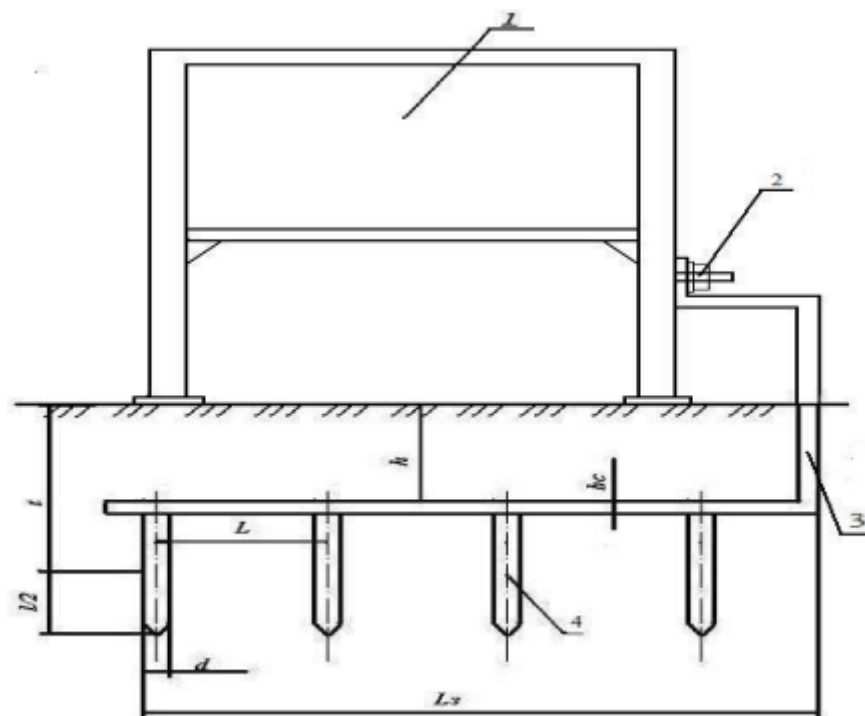


Рисунок 5.2 – Схема захисного заземлення

5.7 Пожежна безпека

Пожежна безпека електроустановок регламентується [6].

В даному випадку це приміщення, де розміщені дерев'яні столи та стільці, а також обладнання центрального опалення - насоси, мережеві фільтри та регулятори центрального опалення. Причиною пожежі може бути загоряння деревини або пластику при іскрі в приміщенні, тобто внаслідок пошкодження ізоляції струмоведучих частин обладнання.

Відповідно до [6] такі приміщення відносяться до категорії «Г», оскільки негорючі речовини використовуються в гарячому стані.

У теплових пунктах можуть загорітися двигуни водяних насосів, тому можлива категорія пожежі Е. Потрібен газовий вогнегасник або вуглекислотний вогнегасник ВВ-5.

Щоб запобігти пожежам на виробництві, необхідно дотримуватись таких заходів та заходів:

					ОА.91.08.2097-С.000 ПЗ	Арк
						87
Змн.	Арк	№ докум.	Підпис	Дата		

- Конструкція будинку виконана з негорючих і негорючих речовин і матеріалів;
- Наявність планів евакуації на випадок пожежі;
- Регулярно перевіряйте ізоляцію з'єднувальних проводів;
- Наявність датчиків.

Час задовольняє вимоги [6].

5.8 Оцінка організаційно- технічної безпеки методом Елмері

Рекомендується кількісна оцінка організаційно-технічної безпеки (ОТБ) на основі індексу безпеки Elmeri. Підхід Елмері базується на спостереженнях за всіма найважливішими складовими охорони праці, такими як: дотримання вимог безпеки під час виконання робіт, стан приміщень і споруд, робочого місця, обладнання, інструментів, використання працівниками ЗІЗ, порядок на робочому місці. , питання гігієни та ергономіки праці визначаються формулами:

$$ОТБ = \frac{\text{пункти "існує"}}{\text{пункти "існує"} + \text{пункт "відсутнє"}} \cdot 100\% \quad (5.9)$$

Пункти “існує” відповідно до попередніх розділів дорівнює 15, до пунктів відсутнє можна віднести відсутність аптечки у робочому приміщенні, підвищений рівень шуму, тобто пункти “відсутнє”=2

Звідси

$$ОТБ = \frac{15}{15 + 2} \cdot 100\% = 88,2 \%$$

Висновки з розділу

У розділі оглянуто робоче місце електрослюсаря у тепловому пункті, у якому параметри мікроклімату, а саме температура повітря в межах 22..24 °С у теплий та холодний періоди року, відносна вологість повітря на рівні 50% та швидкість повітря 0,05 м/с забезпечуються системою вентиляції, кондиціонування й опалення.

					ОА.91.08.2097-С.000 ПЗ	Арк
						88
Змн.	Арк	№ докум.	Підпис	Дата		

Шкідливі речовини у повітрі відсутні.

Реалізовано штучне освітлення лампами ЛБ-40, що забезпечують світловий потік у 3120 лм.

Запропоновані заходи щодо зниження рівня шуму у приміщенні: пристрій кожухів, екранів, установка менш шумливого устаткування, застосування віброізолюючих і звукопоглинаючих прокладок, покриттів, а також своєчасний ремонт і заміна механізмів, що зносилися.

Розраховане захисне заземлення, визначена кількість вертикальних заземлювачів $n=4$, матеріал заземлювачів - сталь.

Надані рекомендації для запобігання виникнення пожежі в процесі роботи: конструкція будинку з негорючих і важкозаймистих речовин і матеріалів; наявність плану евакуації при пожежі; періодичний контроль ізоляції сполучних проводів; наявність датчиків.

Запропоновані заходи та засоби безпеки електротехнічного працівника були оцінені методом Елмері, що показав результат у 88,2%, що є дуже високим показником безпеки праці.

					ОА.91.08.2097-С.000 ПЗ	Арк
						89
Змн.	Арк	№ докум.	Підпис	Дата		

Висновки

У даному дипломному проекті розглядалась можливість використання нетрадиційних джерел енергії, а саме теплонасосних установок, для опалення в холодну пору року та для кондиціонування повітря в теплу пору року.

Як і будь-який об'єкт, теплові насоси мають свої плюси і мінуси, які описані в даному проекті.

Після розрахунку в якості встановленого випарника і конденсатора був обраний теплообмінник з U-подібними трубами.

Для цієї адміністративної будівлі ми обрали двоконтурний тепловий насос Dunfoss.

На даний момент цілі та завдання в процесі реалізації проекту були вирішені та реалізовані. Можна продовжувати розвивати абсолютно нові ідеї опалення адміністративних будівель.

					ОА.91.08.2097-С.000 ПЗ	Арк
						90
Змн.	Арк	№ докум.	Підпис	Дата		

Список використаної літератури

1. MOFIDI, Farhad; AKBARI, Hashem. Intelligent buildings: An overview. *Energy and Buildings*, 2020, 223: 110192.
2. CLEMENTS-CROOME, Derek; CROOME, Derek J. (ed.). *Intelligent buildings: design, management and operation*. Thomas Telford, 2004.
3. МЕЙТА, Олександр В., et al. Електропостачання промислових підприємств. 2014.
4. МЕЙТА, Олександр Вячеславович; ОСАДЧУК, Микола Павлович. Релейний захист та автоматизація енергосистем. Лабораторний практикум. 2022.
5. ESLAMI-NEJAD, Parham; BERNIER, Michel. Coupling of geothermal heat pumps with thermal solar collectors using double U-tube boreholes with two independent circuits. *Applied Thermal Engineering*, 2011, 31.14-15: 3066-3077.
6. CHUA, Kian J.; CHOU, Siaw K.; YANG, W. M. Advances in heat pump systems: A review. *Applied energy*, 2010, 87.12: 3611-3624.
7. ZOU, Shenghua; XIE, Xiaokai. Simplified model for coefficient of performance calculation of surface water source heat pump. *Applied Thermal Engineering*, 2017, 112: 201-207.
8. ДБН В.2.2-15-2005. Державні будівельні норми. Будинки і споруди. Житлові будинки. Основні положення. Вид. офіц. Київ: Держспоживстандарт України, 2005. 6 с.
9. ДСН 3.3.6.042-99. Державні санітарні норми мікроклімату виробничих приміщень. Вид. офіц. Київ: Держстандарт України, 1999. 56 с.
10. ДБН В.2.5-28-2006. Державні будівельні норми. Природне і штучне освітлення. Вид. офіц. Київ: Держстандарт України, 2006. 67 с.

					ОА.91.08.2097-С.000 ПЗ	Арк
						91
Змн.	Арк	№ докум.	Підпис	Дата		

11. ДСН 3.3.6.037-99. Державні санітарні норми виробничого шуму, ультразвуку та інфразвуку. Вид. офіц. Київ: Держнаглядохоронпраці, 1996. 15 с.
12. ДСанПіН 3.3.6.096-2002. Державні санітарні норми і правила при роботі з джерелами електромагнітних полів. Вид. офіц. Київ: Держнаглядохоронпраці, 2002. 38 с.
13. ДБН В.1.2-7-2008. Основні вимоги до будівель і споруд. Пожежна безпека. Вид. офіц. Київ: Держстандарт України, 2008, 25 с.
14. СУХОДУБ, І. О.; ЯЦЕНКО, О. І. Енергетичне обстеження будівлі учбового призначення. *Молодий вчений*, 2015, 6 (1): 31-35.
15. ЄРЬОМІН, А. В.; КОЛОСОВ, О. Є. ВИБІР ТА ОБҐРУНТУВАННЯ НАПРЯМКІВ ПІДВИЩЕННЯ ЕНЕРГЕТИЧНОЇ ЕФЕКТИВНОСТІ УКРАЇНСЬКИХ БУДІВЕЛЬ І СПОРУД.
16. ЛУЖАНСЬКА, Ганна Вікторівна, et al. ВИКОРИСТАННЯ СКИДНОГО ТЕПЛА У СИСТЕМІ АВТОНОМНОГО ТЕПЛОПОСТАЧАННЯ ЖИЛИХ БУДІВЕЛЬ. *EDITORIAL BOARD*, 2022, 414.
17. NAKHODOV, V.; SHOVKALIUK, M.; MYKYTA, Y. АНАЛІЗ ПІДХОДІВ ДО ВИЗНАЧЕННЯ КІЛЬКОСТІ ТЕПЛОВОЇ ЕНЕРГІЇ НА ПОТРЕБИ ГАРЯЧОГО ВОДОПОСТАЧАННЯ ПІД ЧАС ЕНЕРГОСЕРТИФІКАЦІЇ БУДІВЕЛЬ. *POWER ENGINEERING: economics, technique, ecology*, 2022, 3.
18. ПОНОМАРЧУК, І. А.; ВОРОНЧУК, Р. О.; БАГРІЙ, В. В. *Аналіз ефективності використання комбінованих систем теплопостачання багатоповерхової житлової будівлі*. 2018. PhD Thesis. ВНТУ.
19. SEGAL, Dvira; NITZAN, Abraham. Molecular heat pump. *Physical Review E*, 2006, 73.2: 026109.
20. BRUNIN, O.; FEIDT, M.; HIVET, B. Comparison of the working domains of some compression heat pumps and a compression-absorption heat pump. *International Journal of Refrigeration*, 1997, 20.5: 308-318.

					ОА.91.08.2097-С.000 ПЗ	Арк
Змн.	Арк	№ докум.	Підпис	Дата		92