

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

Навчально – науковий інститут енергозбереження та енергоменеджменту

Кафедра автоматизації електротехнічних та мехатронних комплексів

До захисту допущено:

Завідувач кафедри

_____ Сергій БОЙЧЕНКО

« ____ » _____ 2023р.

Дипломний проєкт

на здобуття ступеня бакалавра

**за освітньо-професійною програмою «Інжиніринг автоматизованих
електротехнічних комплексів»**

спеціальності 141 «Електроенергетика, електроніка та електромеханіка»

на тему: «Автоматизація системи водопостачання селища міського типу»

Виконав:

Студент IV курсу, групи ОА-91

Головащенко Владислав Сергійович _____

Керівник:

Ст.викладач

Прядко Сергій Леонідович _____

Консультант з електропостачання:

к.т.н. , доцент

Мейта Олександр В'ячеславович _____

Консультант з охорони праці:

д.т.н. , професор

Третякова Лариса Дмитрівна _____

Рецензент: _____

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

Засвідчую, що у цьому дипломному
проєкті 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
Кафедра автоматизації електротехнічних та мехатронних комплексів

Рівень вищої освіти – перший (бакалаврський)

Спеціальність – 141 «Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка»

Освітньо-професійна програма «Інжиніринг автоматизованих електротехнічних комплексів»

ЗАТВЕРДЖУЮ:

Завідувач кафедри

_____ Сергій БОЙЧЕНКО

«__» _____ 2023р.

ЗАВДАННЯ

на дипломний проєкт студенту

Головащенко Владиславу Сергійовичу

1. Тема проєкту «Автоматизація системи водопостачання селища міського типу», керівник проєкту ст. викладач Прядко Сергій Леонідович, затвержені наказом по університету від «31» травня 2023р. №2097-С
2. Термін подання студентом проєкту 17 червня 2023р.
3. Вихідні дані про проєкту – Розміри приміщення управління – 8·8 м. Селище міського типу для розрахунків – Калинівка.
4. Зміст пояснювальної записки:

Загально-технічна частина Проектування водопровідної мережі. Розробка технологічної схеми очищення води. Вибір насосного агрегату.

Електропостачання Розрахунок електричних навантажень, вибір перетину проводів, розробка принципової електричної схеми.

Спеціальна частина Вибір електроприводу насосної станції, вибір перетворювача частоти. Розрахунок параметрів перетворювача частоти. Моделювання управління асинхронним двигуном за допомогою перетворювача частоти.

Автоматизація Вибір системи автоматизації та пристроїв керування. Принцип роботи системи автоматизації.

Охорона праці Розробка заходів безпеки на робочому місці, заходів та засобів протипожежної безпеки.

5. Перелік графічного матеріалу (із зазначенням обов'язкових креслеників, плакатів, презентацій, тощо):

1 аркуш – Загально-технічна частина;

2 аркуш – Схема електропостачання селища міського типу Калинівка;

3 аркуш – Спеціальна частина;

4 аркуш – Автоматизація.

6. Консультанти розділів проекту*

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		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 20.05.2023

Календарний план

№ з/п	Назва етапів виконання дипломного проекту	Термін виконання етапів проекту	Примітка
1.	Загально-технічна частина	20.05-25.05	
2.	Електропостачання	26.05-1.06	
3.	Спеціальна частина	2.06-6.06	
4.	Охорона праці	7.06-12.06	
5.	Підготовка графічного матеріалу	13.06-15.06	

Студент

Владислав ГОЛОВАЩЕНКО

Керівник

Сергій ПРЯДКО

ВІДОМІСТЬ ДИПЛОМНОГО ПРОЄКТУ

№ з/п	Формат	Позначення	Найменування	Кількість листів	Примітка
1	A4		Завдання на дипломний проєкт	2	
2	A4	ОА.91.01.2097-С.000 ПЗ	Пояснювальна записка	78	
3	A1	ОА.91.01.2097-С.000 С1	Загально-технічна частина	1	
4	A1	ОА.91.01.2097-С.000 С2	Спеціальна частина	1	
5	A1	ОА.91.01.2097-С.000 С3	Схема електропостачання	1	
6	A1	ОА.91.01.2097-С.000 С4	Автоматизація системи водопостачання СМТ	1	

					ОА.91.01.2097-С.000			
Змн.	Арк.	№ доквм.	Підпис	Дата				
Розробив		Головащенко В.С.			Відомість дипломного проєкту	Літ.	Арк.	Аркушів
Перевірив		Прядко С.Л.					1	1
Рецензент.						КПІ ім. Ігоря Сікорського Каф. АЕМК, гр. ОА-91		
Н. Контр.		Кулаковський Л.Я.						
Затверд.		Бойченко С.В.						

**Пояснювальна записка
До дипломного проєкту
На тему: «Автоматизація системи
водопостачання селища міського типу»**

Київ – 2023 року

Реферат

Дипломний проєкт на тему: «Автоматизація системи водопостачання селища міського типу»; 90 с., 5 розділів, 17 рис., 30 табл., 15 джерел.

Проектування, система водопостачання, енергоефективність, моделювання, перетворювач частоти

Об'єкт дослідження – водопостачання селища міського типу Калинівка.

Метод дослідження – метод класифікації, порівняння; комп'ютерне моделювання.

У дипломному проєкті виконано автоматизацію системи водопостачання селища міського типу Калинівка.

Розроблена система автоматизації, що дає змогу дистанційно керувати об'єктом автоматизації, та дозволяє перевести управління в автономний режим.

Abstract

Diploma project on the topic: "Automation of the system water supply of an urban-type settlement"; 90 pp., 5 chapters, 17 figures, 30 tables, 15 sources.

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

The object of the study is the water supply of the urban-type village of Kalynivka.

The research method is the method of classification, comparison; computer simulation.

In the diploma project, the automation of the water supply system of the urban-type village of Kalynivka was performed.

An automation system has been developed that enables remote control of the automation object, and allows you to transfer control to autonomous mode.

Зміст

1. Загально-технічна частина	13
1.1 Проектування водопровідної мережі	13
1.2 Розрахунок водопостачання	15
1.2.1 Розрахунок витрат води на особисті та домашні потреби	15
1.2.2 Витрати води на комунальні потреби	17
1.1.3 Витрати води для пожежогасіння	19
1.3 Деталювання основних вузлів водопровідної мережі	20
1.4 Побудова профілю водоводу	24
1.4 Розробка технологічної схеми очищення води	24
1.6 Визначення об'єму резервуарів чистої води та баків водонапірних башт	26
1.7 Розрахунок параметрів двигуна насоса	28
2. Електропостачання	33
2.1 Коротка характеристика проектного підприємства	33
2.2 Розрахунок освітлення	34
2.2.1 Розрахунок освітлення кімнати керування методом коефіцієнта використання світлового потоку	34
2.2.2 <i>Розрахунок освітлення насосного відділення методом питомої потужності</i>	35
2.2 Розрахунок електричних навантажень	36
2.4. Розрахунок електричних мереж	40
2.4.1 Розрахунок струмів навантаження групи електроприймачів	40
2.4.2 Вибір перетину провідників і жил кабелів за нагрівом	41
2.4.3 Розрахунок електричної мережі за економічною густиною струму	43
2.4.4 Вибір ліній мережі за умови механічної міцності	44
2.4.5 <i>Розрахунок електричної мережі за допустимими втратами напруги</i>	44
2.4.6 <i>Остаточний вибір перетинів проводів і жил кабелів</i>	47

					ОА.91.01.2097-С.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ док.ум.	Підпис	Дата		

2.5 Розрахунок струмів КЗ.....	48
2.5.1 Розрахунок струмів КЗ в мережах напруги до 1000 В.....	48
2.6 Вибір електричних апаратів	53
2.6.2 Захист електродвигунів напругою до 1000 в плавкими запобіжниками.....	54
2.6.3 Вибір автоматичних вимикачів у загальнопромисловому виконанні та уставок їх захисту.....	55
2.6.4 Вибір КРП.....	55
2.7 Основні енергетичні показники	57
2.7.1 розрахунок втрат потужності в трансформаторах	57
2.7.2 Розрахунок втрат потужності в лініях електричної мережі.....	58
Висновки.....	59
3. Спеціальна частина	61
3.1 Обґрунтування та вибір системи електроприводу.....	61
3.1.1 Застосування частотно-регульованого електроприводу в системах водопостачання.....	61
3.2 Розрахунок параметрівасинхронного двигуна	64
3.3Розрахунок силових модулів ПЧ-АД	66
3.4Вибір датчиків для системи управління ПЧ-АД	69
3.5 Моделювання динамічних режимів частотно-регульованого електроприводу	71
3.5.1 Розрахунок параметрів частотно-регульованого електропривода для моделювання	72
3.5.2 Розрахункові параметри двигуна:.....	73
3.5.3 Моделювання системи ПЧ-АД за допомогою пакету Matlab.....	75
4.Автоматизація	76
4.1 автоматизація системи керування міським водопостачанням.....	76
4.2 Автоматизація станції на об'єктах керування ЖКГ	77
4.3Методи та схеми телевимірювання	78
4.4Загальні відомості про призначення ШАСУ	79

					ОА.91.01.2097-С.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ док.ум.	Підпис	Дата		

4.4.1 Принцип дії ШАСУ	80
5. Охорона праці та пожежна безпека під час експлуатації автоматизованої системи водопостачання	83
5.1 Загальна характеристика об'єкта	83
5.2 Перелік робіт та склад бригади.....	84
5.3 Аналіз умов праці на робочому місці працівників	87
5.4 Визначення та оцінка небезпечних та шкідливих чинників на робочому місці.....	87
5.5 Вибір технічних засобів і заходів безпеки робіт в енергоустановках	88
5.6 Вибір засобів індивідуального захисту для обмеження впливу небезпечних та шкідливих чинників.....	88
5.7 Заходи пожежної безпеки	89
Висновок.....	89

					ОА.91.01.2097-С.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Вступ

В останні десятиліття енергозбереження стало одним з основних пріоритетів технічної політики у всьому світі, разом з інформатизацією і комп'ютеризацією. Ця тенденція пояснюється кількома факторами. По-перше, існує обмеженість і непоновлюваність основних енергоресурсів. По-друге, добування цих ресурсів стає все складнішим і дорогим. Третім фактором є загальні екологічні проблеми, з якими ми стикаємося в останні роки.

У країні велику частину електроенергії, а саме близько 20%, використовують насосні установки. Це складає приблизно 300 млрд кВт/год електроенергії щорічно, що має важливе значення для народногосподарського сектору. Високе енергоспоживання цих установок підкреслює необхідність ефективного використання електроенергії в насосних системах. Нажаль, більшість насосних установок працюють неоптимальним чином. Наприклад, через застосування неефективних методів регулювання режимів роботи насосів у системах водопостачання та водовідведення втрачається від 5% до 15% споживаної електроенергії, а в окремих випадках ці втрати можуть досягати навіть 20% - 25%.

Отже, для досягнення енергоефективності в насосних установках необхідно впроваджувати економічніші методи регулювання режимів роботи насосів і використовувати передові технології. Це дозволить зменшити втрати електроенергії і забезпечити більш ефективне використання наявних ресурсів. Крім того, інвестиції в дослідження та розвиток енергоефективних систем можуть принести значні переваги як економічні, так і екологічні, сприяючи сталому розвитку та збереженню непоновлюваних ресурсів для майбутніх поколінь.

В сучасному світі енергоефективність стає все більш важливою темою, і насосні установки не є винятком. Широке застосування економічних методів регулювання в насосних системах може принести значні переваги, зокрема зменшення споживання електроенергії і поліпшення ефективності.

					ОА.91.01.2097-С.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		11

Один із економічних способів регулювання використовує зміну частоти обертання робочих коліс насосів. Це дозволяє зменшити споживання електроенергії на 14-15 млрд. кВт/год, що становить близько 1% загального виробництва електроенергії в країні. Такий підхід також дозволяє збільшити одиничну потужність насосних агрегатів і зменшити їх загальну кількість на станціях, що зменшує будівельні обсяги.

Крім цього, застосування способів регулювання тиску в системах водопостачання може зменшити витрати води на 3-5%. Інші методи

енергозбереження включають оптимізацію профілю робочих коліс насосів та використання вдосконалених систем електроприводу з електронними компонентами.

Розвиток систем управління електроприводами характеризується тенденцією до підвищення ступеня інтеграції елементів і переходу до гнучкого управління. Використання спеціалізованих інтегральних схем та мікроконтролерів дозволяє створювати ефективні та економічні системи електроприводу.

Автоматизовані системи управління повинні забезпечувати не лише автоматичну підтримку тиску та плавний пуск насосних агрегатів, але й функції захисту, сигналізації та ручного управління. Це дозволяє підвищити безпеку та забезпечити надійну роботу систем.

Розробники систем електроприводу повинні враховувати номенклатуру компонентів і використовувати сучасні рішення для оптимального вибору елементної бази та схемотехніки. Зрозуміння цих тенденцій сприятиме розробці більш продуктивних та енергоефективних систем насосних установок.

Застосування економічних та енергоефективних методів у насосних системах є важливим кроком у напрямку сталого розвитку та збереження енергоресурсів для майбутніх поколінь.

					ОА.91.01.2097-С.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ док.ум.	Підпис	Дата		12

1. Загально-технічна частина

1.1 Проектування водопровідної мережі

Водні ресурси є надзвичайно цінними і водночас обмеженими природними ресурсами. Вони виконують низку важливих функцій і є необхідними для забезпечення життя, виробництва та екологічної рівноваги. Однак, існує поширена помилка серед споживачів, яка полягає у припущенні, що водні ресурси є безкоштовними, нескінченними і необмеженими. Це неправильне уявлення ускладнює вирішення проблем, пов'язаних зі стійким водокористуванням та охороною водних ресурсів.

На сьогоднішній день однією з ключових проблем є відсутність чіткої методики оцінки вартості водних ресурсів в залежності від різних факторів, таких як території, типи водних об'єктів, статус водних об'єктів, якість та екологічне значення води, а також її функціональне використання та категорії водоспоживачів. Врахування грошової оцінки водних ресурсів є важливим кроком у визначенні розміру зборів за спеціальне водокористування, орендної плати за водні об'єкти державної та комунальної власності, втрат підприємств водного господарства та розробленні механізмів економічного стимулювання раціонального використання та охорони водних ресурсів.

Плата за спеціальне використання водних ресурсів є важливою складовою дієвого еколого-економічного механізму водокористування. Вона сприяє встановленню ринкових економічних відносин у сфері використання водних ресурсів, стимулює раціональне та комплексне їх використання та допомагає зменшити водоємність виробництва в Україні. Крім того, збір плати за використання водних ресурсів може стати значним джерелом доходів для Державного та місцевих бюджетів.

Отже, враховуючи важливість водних ресурсів та потребу в їх раціональному використанні, встановлення адекватної грошової оцінки

					ОА.91.01.2097-С.000 ПЗ			
Змн.	Арк.	№ докum.	Підпис	Лата	Загально-технічна частина			
Розробив	Головащенко В.С.							
Перевірив	Прядко С.Л.							
Репензент.								
Н. Контр.	Кулаковський Л.Я.							
Затверд.	Бойченко С.В.				Літ.	Арк.	Аркушів	
							13	
						КПІ ім. Ігоря Сікорського Каф. АЕМК, гр. ОА-91		

водних ресурсів і зборів за їх спеціальне використання є необхідним кроком для забезпечення стійкого водокористування та охорони водних ресурсів в Україні.

. Вода є найважливішим ресурсом для життя на планеті і відіграє надзвичайно важливу роль в економіці України. Водогосподарський комплекс (ВГК) є ключовою складовою господарського комплексу країни і використовує водні ресурси для виробництва продукції, енергетичних потреб, забезпечення технологічних процесів та надання послуг.

Одним із найважливіших аспектів забезпечення сталого використання водних ресурсів є встановлення раціональних нормативів збору за спеціальне водокористування. Ці нормативи встановлюються на регіональному рівні і відрізняються для різних секторів, таких як підприємства житлово-комунального господарства, виробництво напоїв, рибництво, гідроенергетика, водний транспорт тощо. Диференціація нормативів також здійснюється в залежності від використання підземних або поверхневих вод, а також в розрізі басейнів річок.

Охорона водних ресурсів, раціональне використання води та збереження природного середовища є надзвичайно актуальними проблемами сучасності. Ці питання мають велике значення для всього людства і вимагають негайних заходів з вирішення. Водні ресурси є не лише природним ресурсом, але й мають важливу соціальну значимість, оскільки вони забезпечують життєво важливі потреби людей і розвиток різних галузей економіки.

У Київській області проблеми з водопостачанням особливо гострі у сільській місцевості, де відсутність централізованих систем водопроводу та каналізації є поширеною проблемою. Лише частка сіл має доступ до водопровідних мереж, і ще менша кількість сіл має каналізаційні системи. Ця ситуація вимагає прискорених заходів для поліпшення водопостачання та водовідведення в сільських населених пунктах.

					ОА.91.01.2097-С.000 ПЗ	Арк.
						14
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Отже, забезпечення сталого використання водних ресурсів, охорона навколишнього середовища та раціональне водокористування є важливими завданнями, які потребують спільних зусиль уряду, громадськості та бізнесу. Це дозволить зберегти природні ресурси для майбутніх поколінь і забезпечити стаке економічне розвиток країни.

1.2 Розрахунок водопостачання

Забезпечення ефективного водопостачання в селищі міського типу Калинівка та промислових підприємствах в перебігу доби найбільшого споживання з необхідним тиском є важливою задачею. Враховуючи норму споживання води 350 л на добу на одну людину, розрахунки повинні враховувати особливості населення, промислові потреби і фактори, що впливають на водоспоживання:

1. Споживання води для особистих та домашніх потреб населення в с.м.т.
2. Використання води для комунальних потреб в с.м.т.
3. Використання води промисловими підприємствами.

1.2.1 Розрахунок витрат води на особисті та домашні потреби

Визначаємо кількість населення для розрахунку витрат води за формулою:

$$N = F \cdot P \quad (1.1)$$

де N – чисельність населення, чол.

F – площа частини с.м.т. з тією або іншою щільністю населення, га;

P – щільність населення люд/га.

На основі вхідних даних с.м.т. визначаємо площу територій житлових кварталів, результати підрахунків таблиця 1.1.

					ОА.91.01.2097-С.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		15

Таблиця 1.1 – Площа житлових кварталів СМТ

№ кварта- лів	Площа Га	№ кварта- лів	Площа Га	№ кварта- лів	Площа Га	№ кварта- лів	Площа Га
1	3,62	25	11,12	49	15,68	73	6,12
2	2,57	26	11,12	50	4,72	74	6,52
3	3,32	27	6,92	51	3,12	75	6,52
4	3,02	28	9,32	52	4,32	76	6,32
5	0,92	29	15,44	53	3,72	77	8,20
6	4,82	30	10,40	54	1,20	78	6,04
7	4,82	31	7,52	55	6,34	79	4,52
8	4,82	32	7,52	56	3,32	80	4,32
9	4,82	33	7,88	57	3,32	81	3,72
10	5,15	34	6,17	58	6,72	82	2,96
11	4,82	35	7,22	59	6,72	83	6,17
12	6,32	36	4,52	60	6,34	84	8,12
13	3,82	37	6,32	61	8,50	85	2,36
14	3,32	38	5,42	62	5,94	86	0,80
15	3,32	39	1,42	63	4,30	87	5,48
16	3,32	40	9,32	64	4,32	88	3,68
17	4,37	41	9,32	65	5,81	89	7,52
18	8,60	42	9,32	66	4,73	90	8,00
19	5,72	43	9,32	67	2,92	91	8,32
20	7,52	44	5,72	68	4,50	92	8,32
21	6,80	45	12,62	69	3,76	93	10,82
22	1,76	46	8,72	70	1,10	94	8,07
23	11,12	47	6,32	71	6,34	95	5,58
24	11,12	48	6,32	72	6,12	96	3,58

$$Q_{\text{доб.ср.}} = \frac{6837 \cdot 350}{1000} = 2393 \text{ м}^3 / \text{доб.}$$

(1.2)

Розраховуємо витрати води на добу максимального та мінімального водоспоживання (м³/доб.)

$$Q_{\text{доб.макс}} = K_{\text{доб.макс}} \cdot Q_{\text{доб.ср.}} \quad (1.3)$$

$$Q_{\text{доб.мін}} = K_{\text{доб.мін}} \cdot Q_{\text{доб.ср.}} \quad (1.4)$$

де $K_{\text{доб.}}$ – коефіцієнт добової нерівномірності

$$K_{\text{доб.макс}} = 1,2$$

					ОА.91.01.2097-С.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		16

$K_{\text{доб. min}} = 0,8$

$$Q_{\text{доб. max}} = 1,2 \cdot 2393 = 2871 \text{ м}^3 / \text{доб.}$$

$$Q_{\text{доб. min}} = 0,8 \cdot 2393 = 1914,14 \text{ м}^3 / \text{доб.}$$

Витрата води в годину $Q_{\text{год. max}}$ та $Q_{\text{год. min}}$, $\text{м}^3/\text{год}$. Визначаємо за наступними формулами:

$$Q_{\text{год. max}} = K_{\text{ч. max}} \frac{Q_{\text{доб. max}}}{24} \quad (1.5)$$

$$Q_{\text{год. min}} = K_{\text{ч. min}} \frac{Q_{\text{доб. min}}}{24} \quad (1.6)$$

$$Q_{\text{год. max}} = 1,365 \cdot \frac{2871}{24} = 163,29 \text{ м}^3 / \text{год}$$

$$Q_{\text{год. min}} = 0,425 \cdot \frac{1914,14}{24} = 33,9 \text{ м}^3 / \text{год}$$

Секундна витрата $Q_{\text{сек. max}}$, л/сек:

$$Q_{\text{сек. max}} = \frac{Q_{\text{год. max}}}{3,6} = \frac{163,29}{3,6} = 45,36 \text{ л/с}$$

1.2.2 Витрати води на комунальні потреби

Витрата води на полив городів, вулиць та присадибних ділянок.

$Q_{\text{max. доб.}}$, ($\text{м}^3/\text{доб.}$) визначемо за формулою:

$$Q_{\text{max. доб.}} = \frac{F \cdot q \cdot n}{1000} \quad (1.7)$$

де F – площа городів, вулиць і присадибних ділянок, м^2 ; q – норма витрати води на поливання; n – число поливань.

$$Q_{\text{max. доб.}} = \frac{1692 \cdot 0,3 \cdot 0,15}{1000} = 760 \text{ м}^3 / \text{доб.}$$

$Q_{\text{сер. год.}}$ ($\text{м}^3/\text{доб.}$):

$$Q_{\text{сер. год.}} = \frac{Q_{\text{max. доб.}}}{24} = \frac{760}{24} = 32 \text{ м}^3 / \text{год}$$

Максимальна година витрат $Q_{\text{max. год.}}$ ($\text{м}^3/\text{доб.}$) визначимо за формулою:

$$Q_{\text{max. год.}} = \frac{0,0417 \cdot F \cdot K_{\text{ч}} \cdot q \cdot n}{1000} \quad (1.8)$$

					ОА.91.01.2097-С.000 ПЗ	Арк.
						17
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

де $K_{ч}$ – коефіцієнт годинної нерівномірності витрачання води на поливання, приймаємо – 2,0.

$$Q_{\max \text{ год}} = \frac{0,0417 \cdot 1692 \cdot 2 \cdot 0,31 \cdot 0,15}{1000} = 63 \text{ м}^3 / \text{год}$$

$Q_{\max \text{ сек.}}$ (л/сек.):

$$Q_{\max \text{ с}} = \frac{Q_{\max \text{ ч}}}{3,6} = \frac{63}{3,6} = 18 \text{ л/с}$$

Витрати води на полив зелених насаджень.

$Q_{\max \text{ доб.}}$ (м³/доб.) визначимо за формулою:

$$Q_{\max \text{ доб}} = \frac{F_{з} \cdot q_{з} \cdot n}{1000} \quad (1.9)$$

де $F_{з}$ – площа зелених насаджень, газонів і квітників, м²;

$q_{з}$ – норма витрати на поливання;

n – число поливу в добу.

$$Q_{\max \text{ доб}} = \frac{920 \cdot 3 \cdot 6 \cdot 0,2}{1000} = 3,67 \text{ м}^3 / \text{доб.}$$

$Q_{\text{сер.год.}}$ (м³/ГОД):

$$Q_{\text{сер.доб}} = \frac{Q_{\max \text{ сут}}}{24} = \frac{3,67}{24} = 0,2 \text{ м}^3 / \text{год.}$$

$Q_{\max \text{ год.}}$ (м³/ГОД):

$$Q_{\max \text{ год}} = \frac{0,0417 \cdot N \cdot q_{\max \text{ доб}} \cdot K_{ч}}{1000} = \frac{0,0417 \cdot 120 \cdot 3,67 \cdot 2 \cdot 6 \cdot 0,2}{1000} = 0,39 \text{ м}^3 / \text{год}$$

$Q_{\max \text{ сек.}}$ (л/сек.):

					ОА.91.01.2097-С.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		18

Таблиця 1.2 – Витрати води на особисті, домашні та комунальні потреби

СМТ

№ п/п	Характер витрати води Витрати	Q max доб, м3/доб	Qср.год, м3/год	Qmax год, м3/год	Qmax x c, л/с
1	Господарсько-питні потреби смт.	2871	32	63	18
2	Невраховані витрати	287.1	3,2	6,3	1,8
3	Поливання присадибних ділянок, городів, вулиць і майданів	760	32	63	18
4	Поливання зелених насаджень	3,67	0,2	0,39	0,1
Разом		3921,77	67,4	132,69	37,9

1.1.3 Витрати води для пожежогасіння

Максимальна секундна витрата на гасіння пожеж є результатом комплексного розрахунку, який враховує розміри населеного пункту, поверхню вогнестійких будівель, розміри виробничих споруд, категорії виробництва та інші фактори. Цей показник визначає необхідний об'єм води, який потрібно постачати для ефективного гасіння пожежі.

Максимальна секундна витрата на гасіння пожеж $Q'_{\text{пож}}$ (л/с):

$$Q'_{\text{пож}} = (q_{\text{пож}} \cdot n + q'_{\text{пож}}) \quad (1.10)$$

де $q_{\text{пож}}$ – розрахункова витрата на гасіння однієї зовнішньої пожежі - 85 л/с;

n – число пожеж = 1;

$q'_{\text{пож}}$ – розрахункова витрата води на внутрішнє пожежогасіння - 10 л/с.

$$Q'_{\text{пож}} = (85 \cdot 1 + 10) = 95 \text{ л/с}$$

									Арк.
									19
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата	ОА.91.01.2097-С.000 ПЗ				

При тривалості пожежі $t_n=3$ год, повна витрата води $Q''_{\text{пож.}}(\text{м}^3)$:

$$Q''_{\text{пож}} = 10,8 \cdot (q_{\text{пож}} \cdot n + q'_{\text{пож}}) = 10,8 \cdot (85 \cdot 1 + 10) = 28,62 \text{ м}^3 \quad (1.11)$$

$Q_{\text{макс.год.}}$ ($\text{м}^3/\text{год}$):

$$Q_{\text{макс.год}} = \frac{k \cdot q''_{\text{пож}}}{t_n} = \frac{1,075 \cdot 62}{1} = 62,26 \text{ м}^3 / \text{год} \quad (1.12)$$

$Q_{\text{макс.сек.}}$ ($\text{л}/\text{сек.}$):

$$Q_{\text{макс}} = \frac{Q_{\text{макс.год}}}{3,6} = \frac{62,26}{3,6} = 17,29 \text{ л/с}$$

Таблиця 1.3 – Зведені витрати води

№ п/п	Характер витрати води	Qср.год, м3/год	Qмакс.год, м3/год	Qмакс.с, л/с
1	Господарсько-питні витрати населення міста	32	63	18
2	Не враховані витрати	3,2	6,3	1,8
3	Комунальні витрати	32,2	63,39	18,1
4	Витрати промислових підприємств		119,32	33,72
5	Витрата на пожежогасіння		10,26	285
Разом			262,27	

1.3 Деталювання основних вузлів водопровідної мережі

Після розрахунку магістральних ліній водопровідної мережі проводиться деталювання основних вузлів, що передбачає складання унікальної монтажною схеми для цієї мережі. При проектуванні пристроїв для розрахованої магістральної водопровідної мережі використовуються чавунні водопровідні розтрубні труби. Це дозволяє забезпечити надійність,

					ОА.91.01.2097-С.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		20

довговічність та оптимальні характеристики системи, забезпечуючи безперебійне водопостачання. Така комбінація матеріалів та конструкцій є оптимальним рішенням для забезпечення ефективної роботи водопровідної мережі.

Під час деталювання водопровідної мережі використовуються умовні позначення для показу труб, фасонних частин, водорозбірних, запобіжних, регулюючих і замочних пристроїв. Особлива увага приділяється розміщенню засувок, щоб можна було вимикати окремі ділянки мережі без перебоїв у подачі води споживачам. Для з'єднання фланцевих засувок та іншої фланцевої арматури з розтрубними патрубками використовують патрубки-фланці-розтруби або патрубки-фланці-гладкі кінці. Це забезпечує надійність і простоту з'єднання, дозволяючи забезпечити ефективну роботу водопровідної мережі без витоків і перебоїв у подачі води.

					ОА.91.01.2097-С.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		21

Таблиця 1.4 – Розрахунок побудови ліній п'єзометричного тиску

№ точок	№ ділянки	Довжина ділянки, м	Втрати напору, м	Відмітка поверхні землі, м	П'єзометричні відмітки	Вільний напор, м
11	11-10	791	20,301	83,32	109,36	26,3
10	10-9	774	13,387	82,54	129,62	47,17
9	9-8	950	5,572	81,52	142,984	61,185
8	8-7	871	7,235	81,37	155,781	73,383
7	7-6	872	5,84	82,43	161,653	77,854
6	6-5	833	4,45	83,82	166,132	83,934
5	5-4	909	6,84	82,24	173,004	92,90
4	4-3	950	3,31	80,12	176,411	97,612
3	3-2	830	1,55	78,81	177,992	100,291
2	2-1	720	1,34	75,87	179,737	103,95
1						

					ОА.91.01.2097-С.000 ПЗ	Арк.
						22
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

При визначенні розмірів колодязів у плані необхідно враховувати розміри арматури, що встановлюється в колодязі, а також мінімально допустимі відстані між стінами труб і стінами колодязів. Наприклад, відстань від внутрішньої стінки колодязя до стінок труб діаметром 0400 мм повинна бути не менше 0,32 м-кодів, для труб діаметром 450-800 мм - не менше 0,5 м-кодів, а для труб діаметром більше 800 мм - не менше 0,7 метра. Відстань від стін і покриттів до маховика засувки повинна бути не менше 0,25-0,5 метра. Товщина гумової прокладки може бути приблизно 10 мм. Врахування цих параметрів дозволяє забезпечити належну функціональність та ефективність роботи колодязя, забезпечуючи надійність та безперебійну роботу водопровідної мережі.

Для вирішення потреби у колодязях з внутрішніми розмірами в плані, які перевищують типові розміри (1500x2000, 1500x2500, 2000x2000, 2000x2500, 2500x2500 мм), можна застосовувати виготовлення колодязів з цеглини. При цьому розміри колодязів мають бути кратними розмірам цеглини. Такий підхід дозволяє забезпечити зручну та ефективну конструкцію колодязя, що відповідає розрахунковим потребам та забезпечує надійну роботу водопровідної мережі. Використання цегляних колодязів для розмірів, що не входять у типові вирішення, є практичним та економічно доцільним рішенням.

Після деталювання мережі складається специфікація, яка включає інформацію про труби, фасонні частини та арматуру різного призначення, необхідні для збирання монтажної схеми та замовлення деталей для мережі. Ця специфікація визначає типи, розміри, кількості та інші технічні характеристики потрібних матеріалів і компонентів, які є основою для замовлення необхідних постачальників. Цей процес допомагає забезпечити належне управління та контроль над постачанням труб, фасонних частин і арматури, що використовуються для побудови водопровідної мережі.

					ОА.91.01.2097-С.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		23

1.4 Побудова профілю водоводу

Глибина заставляння водоводів і водопровідних мереж має вирішальне значення для їх нормальної роботи в зимовий період, запобігання небажаному нагріванню води влітку та захисту труб від зовнішніх навантажень,

таких як транспортні рухи і інші фактори.

З метою забезпечення ефективного захисту, рекомендується, щоб глибина заставляння труб була на 0,5 метра більше розрахункової глибини, яка забезпечує нульову температуру проникнення в ґрунт. Це допомагає запобігти замерзанню води в трубах під час морозів і захистити їх від пошкоджень.

Крім того, важливо укладати водоводи і водопровідні мережі з відповідним ухилом. Зазвичай, рекомендований ухил становить не менше 0,001 у напрямку до випуску. Якщо місцевість має плоский рельєф, то допускається зменшити ухил до 0,0005. Це допомагає забезпечити правильний потік води і запобігти її застою в сис

Враховуючи ці рекомендації щодо глибини заставляння та укладання труб, можна забезпечити надійну та безперебійну роботу водопровідних систем, забезпечуючи комфорт та безпеку в усі сезони року.

1.4 Розробка технологічної схеми очищення води

Наші споруди для очищення води при пристрої господарського-питного водопостачання гарантують найвищу якість води, що відповідає вимогам ГОСТ 2874-92 "Вода питна". Наша команда експертів враховує результати аналізів вихідної води, щоб визначити оптимальні рішення для очищення. Ми прагнемо забезпечити бездоганну якість очищеної води, відповідно до нормативних вимог і стандартів. Наш підхід є унікальним і гарантує надійну та безпечну постачання питної води для всіх наших клієнтів.

Для ефективного обробки води, відповідно до вимог СНіП 2.04.02-84, ми використовуємо низку основних методів. Для усунення каламутності застосовується коагуляція та обробка води флокулянтами. Колірність води поперельно усувається за допомогою хлорування. Для досягнення більш

					ОА.91.01.2097-С.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		24

повноцінної очистки використовуються коагуляція, обробка флокулянтами та озонування. Щодо бактерійних забруднень, ми застосовуємо хлорування та озонування. Наш підхід до обробки води унікальний та спрямований на забезпечення безпечного та якісного питного водопостачання.

Наш комплекс очисних споруд для підготовки питної води з відкритого водоймища включає в себе інноваційні рішення. У процесі очищення ми використовуємо змішувачі для забезпечення рівномірного розподілу реагентів та подальшої обробки води. Камери реакції дозволяють провести потрібні хімічні процеси і видалити забруднення, що можуть бути присутні у воді. Освітлювачі використовуються для додаткового знезараження води та знищення шкідливих мікроорганізмів. Наш підхід базується на використанні передових технологій, щоб забезпечити безпеку та якість питної води для наших клієнтів, забезпечуючи надійний та ефективний процес очищення.

Вихідна вода, що поступає на наші очисні споруди, має певні якісні показники, які важливо враховувати під час процесу очищення. Загальна кількість зважених речовин коливається від 15 до 88 мг/л, колірність знаходиться в діапазоні від 6 до 60 градусів, рН значення складає від 6,7 до 7,6, а лужність знаходиться в межах 2,8-4,4 мг/л. Температура води варіюється від 12 до 25 градусів Цельсія. Важливими показниками є також вміст бікарбонатів, який коливається від 4,0 до 8 мг/л, концентрація хлоридів (Cl-) становить 4.57 мг/л, а сульфатів (SO₄-2) - 6.95 мг/л.

Недавні дослідження підтверджують, що контактна коагуляція зерен середі на поверхні фільтру відбувається швидше та більш повноцінно, ніж звичайна коагуляція в об'ємі рідини. Для досягнення ефективного утворення пластівців у вільному об'ємі та осадження, необхідна оптимальна доза коагулянта. Швидкому завершенню процесу контактної коагуляції сприяє введення такої дози коагулянта, при якій домішки втрачають стійкість щодо прилипання до поверхні. Крім того, для швидкого формування пластівців у вільному об'ємі з важкими і добре осідаючими частками також потрібні відповідні дози коагулянта.

					ОА.91.01.2097-С.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		25

Цікаво, що температура води та її лужність майже не впливають на процес контактної коагуляції. Такі відкриття відкривають нові можливості для ефективного використання цього процесу в області очищення води та інших водних додатків.

На рисунку 1.1. представлена оптимальна послідовність кроків технологічної обробки води.

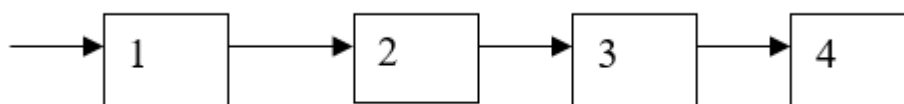


Рисунок 1.1 – Технологічна схема очищення води

1-вхідна камера; 2 -змішувач; 3 -контактний освітлювач; 4-резервуар чистої води

1.6 Визначення об'єму резервуарів чистої води та баків водонапірних башт

Об'єм бака водонапірної башти можна визначити шляхом аналізу графіків водоспоживання та роботи насосної станції. Результати цих обчислень відображені в таблиці 1.5, де видно регулюючу роль бака водонапірної башти. В період з 22:00 до 5:00 годин ранку, коли насосна станція не працює, бак буде використовуватись для компенсації дефіциту води шляхом постачання 2 підйомів у проміжку від 0,1% до 0,8% добової витрати кожну годину. З 5:00 до 8:00 годин і з 10:00 до 19:00 годин вода буде поступати до бака у розмірі від 0,2% до 0,7% добової витрати.

					ОА.91.01.2097-С.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		26

Таблиця 1.5 – Розрахунок ємності бака водонапірної башти

Годинні проміжки	Витрата води містом	Подача води насосами	Подача води в бак	Витрата води з бака	Залишок в баку
0-1	3,2	3	-	0,2	-1
1-2	3,1	3	-	0,1	-1,1
2-3	3,2	3	-	0,2	-1,3
3-4	3,2	3	-	0,2	-1,5
4-5	3,2	3	-	0,2	-1,7
5-6	3,4	5	1,6	-	-0,1
6-7	3,8	5	1,2	-	1,1
7-8	4,6	5	0,4	-	1,5
8-9	5,4	5	-	0,4	1,1
9-10	5	5	-	-	1,1
10-11	4,8	5	0,2	-	1,3
11-12	4,6	5	0,4	-	1,7
12-13	4,5	5	0,5	-	2,2
13-14	4,4	5	0,6	-	2,8
14-15	4,6	5	0,4	-	3,2
15-16	4,6	5	0,4	-	3,6
16-17	4,4	5	0,6	-	4,2
17-18	4,3	5	0,7	-	4,9
18-19	4,4	5	0,6	-	5,5
19-20	4,5	3	-	1,5	4,0
20-21	4,5	3	-	1,5	2,5
21-22	4,8	3	-	1,8	0,7
22-23	3,8	3	-	0,8	-0,1
23-24	3,7	3	-	0,7	-0,8

Об'єм баків водонапірних башт визначається як сума регулюючої ємності та об'єму води, необхідного для тушіння однієї внутрішньої і однієї зовнішньої пожежі протягом 10 хвилин:

$$W_6 = W_p + (q_i + 2 * 2,5) * 10 * 60 / 1000, \text{ м}^3$$

$$W_6 = 4212 + (40 + 5) * 10 * 60 / 1000 = 4239 \text{ м}^3$$

Розмір регулюючого бака буде визначено для кожної водонапірної башти з двох окремо:

					ОА.91.01.2097-С.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		27

$$W_{60} = 2119,5 \text{ м}^3$$

Геометричні розміри бака визначаються відповідно до рекомендованого співвідношення між його висотою і діаметром:

$$W_{60} = (\pi D_6^2/4) \cdot A_6 = (\pi D_6^2/4) \cdot 0,7 D_6;$$

$$W_{60} = 0,55 D_6^3;$$

$$D_6 = \sqrt[3]{W_{60} / 0,55} = 15,7 \text{ м}$$

Діаметр бака однієї башти $D_6 = 15,7 \text{ м}$.

Висота $A = 11 \text{ м}$

Обсяг резервуарів для зберігання очищеної води на станції очищення:

$$W_{рез} = W_p + W_n + W_{\phi} + 3 q_{ч \max} - 3 \cdot 2,3/100 Q_{доб. \max}$$

Позначимо W_6 як об'єм води, який потрібен для власних потреб очисної станції протягом 3 годин, зокрема для промивання фільтрів:

$$W = 3(0,05-0,08) Q_{сут \max/24}$$

$$W_{рез} = 4212 + 1458 + 3 \cdot 0,05 \cdot 2437,5 + 3 \cdot 3217,5 - 3 \cdot 2,3/100 \cdot 58500 = 14342 \text{ м}^3$$

1.7 Розрахунок параметрів двигуна насоса

У більшості випадків відцентрові насоси є швидкохідними і мають приводні двигуни з високою швидкістю обертання (наприклад, в діапазоні від 1000 до 3000 об/хв). Ці двигуни безпосередньо з'єднуються з валом насоса.

$$P_{дв} = \frac{k_z \rho g Q (H_c + \Delta H)}{\eta_{нас} \eta_n} \quad (1.13)$$

$$P_{дв} = \frac{1.1 \cdot 998 \cdot 9.81 \cdot \frac{40}{3600} \cdot (160 + 15)}{0.88 \cdot 1} = 30 \text{ кВт}$$

де k_z - коефіцієнт запасу, рекомендується приймати його 1.0...1.3 в залежності від потужності двигуна; ρ - щільність рідини, що перекачується, кг/м^3 ; $g = 9,81$ - прискорення вільного падіння, м/с^2 ; Q - продуктивність насоса, $\text{м}^3/\text{с}$; H_c - статичний напір, обумовлений як сума висот всмоктування і нагнітання, м ; ΔH - втрата напора в трубопроводах насосної установки, м , що залежить від перетину і якості обробки труб,

					ОА.91.01.2097-С.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		28

кривизни ділянок трубопроводу, наявності вентилів і засувок; $\eta_{\text{нас}}$ - ККД насоса, рівний 0,9...0,95; $\eta_{\text{п}}$ - ККД передачі.

Вірний вибір швидкості обертання двигуна для відцентрового насоса є критичним, оскільки продуктивність (Q), напір (H), момент (M) і потужність (P) насоса залежать від швидкості обертання.

За швидкістю обертання 1000 об/хв, напругою 380/660В та розрахованою потужністю обираємо двигун 4A355S6У3.

Таблиця 1.6 – Параметри двигуна насосу

P_H , кВт	$n_{\text{п}}$, об/хв	$\eta_{\text{п}}$, %	$\cos \varphi$	$\cos \varphi$	$\frac{I_{\text{п}}}{I_{\text{н}}}$	$\frac{M_{\text{MIN}}}{M_{\text{н}}}$	$\frac{M_{\text{п}}}{M_{\text{н}}}$	$\frac{M_{\text{MAX}}}{M_{\text{н}}}$	J, кг*м ²
30	960	93.5	0.9	0.86	6.5	0.9	1.4	2.2	7.33

Виконаємо порівняльний аналіз розрахунку насосної станції, використовуючи програму "Grundfos Product Center".

Лістинг розрахунку наведено в рисунках 1.2-1.4.

					ОА.91.01.2097-С.000 ПЗ	Арк.
						29
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Опис	Значення
Ім'я продукту	SP 46-20
№ продукту	15A21920
EAN номер	5700391151705
Техн.	
Швидкість сигналу від насоса	2900 rpm
Номинальна подача	46 м ³ /ч
Наявний розрахунковий розхід	40 м ³ /ч
Номинальний напір	175 м
Загальний напір насосу	150 м
Торцеве ущільнення для двигуна	CER/CARBON
Допуск на робочі х-ка	ISO 9906 Annex A
Номер насоса	15A20020
Степені	20
Модель:	A
Клапан:	насос зі вмонтованим зворотним клапаном
Матеріали	
Насос:	Нержавіюча сталь 1.4301 DIN W.-Nr. 304 AISI
Робоче колесо	Нержавіюча сталь 1.4301 DIN W.-Nr. 304 AISI
Електродвигун	Нержавіюча сталь 1.4301 DIN W.-Nr. 304 AISI
Монтаж	
Тиск в системі	100 бар
мін. тиск на вході	-0.5 бар
Мінімальний попередній тиск	0 бар
Вихід насоса	Rp 3
Діаметр електродвигуна	6 inch
Рідина	
Робоча рідина	Питна вода
Макс. t рідини при 0,15 м/сек	30 °C
Дані	
Тип електродвигуна	MS6000
Застосований електродвигун	NEMA
Номинальна потужність - P2	30 кВт
Промислова частота	50 Hz
Номинальна напруга	3 x 380-400-415 V
Спосіб запуску	прямий пуск
Номинальний струм	68,5-66,5-66,5 A
Косінус фі х-ка потужності	0,87-0,83-0,80
Номинальна швидкість	2840-2870-2870 rpm
Клас захисту	IP58
Клас ізоляції	F
Захист електродвигуна	NONE
Тепловий захист	зовнішній
Вмонтований датчик температури	да
Номер електродвигуна	78195520
Інше	
Вага нетто	132 кг
Загальна вага	165 кг
Об'єм пакування	0,28 м ³
Назва продукту	Діафрагменний гідробак ємністю 1001 л
№ продукту	91071263
EAN номер	5700392048684
Монтаж	
Макс. робочий тиск	16 бар
Стандартний фланець	DIN
Сполучення	DN 80
Допустимий тиск	16

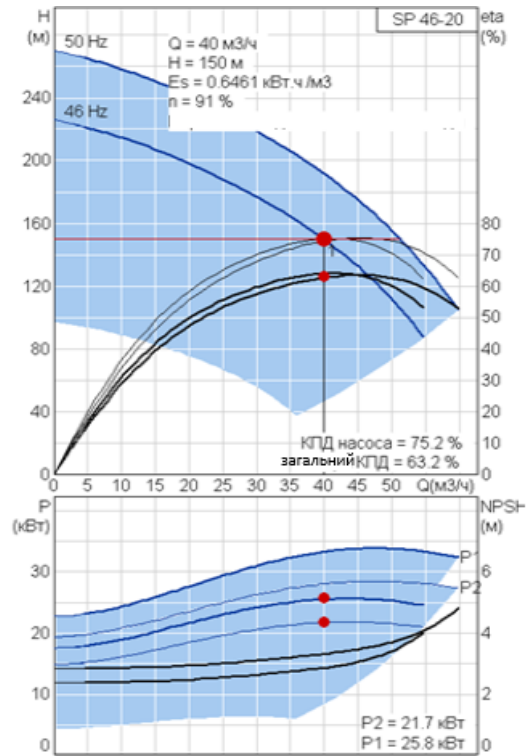


Рисунок 1.2

Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата
------	------	----------	--------	------

ОА.91.01.2097-С.000 ПЗ

Арк.

30

Опис	Значення
Резервуар	
Об'єм напорного баку	1000 л
Інше	
Область продажу	D
Ім'я продукту	Control 2000 MF 1x37 DOL PFU
№ проєкту	96032398
EAN номер	5700397168707
Техн.	
Кількість насосів	1
Дані	
Потужність (P2) основного насосу	37 кВт
Промислова частота	50 Hz
Номінальна напруга	3 x 400 V, 50 Hz, PE
Ном. напруга осн. насосу	3 x 400 V
Запуск осн. насосу	прямой пуск
Ном. струм системи	72 A
Діапазон струму основного насосу	63 .. 72 A
Клас захисту	IP54
Силовий кабель	L1, L2, L3, PE: 4x25 .. 35 mm ²
Придушення радіопоміх	IEC/CISPR 11-1B/EN 55011-1B
прилади управління	
Забезпечення	S
Інше	
Мова	GB
Стандарт	IEC

Рисунок 1.3

					ОА.91.01.2097-С.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		31

15A21920 SP 46-20

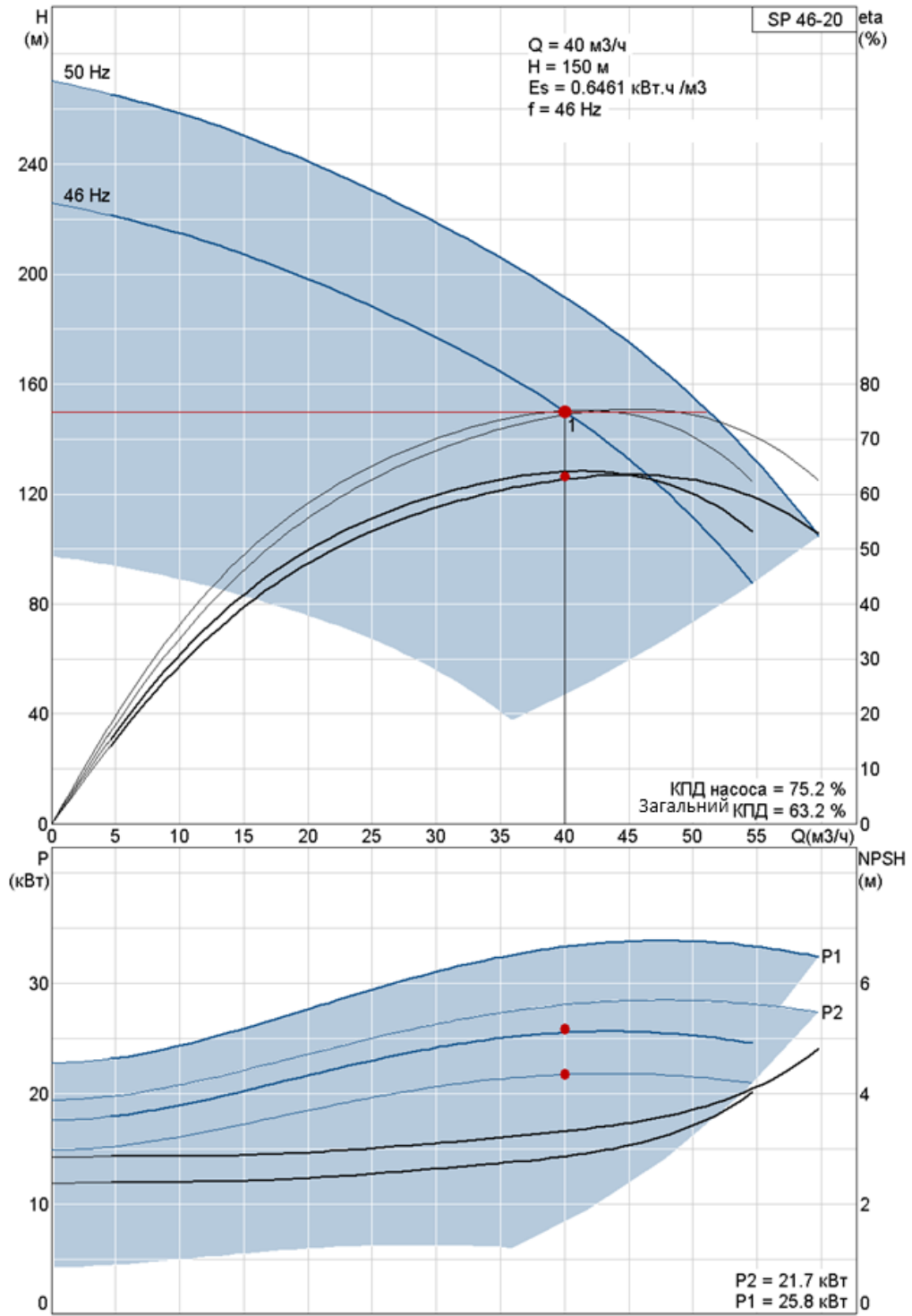


Рисунок 1.4

Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата

ОА.91.01.2097-С.000 ПЗ

Арк.

32

2. Електропостачання

2.1 Коротка характеристика проектованого підприємства

Проектоване підприємство – насосна станцію для забезпечення водопостачання селища Калинівка, що знаходиться в Київській області.

Параметри споживачів СМТ наведені в табл. 2.1.

Таблиця 2.1. - Параметри споживачів СМТ

№	Споживач	P_H , кВт	n	K_n	η_n	$\cos\varphi$
Збірка 1						
1	Житлові будинки	6	15	0,8	0,8	0,9
2	Крамниця	4	1	0,7	0,9	0,93
3	Школа	12	1	0,75	0,8	0,88
4	Котельня	15	1	0,7	0,7	0,85
5	Ідальня	8	1	0,6	0,75	0,85
6	Правління	25	1	0,6	0,9	0,9
7	Зерноховище	12	1	0,5	0,85	0,75
8	Склад	50	2	0,6	0,8	0,7
9	Телятник	12	2	0,65	0,8	0,85
10	Млин	30	1	0,7	0,85	0,8
11	Мех. Майстерня	40	1	0,75	0,7	0,75
12	Насосна станція	40	1	0,75	0,8	0,75

					ОА.91.01.2097-С.000 ПЗ			
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата	Електропостачання			
Розробив		Головащенко В.С.						
Перевірив		Прядко С.Л.						
Репензент.								
Н. Контр.		Кулаковський Л.Я.						
Затверд.		Бойченко С.В.			Літ.	Арк.	Аркушів	
							33	
						КПІ ім. Ігоря Сікорського Каф. АЕМК, гр. ОА-91		

2.2 Розрахунок освітлення

2.2.1 Розрахунок освітлення кімнати керування методом коефіцієнта використання світлового потоку

Вхідними умовами для розрахунку методом коефіцієнта світлового потоку є розміри кімнати керування - 8·8 м, та висота підвісу світильника $h = 1,8$ м. $E_n = 7,5$ лк

Метод використовують для розрахунку освітлення приміщень, насосних, машинних камер, камер ЦПП, РПП та інших.

Приймаємо тип світильника і знаходимо світловий потік лампи $F_{л}$.

Тип світильника - «Астра-2»; Тип лампи – Б220-60 (розжарювання):

$P = 60$ Вт; $U = 220$ В; ККД – 70%; $\cos \varphi = 1$; $F_{л} = 715$ лм.

Розраховуємо показник приміщення:

$$i = \frac{A \cdot B}{h \cdot (A + B)} = \frac{8 \cdot 8}{1,8 \cdot (8 + 8)} = 2,22;$$

де: A і B - довжина та ширина освітлюваного приміщення, м; h - висота підвісу світильника над робочою поверхнею, м.

Розраховуємо площу приміщення, враховуючи його прямокутну форму:

$$S = A \cdot B = 8 \cdot 8 = 64 \text{ м}^2;$$

Мінімальна освітленість по нормах приймається в залежності від умов проектування. Для кімнати керування:

$$E_{\min} = 7,5 \text{ лк};$$

Коефіцієнт використання при індексі приміщення $i = 2,22$ (округлюємо до меншого значення 2) для світлого кольору стелі та сірого кольору стін визначаємо з довідкової літератури:

$$K_B = 0,43;$$

Розраховуємо загальний світловий потік, потрібний для забезпечення необхідної освітленості:

$$F = \frac{K_3 \cdot E_{\min} \cdot S \cdot z}{K_B} = \frac{1,3 \cdot 7,5 \cdot 64 \cdot 1,3}{0,43} = 1886,5 \text{ лм};$$

					ОА.91.01.2097-С.000 ПЗ	Арк.
						34
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

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

Обчислюємо потрібну кількість ламп:

$$N = \frac{F}{F_{\lambda}} = \frac{1886,5}{715} = 2,63$$

Приймаємо $N = 3$ шт.

Для рівномірного освітлення приміщення розташуємо світильники так, що відстань між світильниками була однакою в ряду. Розташовуємо світильники у 1 ряд на відстані 1м від стін та з інтервалом 2м між світильниками

2.2.2 Розрахунок освітлення насосного відділення методом питомої потужності

Вхідними умовами для розрахунку є розміри насосного відділення - 20·20 м, $E_n = 10$ лк.

Для освітлення буде використовуватись світильник «Астра-2»; Тип лампи – Б220-100 (розжарювання):

$$P = 100 \text{ Вт}; U = 220 \text{ В}; \text{ККД} - 70\%; \cos \varphi = 1; F_{\lambda} = 1350 \text{ лм.}$$

Питома потужність освітлення визначається за виразом, Вт/м²

$$\omega = \frac{P_0}{S}$$

де P_0 - сумарна потужність ламп, Вт; S - площа, що освітлюється, м².

Також питома потужність може бути знайдена в межах від $\frac{E_n}{5}$ до $\frac{E_n}{3}$ при освітлюванні лампами розжарювання. Використаємо даний метод:

$$\omega = \frac{E_n}{5} \dots \frac{E_n}{3} = 2 \dots 3,33 \frac{\text{Вт}}{\text{м}^2};$$

Приймаємо $\omega = 2 \frac{\text{Вт}}{\text{м}^2}$

Тоді потужність на освітлення:

$$P_{\text{осв}} = \omega \cdot S = 2 \cdot 20 \cdot 20 = 800 \text{ Вт};$$

Кількість світильників та відстань між ними:

					ОА.91.01.2097-С.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		35

$$N = \frac{P_{\text{осв}}}{P_{\text{л}}} = \frac{800}{100} \approx 8$$

де $P_{\text{л}}$ - потужність лампи світильника, Вт.

$$l = \frac{L_{\text{л}}}{N_{\text{св}} + 1} = \frac{20}{8 + 1} = 2,22 \text{ м}$$

2.2 Розрахунок електричних навантажень

Розрахунок навантажень методом коефіцієнта попиту проводиться від нижчих рівнів напруги до вищих, об'єднуючи електроприймачі у збірки (вузли), будується спрощена розрахункова схема електропостачання (рис.2.1).

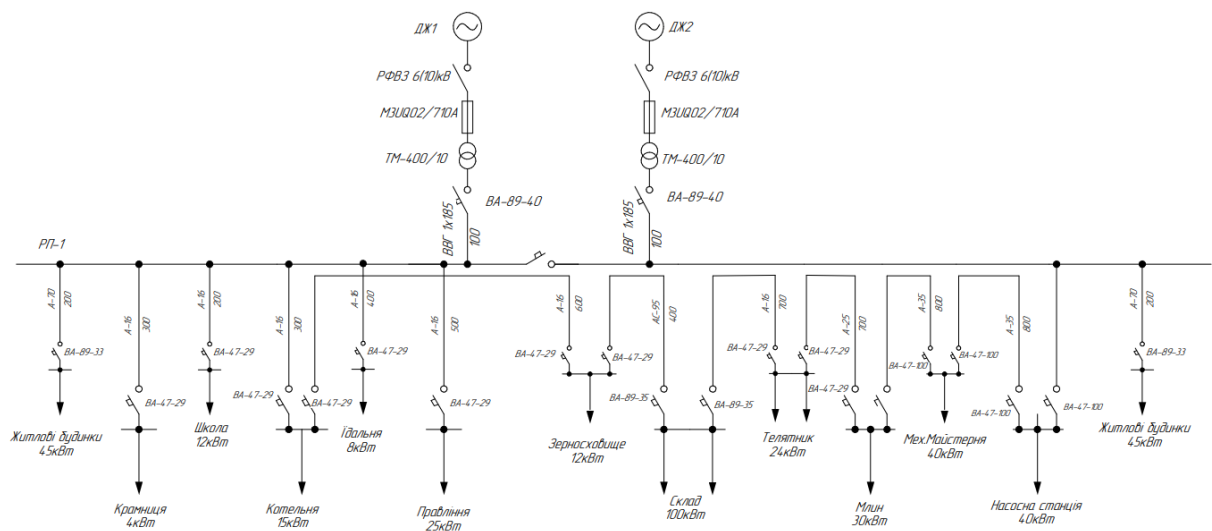


Рисунок 2.1 – Спрощена розрахункова схема електропостачання

Згідно рис.2.1 формується таблиця зі збірками в які входять споживачі та їх розрахункові параметри.

					ОА.91.01.2097-С.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		36

Таблиця 2.2 – Розрахункові параметри споживачів СМТ

№	Споживач	P_H , кВт	n	K_{Π}	η_n	$\cos\varphi$
Збірка 1						
1	Житлові будинки	6	15	0,8	0,8	0,9
2	Крамниця	4	1	0,7	0,9	0,93
3	Школа	12	1	0,75	0,8	0,88
4	Котельня	15	1	0,7	0,7	0,85
5	Ідальня	8	1	0,6	0,75	0,85
6	Правління	25	1	0,6	0,9	0,9
7	Зерноховище	12	1	0,5	0,85	0,75
8	Склад	50	2	0,6	0,8	0,7
9	Телятник	12	2	0,65	0,8	0,85
10	Млин	30	1	0,7	0,85	0,8
11	Мех. Майстерня	40	1	0,75	0,7	0,75
12	Насосна станція	40	1	0,75	0,8	0,75

За формулою (2.1) визначається розрахункове активне навантаження P_p для електроприймачів та сумарне активне навантаження на вузол.

$$P_p = K_{\Pi} \cdot \sum_{i=1}^n P_{H.i} \quad (2.1)$$

$$P_{p1} = K_{\Pi 1} \cdot \sum_{i=1}^{n=15} P_{H5} = 0,8 \cdot 6 \cdot 15 = 72 \text{ кВт};$$

За формулою (2.2) обрахуємо коефіцієнт реактивної потужності кожного споживача:

$$\operatorname{tg}\varphi_H = \operatorname{tg}(\arccos(\cos\varphi_H)) \quad (2.2)$$

$$\operatorname{tg}\varphi_{H1} = \operatorname{tg}(\arccos(0,9)) = 0,4843;$$

За формулами (2.3) (для електродвигунів) та (2.4) визначаємо розрахункове реактивне навантаження Q_p для кожного електроприймача та сумарне реактивне навантаження:

$$Q_p = \sum_{i=1}^n \frac{P_{Hi}}{\eta_{Hi}} \operatorname{tg}\varphi_H \quad (2.3)$$

$$Q_p = P_p \cdot \tan \varphi_p \quad (2.4)$$

$$Q_{p1} = \sum_{i=1}^{n=15} \frac{P_{H1}}{\eta_{H1}} \operatorname{tg} \varphi_{H1} = \frac{6 \cdot 15}{0,8} \cdot 0,4843 = 54,486 \text{кВАр};$$

Визначаємо повне розрахункове навантаження S_p збірки 1:

$$S_p = \sqrt{P^2 + Q^2} \quad (2.5)$$

$$S_{p1} = \sqrt{P_{p1}^2 + Q_{p1}^2} = \sqrt{72^2 + 54,486^2} = 90,293 \text{кВА};$$

Таблиця 2.3 – Розрахунок електричних навантажень

Вхідні данні								Розрахунок			
№	Електроприймачі	P_H ,кВт	n	$\sum P_H$ кВт	K_{II}	η_H	$\cos \varphi_H$	P_p кВт	$\operatorname{tg} \varphi_H$	Q_p кВАр	S_p кВА
Збірка 1(0.4 кВ)											
1	Житлові будинки	6	15	90	0,8	0,8	0,9	72	0,4843	54,486	90,293
2	Крамниця	4	1	4	0,7	0,9	0,93	2,8	0,3952	1,757	3,305
3	Школа	12	1	12	0,75	0,8	0,88	9	0,5397	8,096	12,106
4	Котельня	15	1	15	0,7	0,7	0,85	10,5	0,6197	6,507	12,353
5	Ідальня	8	1	8	0,6	0,75	0,85	4,8	0,6197	6,611	8,169
6	Правління	25	1	25	0,6	0,9	0,9	15	0,4843	13,453	20,149
7	Зерноховище	12	1	12	0,5	0,85	0,75	6	0,8819	12,451	13,821
8	Склад	50	2	100	0,6	0,8	0,7	60	1,0202	127,526	140,935
9	Телятник	12	2	24	0,65	0,8	0,85	15,6	0,6197	18,592	24,270
10	Млин	30	1	30	0,7	0,85	0,8	21	0,7500	26,471	33,789
11	Мех. Майстерня	40	1	40	0,75	0,7	0,75	30	0,8819	50,395	58,649
12	Насосна станція	40	1	40	0,75	0,8	0,75	30	0,8819	44,096	53,333
Σ								2276, 7	-	370,441	462,373

Обираємо трансформатори Т1,Т2 згідно заданої потужності, враховуючи що трансформатор може працювати при навантаженні до 30% більше номінального

Таблиця 2.4 – Параметри трансформаторів

Тип	Номинальна потужність, $S_{\text{НОМ}}$, кВА	Номинальні напруги, кВ		Втрати потужності XX, P_x , кВт	Втрати потужності КЗ, P_k , кВт	Струм XX I_x , %	Напруга КЗ, U_k %
		ВН (Y)	НН (Δ)				
ТМ- 400/10	400	6	0,4	0,95	5,5	2,1	4,5

Розрахунок втрат активної та реактивної потужності в трансформаторах

T1, T2:

$$\Delta P_{T1} = 0,02 \cdot S_{\text{НОМ.T1}} = 0,02 \cdot 400 = 8 \text{ кВт};$$

$$\Delta Q_{T1} = 0,1 \cdot S_{\text{НОМ.T1}} = 0,1 \cdot 400 = 40 \text{ кВАр};$$

2.4. Розрахунок електричних мереж

2.4.1 Розрахунок струмів навантаження групи електроприймачів

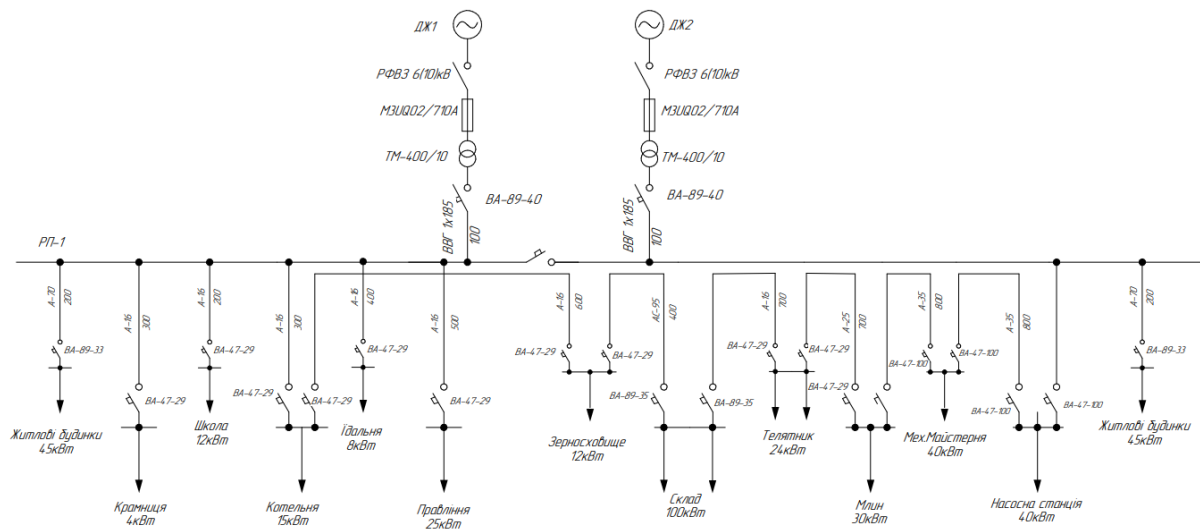


Рисунок 2.2 – Схема електропостачання СМТ

При виборі перетинів проводів і жил кабелів розрахунковий струм навантаження групи електроприймачів визначається так:

$$I_P = \frac{S_P}{\sqrt{3} \cdot U_H} \quad (2.6)$$

$$I_{P1} = \frac{S_{P1}}{\sqrt{3} \cdot U_H} = \frac{90,293}{\sqrt{3} \cdot 0,4} = 130,3267 \text{ A};$$

Де S_P – розрахункове навантаження групи споживачів, кВА; U_H – напруга мережі, кВ.

Аналогічно розраховуємо решту електроприймачів та заносимо дані в Табл. 2.5.

Таблиця 2.5 – Дані параметри для розрахунку ліній РП-1

Споживач	№ лінії	Довжина лінії, м	Тип лінії	Потужність, що передається лінією, кВт	cosφ	ККД	Розрах. робочий струм лінії I _p , А
Збірка №1							
Споживачі низької напруги (0,4 кВ)							
Житлові будинки	1	200	ПЛ	90	0,9	0,8	130.3267
Крамниця	2	300	ПЛ	4	0,93	0,9	4.770357
Школа	3	200	ПЛ	12	0,88	0,8	17.47351
Котельня	4	300	ПЛ	15	0,85	0,7	17.83002
Ідальня	5	400	ПЛ	8	0,85	0,75	11.79094
Правління	6	500	ПЛ	25	0,9	0,9	29.08258
Зерносховище	7	600	ПЛ	12	0,75	0,85	19.9489
Склад	8	400	ПЛ	100	0,7	0,8	203.4222
Телятник	9	700	ПЛ	24	0,85	0,8	35.03073
Млин	10	700	ПЛ	30	0,8	0,85	48.77022
Мех. Майстерня	11	800	ПЛ	40	0,75	0,7	84.65254
Насосна станція	12	800	ПЛ	40	0,75	0,8	76.97955
Шина – Трансформатор	13	100	КЛ	320	0.8	0.9	667.3779

Для всіх споживачів низької напруги ЛЕП розраховують за втратами напруги і перевіряють за умовами нагрівання та економічній щільності струму при тривалості використання максимуму навантаження понад 4000...5000 г/рік.

2.4.2 Вибір перетину провідників і жил кабелів за нагрівом

Вибір перерізу проводів повітряних ліній та жил кабелів за нагрівом розрахунковим (робочим) струмом в нормальному тривалому режимі роботи полягає в порівнянні розрахункового струму і-ї лінії з допустимим струмом, для якого ПУЕ рекомендує стандартні значення перерізів проводів за умови

$$I_p \leq I_{\text{доп}} \quad (2.7)$$

					ОА.91.01.2097-С.000 ПЗ	Арк.
						41
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

де I_p - розрахунковий (або робочий) струм i -ї лінії, А;

$I_{\text{доп}}$ - тривало-допустимі струми для стандартного ряду перерізів провідника ліній.

Для живлення СМТ доцільно використовувати провoda марки А або АС (алюмінієві та сталєвоалюмінієві). Результати вибору заносяться до табл. 3.2.

Таблиця 2.6 – Вибір перетину провідників за допустимим нагрівом

Лінія	I_p , А	$I_{\text{доп}}$, А	$S_{\text{нагр}}$, мм ²	Марка
L_1	130.3267	135	25	А-25
L_2	4.770357	105	16	А-16
L_3	17.47351	105	16	А-16
L_4	17.83002	105	16	А-16
L_5	11.79094	105	16	А-16
L_6	29.08258	105	16	А-16
L_7	19.9489	105	16	А-16
L_8	203.4222	210	50	АС-50
L_9	35.03073	105	16	А-16
L_{10}	48.77022	105	16	А-16
L_{11}	84.65254	105	16	А-16
L_{12}	76.97955	105	16	А-16
L_{13}	667.3779	675	150	ВВГ 1x150

2.4.3 Розрахунок електричної мережі за економічною густиною струму

Вибір економічно доцільного перерізу провідників КЛ і ПЛ, що рекомендують ПВЕ, виконують за економічною густиною струму в залежності від матеріалу провідника та кількості годин використання максимуму навантаження, а для кабелів, крім того, і від матеріалу ізоляції.

Величина економічного перерізу визначається розрахунковим струмом і-ї лінії та економічною густиною струму

Для машинобудівного цеху - $T_M = 4200$ год/рік.

Економічна густина струму $J_{ЕК}$ (А/мм²) при T_M (год/рік):

Кабелі з гумовою та пластмасовою (ПВХ) ізоляцією :

Алюмінієві – 1,7 А/мм²;

Мідні – 3,1 А/мм²;

Розраховуємо переріз провідників:

$$S'_{ЕК} = \frac{I_p}{J_{ЕК}} \quad (2.8)$$

де I_p - розрахунковий струм, А; $j_{ЕК}$ - економічна густина струму, А/ мм²

Метод поширений завдяки своїй простоті і дозволяє приблизно оцінити економічну доцільність, оскільки не враховує ціну електроенергії. У випадку пошуку економічних резервів мережі застосовуються більш точні розрахунки.

Для ізольованих проводів з перерізом жил більш 16 мм², рекомендується збільшувати економічну густина струму на 40%. Величина розрахункового економічного перерізу заокруглюється до найближчого меншого стандартного перерізу і отримуємо фактичну величину економічного перерізу (Табл. 3.3):

$$S'_{ЕК1} = \frac{130,3267}{1.7} = 76,663 \text{ мм}^2; S_{ЕК1} = 70 \text{ мм}^2;$$

$$S'_{ЕК2} = \frac{4,77}{1.7} = 2,806 \text{ мм}^2; S_{ЕК2} = 2,5 \text{ мм}^2;$$

$$S'_{ЕК3} = \frac{17,47}{1.7} = 10,278 \text{ мм}^2; S_{ЕК3} = 10 \text{ мм}^2;$$

$$S'_{ЕК4} = \frac{17,83}{1.7} = 10,488 \text{ мм}^2; S_{ЕК4} = 10 \text{ мм}^2;$$

					ОА.91.01.2097-С.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		43

Таблиця 2.7 - Розрахунок за економічною густиною струму

Лінія	I_p, A	$J_{ек}, A/мм^2$	$S'_{ек2}, мм^2$	$S_{ек} мм^2$
L_1	130.3267	1,7	76.66278	70
L_2	4.770357	1,7	2.806092	2,5
L_3	17.47351	1,7	10.27853	10
L_4	17.83002	1,7	10.48825	10
L_5	11.79094	1,7	6.935845	6
L_6	29.08258	1,7	17.1074	16
L_7	19.9489	1,7	11.73464	10
L_8	203.4222	1,7	119.6601	95
L_9	35.03073	1,7	20.60631	16
L_{10}	48.77022	1,7	28.68837	25
L_{11}	84.65254	1,7	49.79561	35
L_{12}	76.97955	1,7	45.28209	35
L_{13}	667.3779	3,1	215,28	185

2.4.4 Вибір ліній мережі за умови механічної міцності

В практиці проектування електропостачання промислових підприємств переріз проводів ПЛ та КЛ вибирають за даними мінімально допустимих перерізів чи механічною міцністю згідно ПУЕ (стор. 198 ПУЕ 2017), мінімальні допустимі перерізи проводів ПЛ та жил КЛ за умови механічної міцності:

Кабельні лінії для силових та освітлювальних мереж:

Алюміній: $S_{мех} = 2,5 мм^2$;

Мідь: $S_{мех} = 1,5 мм^2$.

2.4.5 Розрахунок електричної мережі за допустимими втратами напруги

Величину втрат напруги для мережі до 1 кВ приймають рівною 39В, 63В, 117В)– відповідно при U_H мережі 380В, 660В, 1140В.

$$\Delta U_{доп} = 39 В;$$

					ОА.91.01.2097-С.000 ПЗ	Арк.
						44
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Розрахунок втрат напруги в трансформаторі [%] проводиться за формулою:

$$\Delta U_{TP\%} = \beta(U_{a\%} \cos \varphi_{TP} + U_{p\%} \sin \varphi_{TP}); \quad (2.9)$$

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

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

ΔP_K - втрати КЗ трансформатора, Вт;

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

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

Враховуючи можливість регулювання напруги на виході трансформатора за рахунок переключення відпайок обмотки первинної напруги абсолютне значення втрат напруги в трансформаторі, В:

$$\Delta U_{TP} = \Delta U_{TP\%} \cdot K_0 \cdot \frac{U_0}{100}; \quad (2.10)$$

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:

$$\beta = \frac{S_p}{S_{H.T}} = \frac{462,373}{400} = 1,156; \quad (2.11)$$

$$U_{a\%} = \frac{\Delta P_K}{10 \cdot S_{H.T}} = \frac{5500}{10 \cdot 400} = 1,375 \%; \quad (2.12)$$

$$U_{p\%} = \sqrt{(U_{k\%})^2 - (U_{a\%})^2} = \sqrt{4,5^2 - 1,375^2} = 4,28 \%; \quad (2.13)$$

$$\cos \varphi = \frac{P}{S} = \frac{276,7}{462,373} = 0,598; \quad (2.14)$$

$$\sin \varphi = \sqrt{1 - \cos^2 \varphi} = \sqrt{1 - 0,598^2} = 0,8015; \quad (2.15)$$

$$\Delta U_{TP\%} = \beta \cdot (U_{a\%} \cdot \cos \varphi + U_{p\%} \cdot \sin \varphi) = 1,156 \cdot (1,375 \cdot 0,598 + 4,28 \cdot 0,8015) = 4,91 \%$$

$$\Delta U_{TP} = \Delta U_{TP\%} \cdot K_0 \cdot \frac{U_0}{100} = 4,91 \cdot 1 \cdot \frac{400}{100} = 19,6 \text{ В}; \quad (2.16)$$

Тоді допустимі втрати напруги в проводі:

$$\Delta U_{ПЛ} = \Delta U_{доп} - \Delta U_{TP} = 39 - 14,7 = 19,37 \text{ В};$$

					ОА.91.01.2097-С.000 ПЗ	Арк.
						45
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Розрахунок втрат напруги в кабелі проводиться за формулою:

Без урахування індуктивного опору (можна знехтувати індуктивним опором лінії при $X \leq \frac{1}{3}R$):

$$\Delta U = \frac{\sqrt{3} \cdot I_p \cdot L \cdot r_0 \cdot \cos \varphi_p}{\gamma \cdot S} \quad (2.17)$$

де L - довжина провoda, км, r , x - відповідно активний (при робочій температурі жил) та індуктивний опір 1 км кабеля, Ом/км; γ - питома провідність матеріалу жил кабеля, м/(Ом·мм²) для кабеля з мідними жилами при температурі 65⁰С $\gamma=32$; S - площа перерізу жил кабеля, мм², I_p - розрахунковий струм лінії, А.

Активний опір провoda при робочій температурі

$$r_0 = K_r \cdot r_{20} \quad (2.18)$$

де r_{20} - активний опір 1 км кабеля, Ом/км при температурі 20⁰С, $K_r=1$ - поправочний коефіцієнт на опір кабеля залежно від температури нагріву жил

$$\Delta U_1 = \frac{\sqrt{3} \cdot I_p \cdot L \cdot r_0 \cdot \cos \varphi_p}{\gamma \cdot S} = \frac{\sqrt{3} \cdot 130,3267 \cdot 0,2 \cdot 0,46 \cdot 0,9}{32 \cdot 70} = 0,008 < 19,4 \text{ В}$$

$$\Delta U_2 = \frac{\sqrt{3} \cdot I_p \cdot L \cdot r_0 \cdot \cos \varphi_p}{\gamma \cdot S} = \frac{\sqrt{3} \cdot 4,77 \cdot 0,3 \cdot 2,06 \cdot 0,93}{32 \cdot 16} = 0,009 < 19,4 \text{ В}$$

Аналогічні дії повторюються з кожним провodom.

Розрахунок втрат напруги в кабелі Шина-Трансформатор проводиться за формулою:

$$\Delta U_{\text{м.к.}} = \frac{P_H \cdot L_{\text{м.к.}} \cdot 10^3}{\gamma \cdot S_{\text{м.к.}} \cdot U_H \cdot \eta_H}; \quad (2.19)$$

P_H - потужність всіх електроприймачів, що живиться цим кабелем [кВт];

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

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

$S_{\text{м.к.}}$ - найбільший переріз кабелю з попередніх перевірок [мм²];

U_H - номінальна напруга мережі, для якої розраховуються втрати напруги;

					ОА.91.01.2097-С.000 ПЗ	Арк.
						46
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

η_H - ККД електроприймача

$$\Delta U_{\text{м.к.шина}} = \frac{P_{\text{н.13}} \cdot L_{\text{м.к.13}} \cdot 10^3}{\gamma \cdot S_{\text{м.к.13}} \cdot U_H \cdot \eta} = \frac{276,7 \cdot 100 \cdot 10^3}{50 \cdot 185 \cdot 400 \cdot 0,9} = 8,3 \text{ В} < 19,4 \text{ В};$$

2.4.6 Остаточний вибір перетинів проводів і жил кабелів

Розрахунок електричної розподільної мережі дільниці зводять у таблицю, у якій повинні бути приведені основні розрахункові параметри елементів мережі, мінімальні значення перетинів провідників, обрані за різними умовами для кожної із ліній, марка остаточно обраного проводу або тип кабелів.

Розрахунок розподільної мережі можна звести у таблицю 2.8.

Таблиця 2.8 – Остаточні розрахунки електричної мережі

№ лінії	Розрахунковий робочий струм $I_p, \text{ А}$	За нагрівом		Мех. міцність $S_{\text{мех}}, \text{ мм}^2$	За економічною густиною		За втратами напруги		Остаточна обрана марка
		$I_{\text{доп}}, \text{ А}$	$S_{\text{нагр}}, \text{ мм}^2$		$J_{\text{ек}}, \text{ А/мм}^2$	$S_{\text{ек}}, \text{ мм}^2$	Втрати напруги, В	$S_{\text{втр}}, \text{ мм}^2$	
1	130.3267	135	25	2,5	1,7	70	0.008344	70	А-70
2	4.770357	105	16	2,5	1,7	2,5	0.009275	16	А-16
3	17.47351	105	16	2,5	1,7	10	0.021431	16	А-16
4	17.83002	105	16	2,5	1,7	10	0.031685	16	А-16
5	11.79094	105	16	2,5	1,7	6	0.027937	16	А-16
6	29.08258	105	16	2,5	1,7	16	0.091202	16	А-16
7	19.9489	105	16	2,5	1,7	10	0.062559	16	А-16
8	203.4222	210	50	2,5	1,7	95	0.021094	95	АС-95
9	35.03073	105	16	2,5	1,7	16	0.145253	16	А-16
10	48.77022	105	16	2,5	1,7	25	0.0816	25	А-25
11	84.65254	105	16	2,5	1,7	35	0.066766	35	А-35
12	76.97955	105	16	2,5	1,7	35	0.060714	35	А-35
13	667.3779	675	150	1,5	3,1	185	8,3	185	ВВГ 1x185

2.5 Розрахунок струмів КЗ

Складаємо розрахункову схему заміщення (рис.2.3) на основі схеми розділу 2.3 (рис 2.1). На схемі позначаємо характерні точки, для яких буде розраховано струми КЗ.

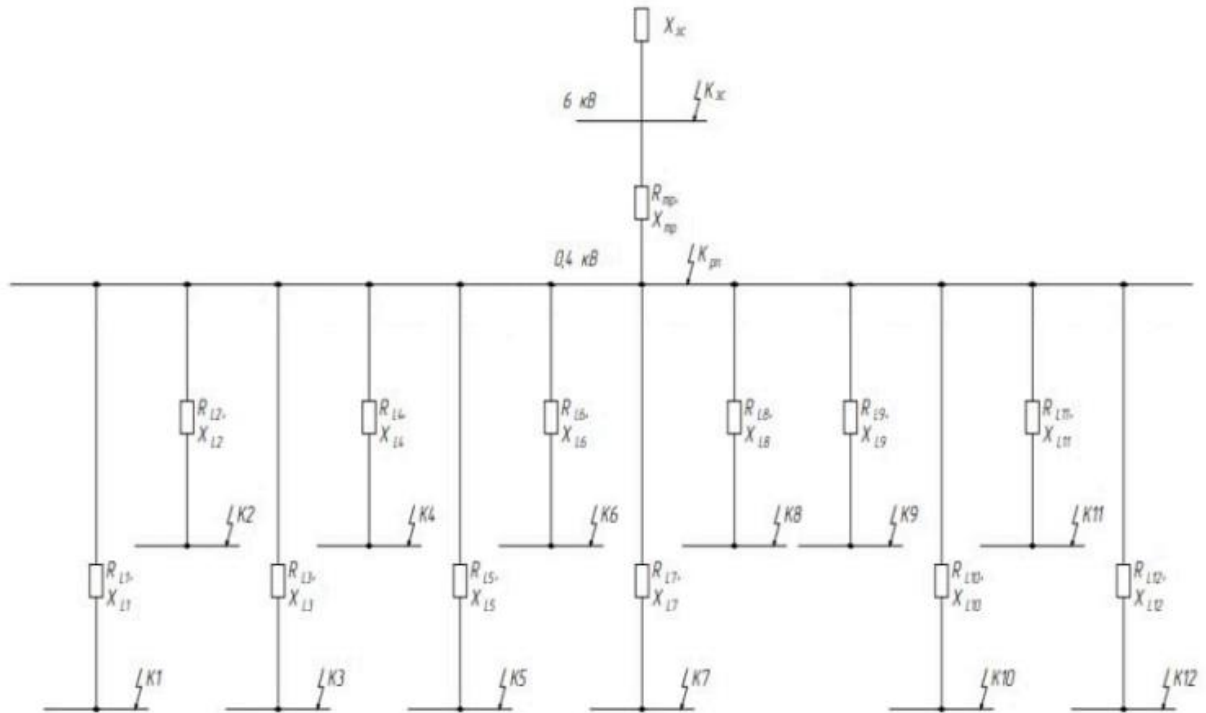


Рисунок 2.3 – Схема заміщення для розрахунку точок КЗ

2.5.1 Розрахунок струмів КЗ в мережах напруги до 1000 В

Трифазний струм КЗ:

$$I_K^{(3)} = \frac{U_{cp}}{\sqrt{3} \cdot \sqrt{(\sum r)^2 + (\sum x)^2}} \quad (2.20)$$

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:

$$X_{зс} = \frac{U_{с.н.}^2}{S_K^{(3)}} = \frac{400^2}{40 \cdot 10^6} = 4 \cdot 10^{-3} \text{ Ом}; \quad (2.21)$$

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

					ОА.91.01.2097-С.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		48

$U_{с.н.}^2 - 230, 400, 690, 1200 \text{ В}$

Опір трансформатора

$$R_T = \Delta P_K / (3 \cdot I_{н.т.}^2); \quad (2.22)$$

$$X_T = \sqrt{Z_T^2 - R_T^2}; \quad (2.23)$$

$$Z_T = U_K \cdot U_{с.н.} / 100 \cdot \sqrt{3} \cdot I_{н.т.}; \quad (2.24)$$

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

$$I_{н.т.} = \frac{S}{\sqrt{3} \cdot U_H} = \frac{400}{\sqrt{3} \cdot 0,4} = 577,35 \text{ А};$$

$$Z_{Тр} = \frac{U_k \cdot U_{сн}}{100 \cdot \sqrt{3} \cdot I_{н.т.}} = \frac{4,5 \cdot 400}{100 \cdot \sqrt{3} \cdot 577,35} = 0,018 \text{ Ом};$$

$$R_{Тр} = \frac{\Delta P_k}{3 \cdot I_{н.т.}^2} = \frac{5500}{3 \cdot 577,35^2} = 0,0055 \text{ Ом};$$

$$X_{Тр} = \sqrt{Z_{Тр}^2 - R_{Тр}^2} = \sqrt{0,018^2 - 0,0055^2} = 0,017139 \text{ Ом};$$

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

$$R_{L1} = \frac{1000}{\gamma \cdot S_{м.к1}} \cdot L_1 = \frac{1000}{32 \cdot 70} \cdot 0,2 = 0,089 \text{ Ом};$$

Реактивний опір повітряних ліній, що живить споживачів низької напруги $x_0=0,32 \text{ Ом/км}$ - реактивний опір ПЛ, $U < 1 \text{ кВ}$ довжиною 1 км;

$$X_{L1} = x_0 \cdot L_1 = 0,32 \cdot 0,2 = 0,064 \text{ Ом};$$

Аналогічно розраховуємо решту опорів та заносимо значення до табл.2.9.

					ОА.91.01.2097-С.000 ПЗ	Арк.
						49
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Таблиця 2.9 – Опори елементів мережі у іменованих одиницях

Елемент мережі	L, км	S, мм ²	R, Ом	X, Ом
Джерело живлення	-	-	0	0,004
Трансформатор ТМ-400/10	0.1	185	0.0055	0,0171
L ₁	0.2	70	0.089286	0.064
L ₂	0.3	16	0.585938	0.096
L ₃	0.2	16	0.390625	0.064
L ₄	0.3	16	0.585938	0.096
L ₅	0.4	16	0.78125	0.128
L ₆	0.5	16	0.976563	0.16
L ₇	0.6	16	1.171875	0.192
L ₈	0.4	95	0.131579	0.128
L ₉	0.7	16	1.367188	0.224
L ₁₀	0.7	25	0.875	0.224
L ₁₁	0.8	35	0.714286	0.256
L ₁₂	0.8	35	0.714286	0.256

Розрахуємо сумарний опір до кожної точки КЗ:

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

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

Точка К_{рп}: Опір складається з опорів зовнішньої системи X_{зс} та трансформатора ТМ-250/6:

$$\sum R_{Крп} = R_{Тр} = 0,00550 \text{ Ом};$$

$$\sum X_{Крп} = X_{зс} + X_{Тр} = 0,004 + 0,017139 = 0,021139$$

Ом;

$$Z_{Крп} = \sqrt{(\sum R_{Крп})^2 + (\sum X_{Крп})^2} = \sqrt{0,0055^2 + 0,021139^2} = 0,021843 \text{ Ом};$$

Точка К1: Складається з опорів зовнішньої системи $X_{зс}$, трансформатора ТМ-630/10 та лінії:

$$\sum R_{K1} = \sum R_{Kpp} + R_{L1} = 0,0055 + 0,0893 = 0,0948 \text{ Ом};$$

$$\sum X_{K1} = \sum X_{Kpp} + X_{L1} = 0,21139 + 0,064 = 0,085139 \text{ Ом};$$

$$Z_{K1} = \sqrt{(\sum R_{K1})^2 + (\sum X_{K1})^2} = \sqrt{0,0948^2 + 0,08514^2} = 0,1274 \text{ Ом};$$

Результати заносимо в табл. 2.10

Таблиця 2.10 – Сумарні опори точок КЗ

Точка	$\sum R_K$	$\sum X_K$	Z_K
К _{зс}	0	0.004	0.004
К _{рп}	0.0055	0.02114	0.02184
К1	0.09479	0.08514	0.12741
К2	0.59144	0.11714	0.60293
К3	0.39613	0.08514	0.40517
К4	0.59144	0.11714	0.60293
К5	0.78675	0.14914	0.80076
К6	0.98206	0.18114	0.99863
К7	1.17738	0.21314	1.19651
К8	0.13708	0.14914	0.20257
К9	1.37269	0.24514	1.3944
К10	0.8805	0.24514	0.91399
К11	0.71979	0.27714	0.7713
К12	0.71979	0.27714	0.7713

Приклад розрахунку струмів КЗ для точки

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

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

б) струм двофазного короткого замикання

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

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

$$i_y = k_y \cdot \sqrt{2} \cdot I_K^3; \quad (2.25)$$

де: k_y - ударний коефіцієнт; $k_y = 1,2 \dots 1,3$ при короткому замиканні на шинах підстанції, $k_y = 1,8$ при короткому замиканні зі сторони високої напруги, $k_y = 1$ при короткому замиканні у віддаленій точці; $\sum I_n$ - сума номінальних струмів асинхронних двигунів потужністю понад 100 кВ·А.

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

$$i_{yрп} = k_y \cdot \sqrt{2} \cdot I_{Kрп}^3 = 1,2 \cdot \sqrt{2} \cdot 10,572 = 17,942 \text{ кА};$$

$$i_{yK1} = k_y \cdot \sqrt{2} \cdot I_{K1}^3 = 1 \cdot \sqrt{2} \cdot 1,812 = 2,563 \text{ кА};$$

Решту струмів розраховуємо аналогічно.

г) діюче значення повного струму КЗ

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

$$I_{yрп} = I_{Kрп}^3 \cdot \sqrt{1 + 2 \cdot (k_y - 1)^2} = 10,572 \cdot \sqrt{1 + 2 \cdot (1,2 - 1)^2} = 10,987 \text{ кА};$$

$$I_{yK1} = I_{K1}^3 \cdot \sqrt{1 + 2 \cdot (k_y - 1)^2} = 1,812 \cdot \sqrt{1 + 2 \cdot (1 - 1)^2} = 1,812 \text{ кА};$$

Аналогічно розраховуємо решту струмів короткого замикання та заносимо значення до табл. 2.11.

					ОА.91.01.2097-С.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		52

Таблиця 2.11 – Розрахунок струмів КЗ у іменованих одиницях

Точка КЗ	U_{CH}, B	$R, Ом$	$X, Ом$	$Z, Ом$	$I_K^{(3)}, A$	$I_K^{(2)}, A$	i_y, A	I_y, A
К _{зс}	400	0	0.004	0.004	57735	50000	146969	87178
К _{рп}	400	0.0055	0.02114	0.02184	10572.8	9156.29	17942.6	10987.5
К1	400	0.09479	0.08514	0.12741	1812.59	1569.75	2563.39	1812.59
К2	400	0.59144	0.11714	0.60293	383.032	331.716	541.689	383.032
К3	400	0.39613	0.08514	0.40517	569.982	493.619	806.076	569.982
К4	400	0.59144	0.11714	0.60293	383.032	331.716	541.689	383.032
К5	400	0.78675	0.14914	0.80076	288.401	249.762	407.86	288.401
К6	400	0.98206	0.18114	0.99863	231.257	200.275	327.047	231.257
К7	400	1.17738	0.21314	1.19651	193.011	167.153	272.959	193.011
К8	400	0.13708	0.14914	0.20257	1140.07	987.331	1612.3	1140.07
К9	400	1.37269	0.24514	1.3944	165.619	143.43	234.221	165.619
К10	400	0.8805	0.24514	0.91399	252.673	218.821	357.334	252.673
К11	400	0.71979	0.27714	0.7713	299.418	259.304	423.441	299.418
К12	400	0.71979	0.27714	0.7713	299.418	259.304	423.441	299.418

2.6 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 (можна прийняти для розрядників - $1,25U_H$; для вимикачів, роз'єднувачів, ізоляторів – $1,15 U_H$; для запобіжників, реакторів, трансформаторів струму і напруги, кабелів $1,1 U_H$).

При виборі апаратів за струмом

$$I_{н.а.} \geq I_p ;$$

					ОА.91.01.2097-С.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		53

де $I_{н.а.}$ - дається при розрахунковій температурі зовнішнього середовища $\theta_{о.с.} = +35$ °С.

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

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

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

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

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.

2.6.2 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. Ці умови виконуються при додержанні наступних умов (для плавких вставок з малою тепловою інерцією – мідь, срібло, цинк)

$$I_{н.вст.} \geq I_{н.дв.}$$

$$I_{н.вст.} \geq I_{н.дв.} / K_n$$

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

Для легкого пуску (час розгону не більше 10 с.) $K_n=2,5$; для важкого – часті та затяжні пуски (час розгону більше 10 с.) $K_n=1,6-2,0$; для зварювальних апаратів $K_n=1,6$. Струм плавкої вставки $I_{н.вст.}$ вибирають за шкалою для

					ОА.91.01.2097-С.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		54

більшого значення із отриманих за вище наведеними умовами.

Для захисту освітлювального навантаження

$$I_{н.в.} \geq I_{р.о.}$$

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

Для захисту первинних обмоток освітлювальних трансформаторів

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

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

2.6.3 Вибір автоматичних вимикачів у загальнопромисловому виконанні та уставок їх захисту

На основі каталогів на автомати та технічних умов їх роботи вибір апаратів захисту виконується за трьома нижче наведеними умовами.

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

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

2.6.4 Вибір КРП

Тип КРП, його виконання за рівнем вибухозахисту приймають з урахуванням місця його установки, призначення (вхідна, фідерна, секційна).

При кількості КРП в РПП-6 до трьох вхідна комірка не встановлюється, від трьох до семи - ставиться вхідна комірка. Якщо в РПП-6 кількість КРП перевищує сім, живлення РПП-6 від ЦПП провадиться двома кабелями, що приєднуються до різних секцій шин ЦПП, а установкою двох вхідних комірок і однієї секційної.

Добирають КРП за умовами:

$$I_{н.я.} \geq I_p; U_{н.я.} = U_{н.м.}; I_{р.я.} \geq I_K^{(3)} \quad (2.26)$$

де $I_{н.я.}$, $U_{н.я.}$, $I_{р.я.}$ – відповідно номінальний струм, напруга та граничний струм комірки, що вимкнеться. Розрахунковий струм комірки

					ОА.91.01.2097-С.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		55

що вмикає і вимикає трансформатор, приймають за розрахунковою потужністю. Для КРП, призначених як вхідні та секційні, розрахунковий струм знаходить як суму фактичних струмів електроспоживачів, які живляться через дану комірку, за навантаженням.

Таблиця 2.12 – Автоматичні вимикачі

Місце встановлення	$I_{н.а.}, A$	I_p, A	$U_{н.а.}, B$	$U_{н.м.}, B$	$I_{в.}, кА$	$1,2 \cdot I_K^{(3)}, кА$	Тип прийнятого апарату
Автоматичні вимикачі							
QF1	800	667.3779	400	400	35	12.687	ВА-89-40
QF2	800	667.3779	400	400	35	12.687	ВА-89-40
QF3	800	667.3779	400	400	35	12.6873	ВА-89-40
QF4	800	667.3779	400	400	35	12.68	ВА-89-40
QF5	160	130.3267	400	400	35	2.1751	ВА-89-33
QF6	5	4.770357	400	400	4,5	0.4596	ВА-47-29
QF7	25	17.47351	400	400	4,5	0.6839	ВА-47-29
QF8	25	17.83002	400	400	4,5	0.4596	ВА-47-29
QF9	16	11.79094	400	400	4,5	0.3460	ВА-47-29
QF10	32	29.08258	400	400	4,5	0.2775	ВА-47-29
QF11	25	19.9489	400	400	4,5	0.2316	ВА-47-29
QF12	250	203.4222	400	400	35	1.3680	ВА-89-35
QF13	40	35.03073	400	400	4,5	0.1987	ВА-47-29
QF14	50	48.77022	400	400	4,5	0.3032	ВА-47-29
QF15	100	84.65254	400	400	10	0.3593	ВА-47-100
QF16	100	76.97955	400	400	10	0.3593	ВА-47-100
QF17	800	667.3779	400	400	35	12.687	ВА-89-40

де: ΔP_X , ΔP_K – задані в параметрах трансформатора (табл. 2.4); T_p - кількість роботи днів трансформатора у році; τ - кількість годин використання втрат.

$$\tau = 8760 \cdot (0.124 + T_M \cdot 10^{-4}) = 8760 \cdot (0.124 + 6500 \cdot 10^{-4}) = 6780.24 \text{ год.};$$

Коефіцієнт завантаженості трансформатора:

$$\beta = \frac{S_p}{S_n} = \frac{362.373}{400} = 0.9$$

$$\Delta W_{TP} = 0.95 \cdot 8760 + 0.9^2 \cdot 5.5 \cdot 6780.24 = 38527.96 \text{ кВт} \cdot \text{год}$$

Визначення річних втрат реактивної потужності в трансформаторі за формулою:

$$\Delta V_{TP} = \Delta Q_u \cdot T_p + \beta^2 \cdot \Delta Q_k \cdot \tau; \quad (2.28)$$

$$\Delta Q_u = I_{X\%} * \frac{S_N}{100} = 2.1 * \frac{400}{100} = 8.4 \text{ кВАр};$$

$$\Delta Q_k = u_{X\%} * \frac{S_N}{100} = 4.5 * \frac{400}{100} = 18 \text{ кВАр};$$

$$\Delta V_{TP} = 8.4 \cdot 8760 + 0.9^2 \cdot 18 \cdot 6780.24 = 178439.9 \text{ кВАр} \cdot \text{год};$$

Кількість переданої через трансформатор активної енергії за рік:

$$W_{\text{річне}} = S_p \cdot \cos \varphi \cdot T_M = 362.373 \cdot 0.9 \cdot 6500 = 2119882.05 \text{ кВт} \cdot \text{год};$$

Відсоток втрат за рік:

$$W_{\text{річне}\%} = \frac{\Delta W_{TP}}{W_{\text{річне}}} * 100\% = \frac{38527.96}{2119882.05} = 1.7\%$$

2.7.2 Розрахунок втрат потужності в лініях електричної мережі

Втрати в лініях обраховуються за наступними формулами а результати заносяться до табл. 2.17:

$$\Delta W_{Li} = \frac{3 \cdot I_{pi}^2 \cdot R_{Li} \cdot \tau}{1000}, \text{ кВт} \cdot \text{год}; \quad (2.29)$$

$$\Delta V_{Li} = \frac{3 \cdot I_{pi}^2 \cdot X_{Li} \cdot \tau}{1000}, \text{ кВАр} \cdot \text{год}; \quad (2.30)$$

Лінія L1:

					ОА.91.01.2097-С.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		58

$$\Delta WL1 = \frac{3 * I_{p1}^2 * R_{L1} * \tau}{1000} = \frac{3 * 130.32^2 * 0.089286 * 6780.24}{1000} = 31090.734 \text{ кВт} \cdot \text{год};$$

$$\Delta VL1 = \frac{3 * I_{p1}^2 * X_{L1} * \tau}{1000} = \frac{3 * 130.32^2 * 0.007 * 6780.24}{1000} = 2418.17 \text{ кВАр} \cdot \text{год};$$

Таблиця 2.17 – Втрати активної та реактивної потужності в лініях

№ лінії	I _p ,А	R _L ,Om	X _L ,Om	ΔWL, кВт · год	ΔVL1, кВАр · год
1	130.3267	0.089286	0,007	31090.734	2418.17
2	4.770357	0.0055	0.064	1623.53	9.57
3	17.47351	0.585938	0.096	62773.53	42123.80
4	17.83002	0.390625	0.064	19393.62	4145.68
5	11.79094	0.585938	0.096	333.25	1.52
6	29.08258	0.78125	0.128	112.97	0.32
7	19.9489	0.976563	0.16	17574.81	1556.38
8	203.4222	1.171875	0.192	1013.53	9.37
9	35.03073	0.131579	0.128	62433.03	4243.80
10	48.77022	1.367188	0.224	235.33	1.47
11	84.65254	0.875	0.224	629.20	3.15
12	76.97955	0.714286	0.256	112.97	0.44

Висновки

Для розподілу електричної енергії по підприємству застосовано кабельні лінії марок А та ВВГ. Максимальний переріз КЛ складає 185 мм².

Величини струмів КЗ були розраховані в іменних одиницях, адже рівень напруги підприємства 0,4 кВ. На основі значень струмів КЗ та робочих струмів було обрано комутаційне та захисне обладнання – роз'єднувачі (РФВЗ 6(10)кВ), автоматичні вимикачі (серії ВА) та запобіжники (МЗUQ02/710А/690V).

					ОА.91.01.2097-С.000 ПЗ	Арк.
						59
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Підприємство характеризується наступними техніко-економічними показниками: коефіцієнт потужності – 0.9, втрати активної енергії - 73888,712 кВт·год, реактивно - 38527.96 кВт · год, а річні витрати активної енергії становлять 2119882.05 кВт·год.

З метою покращення техніко-економічних показників рекомендується заміна електродвигунів на більш новіші з більшим ККД та коефіцієнтом потужності, заміна ламп розжарювання в освітленні майстерні та прожекторному освітленні на світлодіодні, які мають значно кращі енергетичні показники.

					ОА.91.01.2097-С.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		60

3. Спеціальна частина

3.1 Обґрунтування та вибір системи електроприводу

3.1.1 Застосування частотно-регульованого електроприводу в системах водопостачання

Застосування частотно-регульованого електроприводу на станціях та підприємствах, що мають змінне навантаження, приносить значні переваги, такі як зменшення електроенергії, витрат на усунення ударів, підтримка необхідних параметрів, економія повітря та теплової енергії, а також збільшення терміну служби електродвигунів і приводних механізмів.

Всі перетворювачі електроприводу ділять спільну ідеологію та забезпечують роботу приводу у різних режимах, включаючи ручне регулювання частоти, плавний розгін, гальмування, режими підтримки параметрів та автоматичного керування, роботу при підвищених швидкостях, керування по RS232, роботу з великим пусковим моментом і реверс.

Застосування частотно-регульованого електроприводу в насосних, вентиляторних та нагнітальних системах забезпечує високу ефективність та зниження споживання енергії. Давайте проілюструємо фізичну природу цього зниження на прикладі вентиляторів. Більшість вентиляторів використовують відцентрові машини, і їх характеристика залежності вихідного тиску (Н) від потоку повітря (Q) (рис. 3.1) зазвичай залишається незмінною при постійній частоті обертання вентилятора. Однак, застосування частотно-регульованого електроприводу дозволяє змінювати частоту обертання, що дозволяє оптимізувати роботу системи та забезпечити зниження споживання енергії відповідно до потреб.

На рисунку 3.1 представлені кілька характеристик системи при різних положеннях дроселя, де крива 1 відповідає повністю відкритому отвору. Важливо зазначити, що потужність, яку споживає двигун турбомеханізм

					ОА.91.01.2097-С.000 ПЗ			
Змн.	Арк.	№ докum.	Підпис	Лата	Спеціальна частина			
Розробив	Головащенко В.С.							
Перевірив	Прядко С.Л.							
Репензент.								
Н. Контр.	Кулаковський Л.Я.							
Затверд.	Бойченко С.В.				Літ.	Арк.	Аркушів	
							61	
						КП ім. Ігоря Сікорського Каф. АЕМК, гр. ОА-91		

залежить від добутку тиску та витрати, а саме від площі прямокутника, одна з вершин якого співпадає з робочою точкою, а протилежна вершина - з початком координат. Придивившись до рисунку 3.1, видно, що зміна продуктивності насоса майже не впливає на споживання енергії.

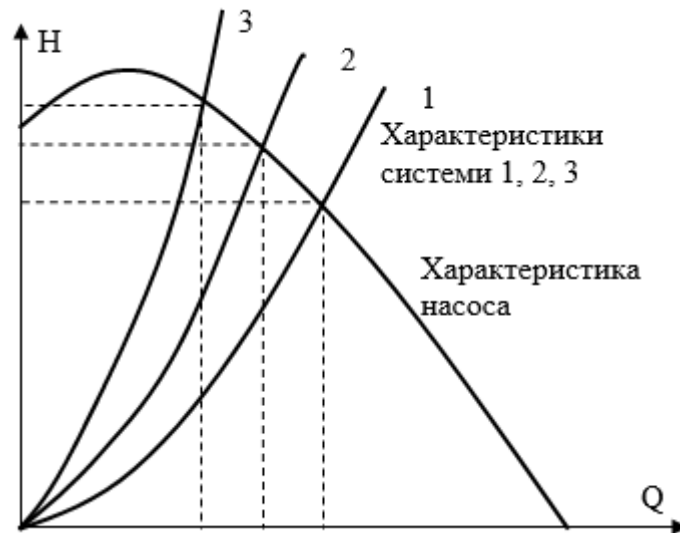


Рисунок 3.1. Характеристики вентилятора й системи при регулюванні шибром

Зміна частоти обертання вентилятора впливає на його характеристику, що ілюструється на рисунку 3.2. Криві 2 і 3 відповідають зниженій частоті обертання. З рисунка видно, що зменшення частоти обертання вентилятора призводить до зміщення робочої точки вздовж характеристики системи та значного зменшення споживання електроенергії за тих самих витратах, як на рисунку 3.2. Кількісну оцінку цих змін можна отримати за допомогою формул, які називаються законами подібності.

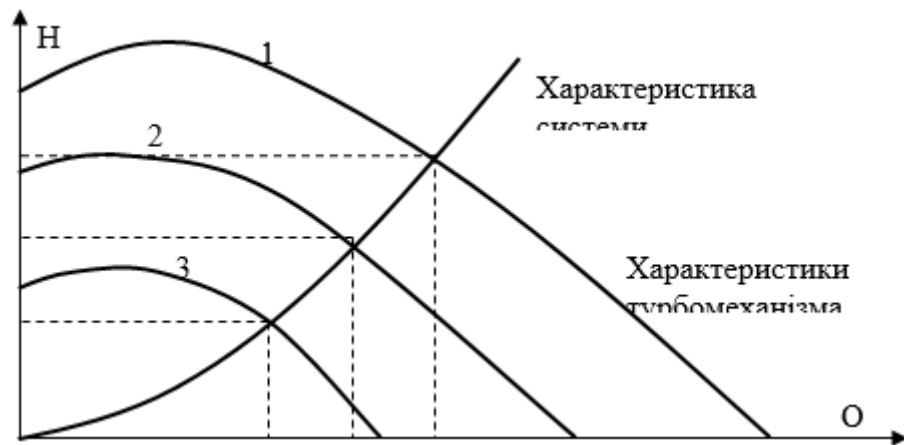


Рис.3.2. Характеристики вентилятора й системи при регулюванні частоти обертання (де 1, 2, 3 - характеристики турбомеханізма з регульованим приводом).

У цьому випадку, регулювання продуктивності здійснюється шляхом використання дросельних заслінок на виході турбомеханізма. На рисунку 3.3 показано порівняльний графік споживаної потужності турбомеханізма в залежності від витрати при двох методах регулювання: дросельним заслонкам і частотному регулюванню. Різниця між значеннями цих кривих при однаковій витраті дозволяє визначити економію енергії, яку можна отримати за допомогою частотного регулювання порівняно з регулюванням дросельною заслонкою.



Рис.3.3. Залежність споживаної потужності від витрати

Застосування частотно-регульованого асинхронного електропривода в насосних і вентиляторних системах має кілька переваг:

1. Економія електроенергії: Використання такого приводу дозволяє знизити споживання електроенергії на до 50%.

2. Економія транспортного продукту: Частотно-регульований привід дозволяє зменшити непродуктивні витрати, пов'язані з перекачуванням або переміщенням продукту, на до 25%.

3. Зниження аварійності гідравлічних або пневматичних систем: Частотно-регульований привід допомагає підтримувати мінімально необхідний тиск, що зменшує ризик аварій в системах.

4. Зниження аварійності приводу: Можливість плавного пуску, яку надає частотно-регульований привід, сприяє зниженню ризику аварій в приводі та пов'язаному обладнанні.

5. Підвищення надійності електроустаткування: Використання частотно-регульованого приводу допомагає уникнути ударних пускових струмів, що забезпечує більш надійну роботу обладнання.

6. Зниження рівня шуму: Частотно-регульований привід сприяє зниженню шуму, що створюється установкою, що покращує умови праці та комфорт.

7. Зручність автоматизації: Частотно-регульований привід є зручним для автоматизації системи та інтеграції з іншими контрольними пристроями.

8. Простота впровадження: Використання частотно-регульованого приводу має просту та зручну систему впровадження у наявну інфраструктуру.

3.2 Розрахунок параметрів асинхронного двигуна

Ми розглядаємо вибір заглибного електронасосу з заглибним електродвигуном типу ЭЦВ. Заглибний електродвигун, який ми розглядаємо, має модель ПЭДВ32-180, він є трифазним, асинхронним із коротко-замкненим ротором. Цей електродвигун розташовується під самим насосом і має швидкість обертання 2950 обертів за хвилину.

					ОА.91.01.2097-С.000 ПЗ	Арк.
						64
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Важливо зазначити, що внутрішня порожнина електродвигуна заповнюється питною водою для змащування і охолодження.

Таблиця 3.1 – Технічні параметри електродвигуна ПЭДВ32-180

Назва	Величини
Двигун ПЭДВ32-180	31
Потужність P_H , кВт	
Номинальна напруга, В	381
Номинальний струм, А	67
ККД, %	91
$\cos\varphi_H$	0,895
Відношення $\frac{M_{MAX}}{M_H}$	3,1
Відношення $\lambda = \frac{M_H}{M_H}$	2,2
Відношення $\frac{I_H}{I_H}$	7,3
Момент інерції, кг/м ²	0,1336
Номинальна швидкість, об./хв.	2948
Маса, кг	172
Номинальне ковзання S_H , %	0,03
Електромагнітні навантаження:	
$E\delta$, Тл	0,77
A , А/см	364
J , А/мм ²	5,5
Параметри схеми заміщення, від. од.:	
X_μ	3,6
–в номінальному режимі:	
R'_1	0,031
X'_1	0,063
R''_2	0,019
X''_2	0,13
– при короткому замиканні:	
$R''_{2П}$	0,034
$R_{к.П}$	0,056
$X_{к.П}$	0,132

Знайдемо номінальну швидкість електродвигуна.

Синхронна швидкість ω_0 :

$$\omega_0 = 0,105 \cdot n_0 \quad (3.1)$$

$$\omega_0 = 0,105 \cdot 3000 = 315 \frac{1}{c}$$

$$\omega_n = n_n \cdot 0,105 \quad (3.2)$$

$$\omega_n = 2950 \cdot 0,105 = 309,75 \frac{1}{c}$$

Пусковий струм двигуна знаходимо з відношення:

$$I_n = I_{ном} \cdot 7,5 \quad (3.3)$$

$$I_n = 68 \cdot 7,5 = 510 \text{ A}$$

Номінальний момент двигуна:

$$M_{ном} = \frac{P_{ном}}{\omega_0}$$

$$M_{ном} = \frac{32000}{315} = 95,2 \text{ Н} \cdot \text{м}$$

Повний опір КЗ:

$$z_k = \frac{m \cdot U_\phi}{I_n} = \frac{3 \cdot 220}{510} = 1,3 \text{ Ом}$$

3.3 Розрахунок силових модулів ПЧ-АД

Ми вибираємо трифазний мостовий випрямляч. Випрямлені напруги катодного та анодного випрямлячів з нульовими виводами сумуються, утворюючи випрямлену напругу трифазного випрямляча. Пульсація випрямленої напруги відбувається з частотою 300 Гц, що є шестикратною частотою вхідного струму. Випрямлена напруга містить вищі гармоніки, номери яких є кратними шести.

Максимальне значення струму вентиля (випрямлювального елемента) залежить від типу навантаження. Для активно-індуктивного навантаження максимальне значення струму вентиля буде відрізнятись та складає:

					ОА.91.01.2097-С.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		66

$$I_{vm} = I_d$$

Щоб знайти діюче значення струму вентиля для активно-індуктивного навантаження, можна скористатися відповідною формулою:

$$I_v = 0.157 \cdot K_1 \cdot K_{охол} \cdot I_d,$$

де $K_1 = 1.3$ - коефіцієнт запасу по струму напівпровідникового ключа;
 $K_{охол} = 1.3$ - коефіцієнт, враховуючий охолодженні напівпровідникових ключів;

Ми розглядаємо подвійний пусковий струм асинхронного двигуна в якості I_d .

$$I_d = 2 \cdot I_n \quad (3.4)$$

$$I_d = 2 \cdot 510 = 1020 \text{ A}$$

Діюче значення струму вентиля:

$$I_v = 0.577 \cdot 1.3 \cdot 1.3 \cdot 1020 = 994,63 \text{ A}$$

Напруга в ланцюгу постійного струму буде мати таке значення:

$$U_d = 1.17 \cdot K_s \cdot U_n \quad (3.5)$$

$$U_d = 1.17 \cdot 1.8 \cdot 380 = 800.28 \text{ B}$$

де $K_s = 1.4 \dots 1.8$ - коефіцієнт, враховуючий можливість перепаду напруги на вентилях.

За результатами розрахунків, ми обираємо силовий модуль фірми "Dacrol". Модуль IGBT використовує структуру CSTBT (Carrier Stored Trench Bipolar Transistor) і виготовлений за новою технологією з низькими втратами потужності. Корпус модуля NF-3 зображений на рисунку 3.5.

Номинальні дані силового модуля IGBT фірми "International Rectifier" моделі CM600DY-12NF такі: $I_{ном} = 510 \text{ A}$, $U_{ном} = 600 \text{ B}$.

Електрична схема якого представлена на рис.3.4.

					ОА.91.01.2097-С.000 ПЗ	Арк.
						67
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

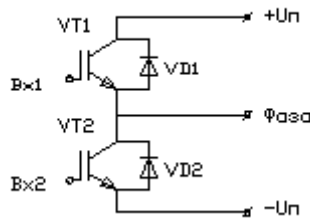


Рисунок 3.4 – електрична схема модуля

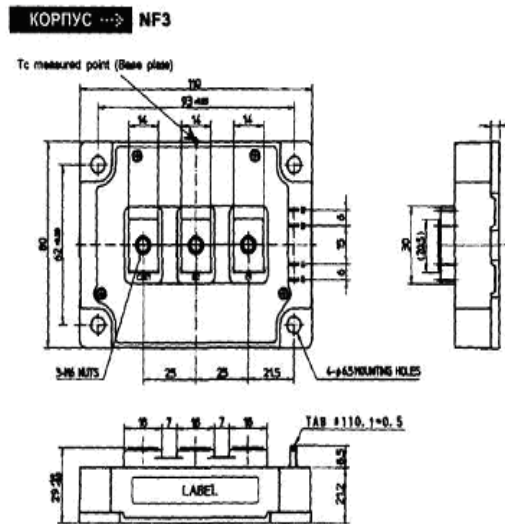


Рисунок 3.5 – корпус силового модуля SM600DY-12NF

Між напругою двигуна і лінійною напругою мережі існує взаємозв'язок таким чином:

$$U_{do} = k_{cx} \cdot U_c \quad (3.6)$$

$$U_{do} = 1.35 \cdot 380 = 513 \text{ В}$$

Якщо ми приймаємо, що в ланцюзі послідовно включений лише 1 вентиль, то ми будемо шукати допустиму напругу, що діє на ключі цього вентиля:

$$U_{кл} = U_d \cdot k_{zu} \quad (3.7)$$

$$U_{кл} = 513 \cdot 2 = 1026 \text{ В}$$

$k_{zu} = 2$ - коефіцієнт запасу по напрузі.

Ми приймаємо, що допустима напруга на тиристорі складає 1200 В.

					ОА.91.01.2097-С.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		68

Для зниження пульсацій випрямленого струму і обмеження швидкості підвищення струму в ланцюгу двигуна під час аварійних режимів роботи перетворювача, застосовується згладжуючий дросель.

Дросель вибирають по струму I_d і індуктивності з каталогу.

Індуктивність дроселя:

$$L_{др} \leq 0.15 \cdot L_{\sigma\epsilon}$$

Індуктивність двигуна можна визначити шляхом вимірювання реактивних опорів статора і ротору в номінальному режимі роботи:

$$L_k = \frac{x_k}{314}$$

$$L_k = \frac{0.13}{314} = 0.00041 \quad L_H = 0,41 \text{ мГн}$$

Ми вибираємо дросель з каталогу і записуємо відповідні дані в таблицю 3.2.

Таблиця 3.2 – Номінальні дані дроселя

Тип дроселя	Ном. напруга, В	Ном. фазний струм, А	Ном. інд. фази, мГн	Активний опір обм. мОм
РТСТ82-05У3	410	82	0,501	37

3.4 Вибір датчиків для системи управління ПЧ-АД

Датчики струму на основі ефекту Холла від Honeywell вирішують багато завдань в галузі силової електроніки. Вони використовуються для створення систем зворотного зв'язку в електроприводному обладнанні для керування та захисту, а також для виміру та контролю змінних струмів з високою точністю в широкому діапазоні.

Основні переваги датчиків струму на основі ефекту Холла від Honeywell включають відсутність втрат потужності, що вносяться в систему, та уникнення виділення тепла. Вони також володіють високою електричною ізоляцією та забезпечують широкий діапазон робочих частот.

					ОА.91.01.2097-С.000 ПЗ	Арк.
						69
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Однак, недоліком є необхідність зовнішнього джерела живлення для їх правильної роботи.

Honeywell виробляє датчики струму на основі відкритого типу ефекту Холла. Ці датчики призначені для безконтактного виміру змінного струму в широкому діапазоні від ± 57 до ± 950 А. На рисунку 3.6 показана структура цих пристроїв.



Рисунок 3.6 – структура датчика струму на ефекті Холла відкритого типу

Датчики струму відкритого типу від Honeywell (показані на рисунку 3.7) будуються на основі інтегрованих лінійних датчиків Холла моделі 91SS12-2. Ці датчики відрізняються підвищеною температурною стабільністю та лінійністю характеристик.

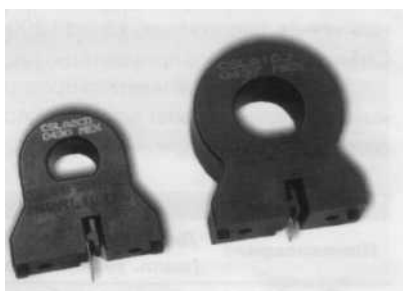


Рисунок 3.7 - Зовнішній вигляд датчиків струму відкритого типу

Датчики мають аналоговий вихід, де напруга на ньому прямо пропорційна величині струму, який протікає через контрольований провідник. При нульовому струмі на виході датчика спостерігається напруга зсуву, яка рівна половині напруги джерела живлення. Розмах вихідної напруги, а також чутливість датчика, лінійно залежать від напруги джерела живлення. Вихідна напруга пропорційна величині струму і знаходиться в діапазоні від $0.25U$ до $0.75U$, де U - напруга джерела живлення.

Для додаткового регулювання чутливості використовується збільшення кількості витків провідника, який проходить через кільце магнітопроводу

					ОА.91.01.2097-С.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		70

датчика. Датчики, які базуються на сенсорі 91SS12, мають двокаскадну схему з використанням р-п-р-транзистора з відкритим колектором.

3.5 Моделювання динамічних режимів частотно-регульованого електроприводу

Рисунок 3.8 - Simulink-модель ПЧ-АД з ПІД регулятором.

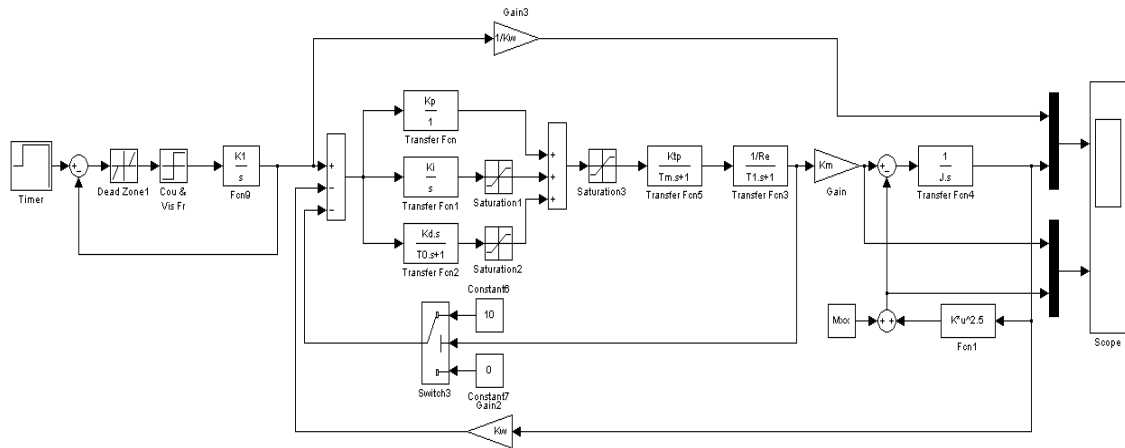


Рисунок 3.8 - Simulink-модель ПЧ-АД з ПІД регулятором

Системі надходить вхідний сигнал із задатчика інтенсивності (ЗІ), який знаходиться в Subsystem-блоці, його структуру можна побачити на рисунку 3.9.

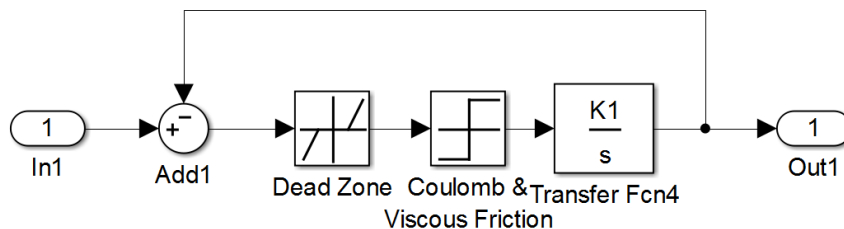


Рисунок 3.9 - Схема датчика інтенсивності реалізована у середовищі MATLAB

У таблиці 4.1 містяться позначення основних компонентів схеми.

Позначення	Призначення
$U_{1m} = 10.1 \text{ В}; K_1 = \frac{\varepsilon_{max}}{\omega_{max}};$ $\varepsilon_{max} = \frac{(0,8 \dots 0,91)M_{max} - M_c}{J};$	Задатчик інтенсивності
$k_c = \frac{U_{oc.max}}{I_{d.max}}; I_{d.max} = \frac{M_{max}}{k_m}$	Коефіцієнт передачі за струмом
$W_{pc}(p) = \frac{T_1 \cdot p + 1}{T_2 \cdot p}; T_1 = T_e;$ $T_2 = \frac{a_c \cdot T_\mu \cdot K_{тп} \cdot K_c}{R_e}$	Передатна функція регулятора струму
$W_{рш}(p) = \frac{T_3 \cdot p + 1}{T_4 \cdot p}$ $T_3 = a_c \cdot a_{ш} \cdot b_{ш} \cdot T_\mu; T_4 = \frac{T_3}{K_{рш}}$ $K_{рш} = \frac{K_c \cdot J}{a_c \cdot a_{ш} \cdot T_\mu \cdot C_d \cdot K_c}$	Передатна функція регулятора швидкості
1/K _S , 0,021	Масштабний коефіцієнт

3.5.1 Розрахунок параметрів частотно-регульованого електропривода для моделювання

Використовується тихохідний асинхронний двигун ПЭДВ32-180 для моделювання. Вхідні дані для цього моделювання наведені в таблиці 4.2.

Таблиця 3.3 – Вхідні дані для моделювання

$P_{ном}$	$U_{ном}$	$I_{ном}$	$n_{ном}$	n_0	R_1	X_1	R'_2	R'_1	λ	$J_{дв}$
кВт	В	А	об/хв	об/хв	Ом	Ом	Ом	Ом	-	кг·м ²
5,2	380	8,2	97	110	0,061	0,072	0,041	0,121	2,5	0,05

Регулятор, який використовує пропорційну, інтегральну та диференціальну дію, називається регулятором пропорційно-інтегруючо-диференціюючим (PID-регулятором).

Сумарний активний опір двигуна:

$$R_{дв} = R_1 + R'_2 = 0,061 + 0,041 = 0,11 \text{ Ом}$$

					ОА.91.01.2097-С.000 ПЗ					Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата						72

де R_1 – активний опір обмотки статора двигуна, R'_2 – приведений активний опір обмотки ротора двигуна.

Сумарний реактивний опір двигуна:

$$X_{дв} = X_1 + X'_2 = 0,072 + 0,121 = 0,19 \text{ Ом.}$$

де X_1 – реактивний опір обмотки статора двигуна, X'_2 – приведений реактивний опір обмотки ротора двигуна.

Еквівалентний опір двигуна:

$$R_{екв} = 2 \cdot R_{дв} + \frac{3}{\pi} \cdot X_{дв} = 21 \cdot 0,1 + \frac{3}{\pi} \cdot 0,19 = 0,4 \text{ Ом.}$$

Індуктивність обмотки статора двигуна визначається з формули:

$$L_1 = \frac{X_1}{2\pi f_{ном}} = \frac{0,072}{2 \cdot \pi \cdot 50} = 0,23 \text{ мГн.}$$

Приведена індуктивність обмотки ротора двигуна визначається з формули:

$$L'_2 = \frac{X'_2}{2\pi f_{ном}} = \frac{0,121}{2 \cdot \pi \cdot 50} = 0,45 \text{ мГн.}$$

Сумарна індуктивність двигуна:

$$L_{дв} = L_1 + L'_2 = 0,23 + 0,45 = 0,68 \text{ мГн.}$$

Еквівалентна індуктивність двигуна:

$$L_e = 2 \cdot L_{дв} = 2 \cdot 0,68 = 1,34 \text{ мГн.}$$

Еквівалентна стала часу:

$$T_e = \frac{L_e}{R_e} = \frac{0,00134}{0,37} = 0,0035 \text{ с.}$$

3.5.2 Розрахункові параметри двигуна:

Номінальна кутова швидкість обертання двигуна:

$$\omega_{ном} = 0,105 \cdot n_{ном} = 0,105 \cdot 97 = 10,1 \frac{\text{рад}}{\text{с}}.$$

Номінальний момент двигуна

$$M_{ном} = \frac{P_{ном}}{\omega_{ном}} = \frac{5200}{10,1} = 520,7 \text{ Н.}$$

$$\lambda = \frac{M_{max}}{M_{ном}} \rightarrow M_{max} = \lambda \cdot M_{ном} = 2,5 \cdot 520,7 = 1562,11 \text{ Н.}$$

					ОА.91.01.2097-С.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		73

де λ – перевантажувальна здатність двигуна.

Розрахуємо параметри структурної схеми і регулятора швидкості:

$$T_{\mu} = 0,01 \text{ с}$$

де T_{μ} – мала стала часу.

Конструктивний коефіцієнт двигуна:

$$C_{д} \approx k_{м} = \frac{E_{dmax}}{\omega_0} = \frac{378 \cdot 1,29}{10,35} = 46,56.$$

Коефіцієнт перетворювача частоти:

$$k_{пч} = \frac{U_{d.max}}{U_{k.max}} = \frac{k_{сх} \cdot U_{вх}}{10} = \frac{1,35 \cdot 380}{10} = 54,3$$

Максимальна кутова швидкість обертання двигуна

$$\omega_{max} = 0,105 \cdot n_0 = 0,105 \cdot 110 = 11,5 \frac{\text{рад}}{\text{с}}$$

Коефіцієнт зворотнього зв'язку за швидкістю:

$$k_{ш} = \frac{U_{ош.max}}{\omega_{max}} = \frac{10,54}{11,5} = 0,954.$$

$$I_{d.max} = \frac{M_{max}}{k_{м}} = \frac{1562,11}{46,56} = 34,21 \text{ А.}$$

Коефіцієнт зворотнього зв'язку за струмом:

$$k_{с} = \frac{U_{ос.max}}{I_{d.max}} = \frac{10,54}{34,21} = 0,35.$$

Коефіцієнт регулятора швидкості:

$$k_{рш} = \frac{J \cdot k_{с}}{a_{ш} \cdot a_{с} \cdot T_{с} \cdot k_{м} \cdot k_{ш}} = \frac{10,2 \cdot 0,41}{a_{ш} \cdot a_{с} \cdot 0,01 \cdot 46,56 \cdot 0,954} = 2,43$$

Передатна функція регулятора струму.

$$W_{рс}(p) = \frac{T_1 \cdot p + 1}{T_2}$$

Параметри регулятора струму T_1, T_2 :

$$T_1 = T_e = 0,003 \text{ с.}$$

$$T_2 = \frac{a_{с} \cdot T_{\mu} \cdot k_{пч} \cdot k_{с}}{R_e} = \frac{a_{с} \cdot 0,01 \cdot 54,3 \cdot 0,41}{0,347} = 1,134 \text{ с.}$$

Передатна функція регулятора швидкості.

					ОА.91.01.2097-С.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		74

$$W_{рш}(p) = \frac{T_3 \cdot p + 1}{T_4 \cdot p};$$

Параметри регулятора швидкості T_3, T_4 :

$$T_3 = a_c \cdot a_{ш} \cdot b_{ш} \cdot T_{\mu} = 2.1 \cdot 2.2 \cdot 4.1 \cdot 0.01 = 0,21;;$$

$$T_4 = \frac{T_3}{K_{рш}} = \frac{0,21}{2,43} = 0,056.$$

3.5.3 Моделювання системи ПЧ-АД за допомогою пакету Matlab

Для моделювання системи привода з постійним струмом (ПЧ-АД) та використання ПД (пропорційно-інтегрально-диференційного) регулятора для керування швидкістю, можна скористатися пакетом Matlab.

Результати моделювання на рисунку 3.10 при $M=0$ та рисунку 3.11 при $M=200$.

Рисунок 2.10 – Моделювання при $M=0$

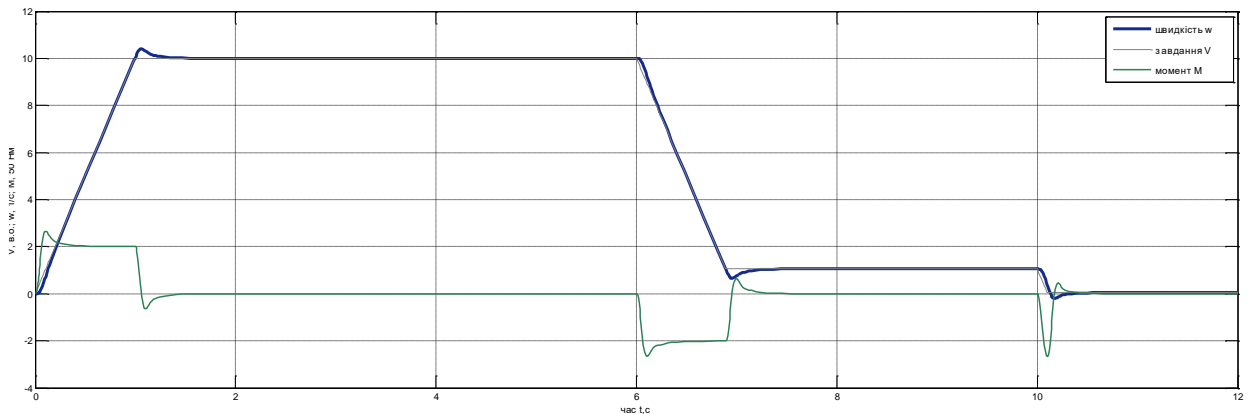
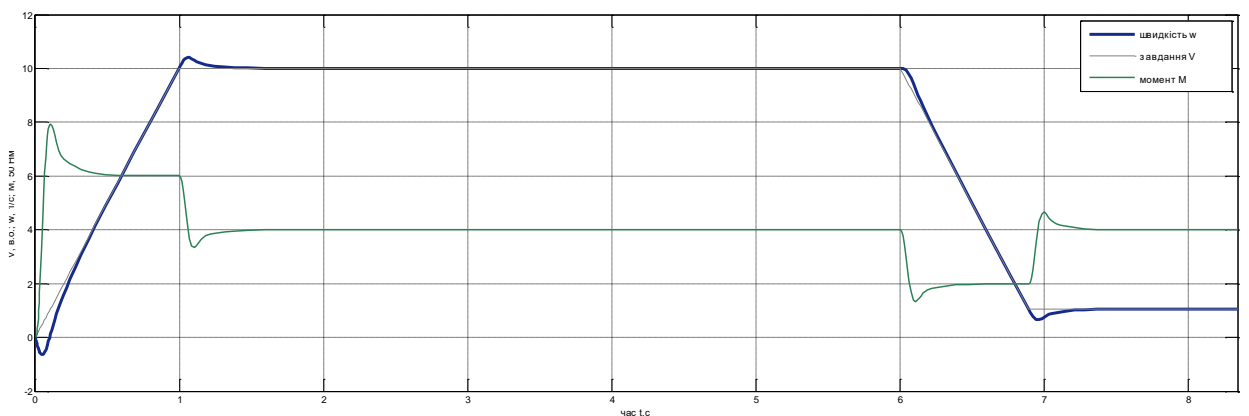


Рисунок 2.11 – Моделювання при $M=200$



Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата

4. Автоматизація

4.1 автоматизація системи керування міським водопостачанням

Впровадження системи керування міським водопостачанням приводить до наступних переваг: зниження споживання електроенергії на 10-15%, зменшення втрат, пов'язаних з аваріями, швидка реакція на різкі зміни водоспоживання, зменшення витрат на обслуговування. Автоматизація процесу постачання води сприяє згладженню перехідних процесів і підвищує час роботи обладнання. На насосних станціях усі операції, пов'язані з пуском, зупинкою та контролем насосного устаткування, виконуються автоматично в заданій послідовності без участі людини.

Основними параметрами, які контролюються та регулюються на насосній станції, є наступні:

- Тиск води у напірних водоводах, який знаходиться в діапазоні від 0 до 1 Мпа.
- Витрата води у напірних водоводах.
- Витрата води у водоводах зі знесмоктувальними пристроями.
- Рівень води на підлозі машинного залу насосної станції.
- Температура підшипників насосних агрегатів, яка не повинна перевищувати 60 градусів Цельсія.

У схемі автоматизації насосної станції додатково передбачена світлова сигналізація, яка вказує на наступні аварійні ситуації:

- Аварійний рівень води у машинному залі.
- Перевищення допустимої температури підшипників на всіх насосних агрегатах.

					ОА.91.01.2097-С.000 ПЗ		
Змн.	Арк.	№ докum.	Підпис	Латя	Автоматизація		
Розробив		Головащенко В.С.					
Перевірив		Прядко С.Л.					
Репензент.							
Н. Контр.		Кулаковський Л.Я.					
Затверд.		Бойченко С.В.			Літ.	Арк.	Аркушів
						76	
						КПШ ім. Ігоря Сікорського Каф. АЕМК, гр. ОА-91	

Ця світлова сигналізація виконує функцію сповіщення про негативні становища та надає операторам інформацію про виникнення аварій, щоб вжити необхідних заходів для їх усунення.

4.2 Автоматизація станції на об'єктах керування ЖКГ

У зв'язку з актуальністю використання енергозберігаючих технологій в промисловості та житлово-комунальному господарстві, багато компаній активно займаються розробкою та випуском автоматизованих станцій керування групами насосних агрегатів. Ці станції забезпечують повну автоматизацію роботи насосних агрегатів, які використовуються в системах водовідведення, та мають потужність від 2.2 кВт до 315 кВт.

Також розробляються автоматизовані системи керування (АСУ), які використовуються для керування різними процесами. Ці системи будуються як відкриті системи, що дозволяють розширення функціональності та модернізацію окремих елементів системи під час експлуатації.

Для моніторингу та керування технологічним процесом доступні два варіанти: використання панелі керування оператором або автоматизованого робочого місця оператора (АРМ). Для створення SCADA-системи, яка забезпечує збір, відображення та аналіз даних, можна використовувати інструментальне програмне забезпечення під назвою Vijeo Look, Monitor Pro. Ця програма надає можливість ефективного контролю та управління технологічним процесом, а також зручний інтерфейс для операторів.

Для забезпечення зв'язку між контролером та автоматизованим робочим місцем оператора (АРМ) використовується високошвидкісний протокол Internet. Це дозволяє передавати дані між ними з високою швидкістю та надійністю. У випадку, коли насосна станція знаходиться на значній відстані від диспетчерського пункту, можна використовувати альтернативні засоби зв'язку. Наприклад, зв'язок може бути здійснений через виділену телефонну лінію, яка комутується або через радіоканал. Це дозволяє забезпечити зв'язок навіть у віддалених місцях, де доступ до стандартного Інтернету може бути обмежений або недоступний.

					ОА.91.01.2097-С.000 ПЗ	Арк.
						77
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

4.3 Методи та схеми телевимірювання

Телевимірювальна система включає в себе комплекс технічних засобів, необхідних для здійснення вимірювань за допомогою телевізійної технології. Основним принципом телевимірювання є передача результатів вимірювання на відстань за допомогою структурної схеми, яка показана на рисунку 4.1. У початковому пункті вимірювання контрольованої величини X здійснюється за допомогою датчика 1, який перетворює її на пропорційну величину Y_1 .

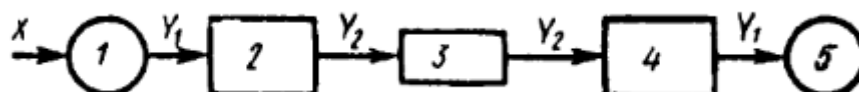


Рисунок 4.1 - Функціональна схема телевимірювання

Передавальний пристрій 2 виконує передачу допоміжної величини через зв'язковий канал 3 до приймального пристрою 4. У приймальному пристрої допоміжна величина Y_2 піддається перетворенню і подається на реєструючий прилад 5.

Існує кілька методів модуляції сигналів електричного струму для збільшення кількості передаваних сигналів. На рисунку 4.2 представлені основні способи модуляції сигналів телевимірювання. Вибір конкретного методу модуляції залежить від складності перетворення сигналу та умов передачі на відстань.

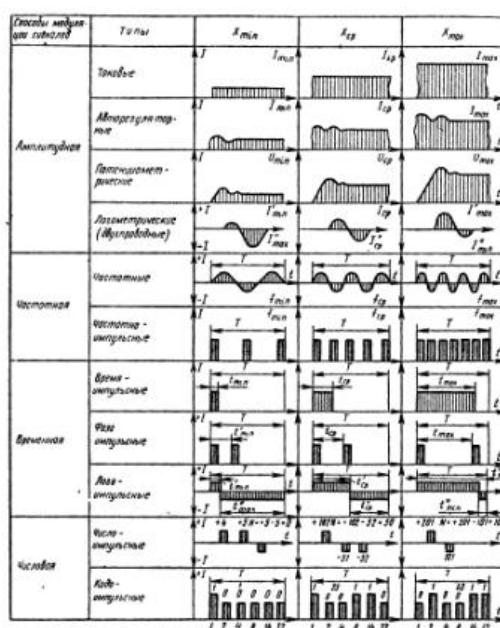


Рисунок 4.2- Діаграма видів модуляції телевимірювання

Шляхом модуляції можна створювати сигнали, в яких передача інформації здійснюється за допомогою різних імпульсних характеристик струму.

4.4 Загальні відомості про призначення ШАСУ

Автоматизована шафа керування (ШАСУ) насосної станції виконує функцію безпосереднього керування обладнанням для водопостачання насосної станції в різних режимах: ручному, автоматичному та змішаному. Вона може працювати самостійно або в складі системи автоматичного керування насосними станціями (АСУ-НС) і забезпечує віддалений контроль і координацію роботи групи насосних станцій в системі водопостачання. Завдяки ШАСУ можливо забезпечити автоматичний режим роботи насосних станцій без необхідності постійно присутнього обслуговуючого персоналу.

ШАСУ для насосної станції забезпечує широкий спектр функцій і можливостей, включаючи:

- Управління трьома або двома насосами, приводом засувки магістралі та електрокалорифером.
- Вимірювання тиску води на виході та вході насосної станції, температури в павільйоні та струму двигуна для кожного насосу.
- Контроль накервованості фаз мережі, наявності напруги на ШАСУ, стану механізмів управління, а також сигналів аварії, стану приводу засувки магістралі та датчиків тиску, затоплення, пожежі та охоронної сигналізації.
- Установка параметрів технологічного процесу, регулювання і аварійних зупинок.
- Безперервний контроль стану устаткування та датчиків, реагування на аварійні ситуації, включаючи відключення несправного устаткування, звукову сигналізацію та передачу аварійних повідомлень.
- Налаштування режимів роботи та діагностування устаткування насосної станції з пульта управління ШАСУ.
- Ручне управління механізмами з пульта ШАСУ з можливістю комбінування автоматичного та ручного управління.

					ОА.91.01.2097-С.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		79

- Світлову індикацію стану устаткування на передній панелі шафи управління.

- Включення та відключення режиму автоматичної постановки на охорону.

ШАСУ надає повний контроль та управління процесом роботи насосної станції з можливістю дистанційного керування та моніторингу.

4.4.1 Принцип дії ШАСУ

Принцип роботи шафи управління насосною станцією пояснюється функціональною схемою, яка представлена на рисунку 4.8.

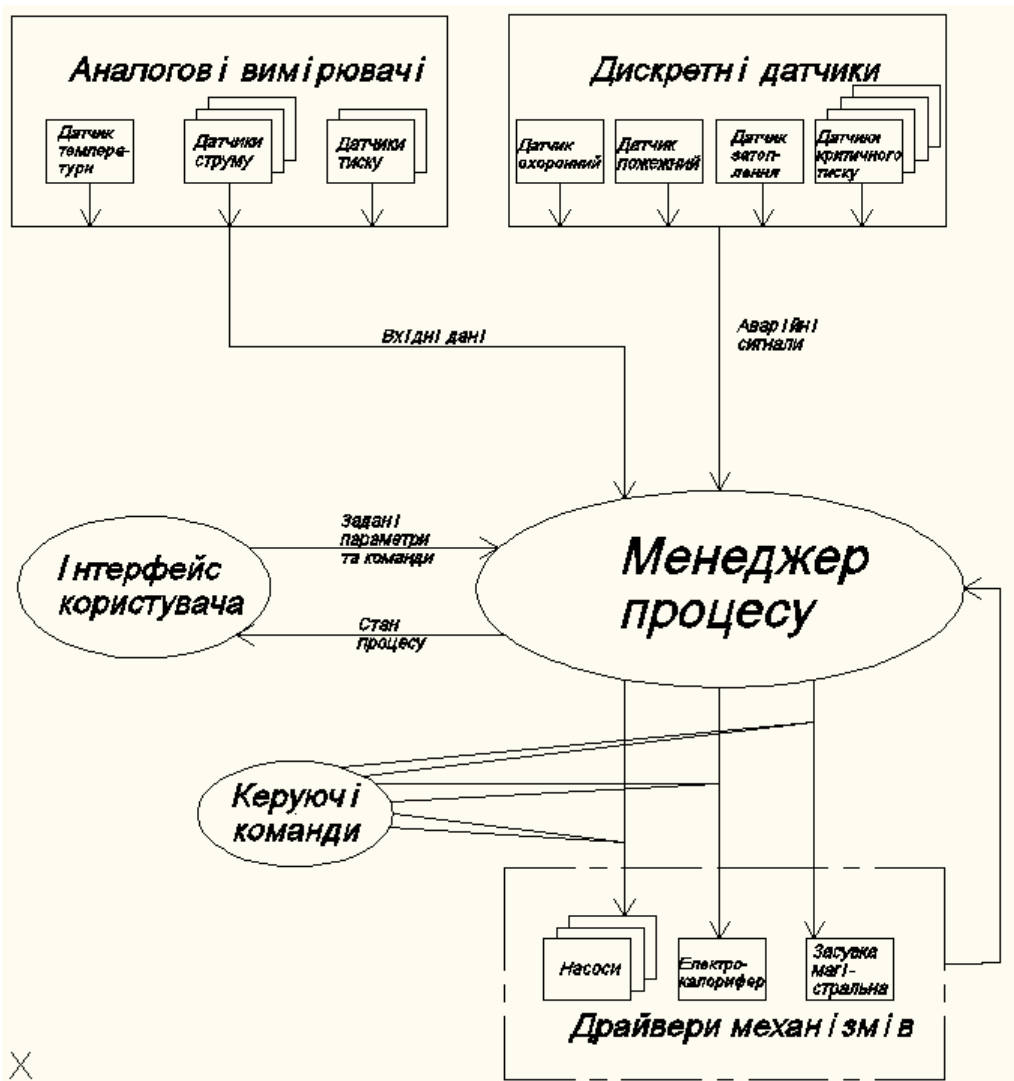


Рисунок 4.8- Алгоритм управління.

Рисунок 4.9 відображає можливі стани та переходи менеджера процесу.

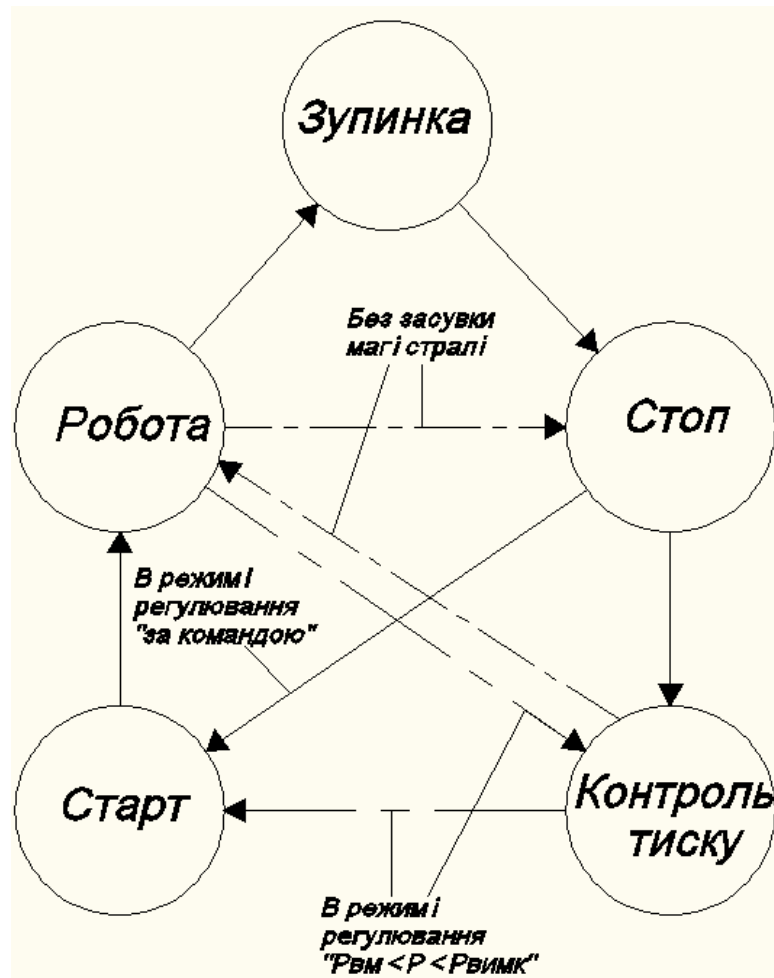


Рисунок 4.8- Стан менеджера процесу

У разі виникнення аварійної ситуації, ШАСУ визначає тип аварії і вживає відповідних заходів залежно від серйозності аварії та технологічних налаштувань щодо реакції на такий тип аварії. У випадку серйозної аварії (яка може вплинути на коректну роботу системи), всі механізми вимикаються, подальше їх включення блокується, індикатор "АВАРІЯ" активується, включається звуковий сигнал, і надсилається аварійне повідомлення на центральний пункт. Вихід із стану "АВАРІЯ" можливий лише після усунення несправності і ручного скидання стану аварії.

Перехід ШАСУ з одного статичного стану в інший здійснюється з дотриманням певної технологічної послідовності і займає певний час. Перехідний стан процесу відображається шляхом послідовного мигання індикаторів "ПУСК" і "СТОП".

5. Охорона праці та пожежна безпека під час експлуатації автоматизованої системи водопостачання

5.1 Загальна характеристика об'єкта

Приміщення, що обране для розташування шафи керування системою автоматизації С.М.Т. Калинівка розташоване в адміністративній будівлі, детальні характеристики обраного приміщення, перелік устаткування та технічні характеристики наведені в таблиці 5.1 та таблиці 5.2 відповідно.

Таблиця 5.1 – Характеристики об'єкту

	Вид розміщення	Розміщення робочого місця	Категорія приміщення	Категорія з пожежної безпеки
Пункт автоматизованого керування	Внутрішня ЕУ	Окреме приміщення в будівлі (6*8*4) м	Приміщення з підвищеною небезпекою	Категорія Д

Таблиця 5.2 – Технічні характеристики ЕУ

Устаткування	Основні характеристики	Числове значення показника
Шафа автоматичного керування (Ш-1-400-6)	Напруга	400 В
	Клас захисту	IP 54
	Вага	50 кг
	Габаритні розміри	40*60*20 см

Обрана шафа автоматичного керування не потребує додаткової процедури збору на місці монтажу, поставляється в повністю укомплектованому стані. Доставку до місця монтажу виконує продавець

ОА.91.01.2097-С.000 ПЗ					
Змн.	Арк.	№ докum.	Підпис	Дата	
Розробив		Головащенко В.С.			
Перевірив		Прядко С.Л.			
Репензент.					
Н. Контр.		Кулаковський Л.Я.			
Затверд.		Бойченко С.В.			
Охорона праці			Літ.	Арк.	Аркушів
				83	
			КПІ ім. Ігоря Сікорського Каф. АЕМК, гр. ОА-91		

Дана шафа є внутрішнього розташування. Робоче місце відведене на її обслуговування 45 м².

Виходячи з замірів вологості, приміщення має малу вологість (40% - 60%). Підлога в даному приміщенні виконана з матеріалу, що не є провідником електроенергії. В приміщенні також наявна припливно-витяжна вентиляція. В приміщенні не має струмопровідного пилу та хімічних сполук в повітрі. Виходячи з цих даних можемо віднести наше приміщення до 1 категорії електробезпеки згідно правил улаштування електроустановок.

З метою запобігання травматизму, шафа автоматичного керування обладнена світловими показниками роботи, що свідчать про її знаходження під напругою, та світловими показниками, що сигналізують про несправність.

Додатково на шафі застосовано маркування (Ш-1-400-6), попереджувальне фарбування та встановлено замок на самій шафі та на вхідних дверях.

5.2 Перелік робіт та склад бригади

Для визначення кількості робітників для обслуговування шафи автоматичного керування скористаємося формулою:

$$Ч = СЧФ * КВ * КД \quad (5.1)$$

Де СЧ – сумарні річні трудовитрати, приймаємо СЧ=8000; Ф – річний фонд робочого часу в розрахунку на одного працівника, приймаємо Ф = 2000;

КД – коефіцієнт ведення технічної документації, приймаємо КД=1.3; КВ – коефіцієнт фонду робочого часу, приймаємо КВ=0.91 .

За формулою (5.1) отримаємо:

$$Ч = 8000 * 2000 * 0.91 * 1.3 = 5.7 \text{ (6 осіб)}$$

Кількість робітників, необхідних для виконання технічного обслуговування та ремонтів шафи автоматичного керування, визначається за формулою:

$$P = СРФ * КВ * ПН \quad (5.2)$$

					ОА.91.01.2097-С.000 ПЗ	Арк.
						84
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

де C_p – сумарні річні трудовитрати технічного обслуговування, приймаємо $C_p = 6000$; Φ – річний фонд робочого часу в розрахунку на одного працівника, годин, приймаємо $\Phi = 1000$; K_v – коефіцієнт використання фонду робочого часу, ($K_v = 0,91$); P_n – коефіцієнт планового росту продуктивності праці, ($P_n = 1,1$). [1.1]

За формулою (5.2) отримаємо:

$$Ч = 6000 \cdot 1000 \cdot 0,91 \cdot 1,1 = 5,9 \text{ (6 осіб)}$$

Кількість робітників, необхідних для виконання вимірювань параметрів роботи шафи автоматичного керування визначається за формулою:

$$V = C_v \cdot \Phi \cdot K_v \cdot P_n \quad (5.3)$$

де C_v – сумарні річні затрати праці на проведення вимірювань, приймаємо $C_v = 6000$; Φ – річний фонд робочого часу в розрахунку на одного працівника, годин, приймаємо $\Phi = 2000$; K_v – коефіцієнт використання фонду робочого часу, який враховує втрат різних причин ($K_v = 0,91$); P_n - коефіцієнт планового росту продуктивності праці, ($P_n = 1,1$).

За формулою (5.3) отримаємо:

$$V = 6000 \cdot 2000 \cdot 0,91 \cdot 1,1 = 2,9 \text{ (3 особи)}$$

Виходячи з результатів розрахунків, для нашої системи автоматизації потрібно:

- 6 осіб персоналу з групою з електробезпеки не менш як III, для періодичного обслуговування шафи автоматичного керування.
- 6 осіб персоналу з групою з електробезпеки не менш як III, для технічного обслуговування шафи автоматичного керування.
- 3 особи персоналу з групою з електробезпеки не менш як III, для виконання вимірювань параметрів роботи шафи автоматичного керування.

Всі роботи, що заплановані на об'єкті занесені до таблиці 5.3.

					ОА.91.01.2097-С.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		85

Таблиця 5.3 – Послідовність виконання робіт

Вид робіт	Спосіб доставки і розгрузки	Період виконання робіт і тривалість	Кількісний склад бригади	Група з електробезпеки
Монтаж шафи автоматичного керування	Доставка та розгрузка виконується постачальником	Липень, 2 робочих дня	4 особи	Не менш як IV
Обслуговування шафи автоматичного керування		Періодично протягом року	6 осіб	Не менш як III
Технічне обслуговування шафи автоматичного керування		Періодично протягом року	6 осіб	Не менш як III
Виконання вимірювань параметрів роботи шафи автоматичного керування		Періодично протягом року	3 особи	Не менш як III

Задля забезпечення зниження ризиків при виконанні монтажних робіт потрібно провести знеструмлення лінії живлення, та одягти засоби індивідуального захисту (захисні рукавиці, взуття на гумовій підшві).

Для забезпечення безпеки при виконанні планових робіт потрібно:

- Цільовий інструктаж з техніки безпеки по роботі з високовольтним обладнанням;
- Не допускаються до роботи працівники з недостатніми знаннями з техніки безпеки, працівники мають групу з енергобезпеки не менше III;
- Обов'язкове використання засобів індивідуального захисту;
- Забезпечити захист від ураження струмом шляхом підключення до захисного заземлення;

Для виконання захисного заземлення використовується п'ятижильний алюмінієвий кабель марки А-16, що підключений до загального заземлення повітряною лінією живлення. [розділ 2.4.3-2.4.4]

					ОА.91.01.2097-С.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		86

5.3 Аналіз умов праці на робочому місці працівників

Чинники та умови праці на робочих місцях працівників за результатами вимірів наведені в таблиці 5.4.

Таблиця 5.4 – Чинники умов праці та їх показники

Чинник	Основні характеристики	Числове значення показника
Параметри мікроклімату	Температура повітря	В холодну пору 22°C В жарку пору 24 °C
	Вологість	40%
Важкість праці	Переміщення вантажів	До 5 кг
	Робоче положення	Стоячи, сидячи
	Статичні та динамічні навантаження	141-175 Вт (121-150 ккал/год.)
	Категорія робіт	I категорія
Напруженість праці	Тривалість зосередженого спостереження	20% робочого часу
	Тривалість активних дій	70% часу
	Змінність	1 зміна, 3-4 години
	Напруженість зору	30% робочого часу
	Категорія	I категорія

Аналіз чинників умов праці був проведений на підставі експериментальних значень, вибір категорії робіт був виконаний на підставі санітарних норм мікроклімату виробничих приміщень.

Рівень освітлення в приміщенні задовольняє нормовані значення та складає 357.04лк.

5.4 Визначення та оцінка небезпечних та шкідливих чинників на робочому місці

Небезпечні та шкідливі чинники що виникають у ході виконання роботи, занесені до таблиці 5.5.

Таблиця 5.5 – Небезпечні та шкідливі чинники у ході виконання роботи

Небезпечні та шкідливі чинники	Фактичне значення	Допустиме значення
Електричного походження		
Напруга	400 В	6 В
Струм	70 А	0.6 мА

5.5 Вибір технічних засобів і заходів безпеки робіт в енергоустановках

Для запобігання ураженню електричним струмом під час прямого дотику потрібно впровадити такі заходи і способи захисту:

- Ізоляція струмопровідних частин;
- Розміщення основних апаратів в шафі з замком;
- Усі струмопровідні частини повинні бути пофарбовані в сигнальний колір;
- Недосяжність підвісу струмопровідних частин (мають бути прокладені на стелі приміщення);

Більш детальні дані наведені в таблиці 5.6.

Таблиця 5.6 – Технічні та організаційні заходи безпеки

Вид заходу	Найменування заходу	Опис, показники і характеристики
Технічні заходи з електробезпеки		
Ізоляція	Робоча струмопровідних частин	Полівінілхлорид. R= 1015 Ом, tgδ = 0,02
Огороджувальний засіб	Розміщення основних апаратів в шафі з замком	Металева 40*60*20 см
Заземлення	Захисне заземлення	Захист спрацьовує при 16А
Організаційні заходи з техніки безпеки		
Категорія робіт щодо заходів безпеки	Робота без напруги	Наряд-допуск на 10 робочих днів

5.6 Вибір засобів індивідуального захисту для обмеження впливу небезпечних та шкідливих чинників

Перелік засобів індивідуального захисту наведено в таблиці 5.7.

Таблиця 5.7 – Перелік засобів індивідуального захисту

Вид ЗІЗ	Призначення	Матеріал	Гарантійний термін використання	Технічні характеристики
Захисне взуття	Захист від ураження струмом	ПВХ	1 рік	Під час виконання робіт з шафою автоматичного керування
Захист рук	Захист від ураження струмом	ПВХ	1.5 рік	Під час виконання робіт з шафою автоматичного керування

5.7 Заходи пожежної безпеки

Перелік заходів та засобів з пожежної безпеки наведено в таблиці 5.8.

Таблиця 5.8 - Перелік заходів та засобів з пожежної безпеки

Група заходів	Технічні характеристики	Критерії вибору
Технічні		
Вуглекислотний вогнегасник ВВК-5	Пересувний, тривалість дії – 8 с	У приміщенні, розміщено безпосередньо в кімнаті управління
ЗІЗ		
Протигаз	М98 «Scott» з фільтром ХС від монооксиду вуглецю.	Температура зберігання – від 30 °С до 170 °С. Термін зберігання – 15 років

Висновок

Під час виконання розділу, було визначено головну небезпеку при роботі на робочому місці, а саме ураження струмом. Запропоновано наступні рішення:

- Ізоляція струмопровідних частин;
- Розміщення основних апаратів в шафі з замком;
- Усі струмопровідні частини повинні бути пофарбовані в сигнальний колір;
- Недосяжність підвісу струмопровідних частин (мають бути прокладені на стелі приміщення);
- Захисне заземлення;
- Робота без напруги;

					ОА.91.01.2097-С.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		89

Визначено перелік робіт на об'єкті, та розраховано необхідну кількість працівників.

Запропоновано перелік ЗІЗ для обмеження впливу небезпечних та шкідливих чинників.

Запропоновані заходи пожежної безпеки.

					ОА.91.01.2097-С.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		90

Висновки

В дипломному проєкті розглядалася система автоматизованого водопостачання селища міського типу.

На основі розрахунків площі СМТ та населення, було визначено витрату води, та запропоновано систему водопроводу та фільтрації води.

Обрано насос та електропривід для автоматизованої насосної станції.

Розглянуто принцип автоматизації на основі ШАСУ, та виконано розрахунки по охороні праці та пожежній безпеці.

Запропоновано всі потрібні заходи безпеки.

					ОА.91.01.2097-С.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		91

Список використаної літератури

1. МЕЙТА, Олександр В., et al. Електропостачання промислових підприємств. 2014.
2. МЕЙТА, Олександр Вячеславович; ОСАДЧУК, Микола Павлович. Релейний захист та автоматизація енергосистем. Лабораторний практикум. 2022
3. ДСН 3.3.6.042-99. Державні санітарні норми мікроклімату виробничих приміщень. Вид. офіц. Київ: Держстандарт України, 1999. 56 с
4. ДБН В.2.5-28-2006. Державні будівельні норми. Природне і штучне освітлення. Вид. офіц. Київ: Держстандарт України, 2006. 67 с.
5. ДБН В.1.2-7-2008. Основні вимоги до будівель і споруд. Пожежна безпека. Вид. офіц. Київ: Держстандарт України, 2008, 25 с
6. Obidovich, Sulstonov Akmal. "The use of Modern Automated Information Systems as the Most Important Mechanism for the use of Water Resources in the Region." *Test Engineering and Management* 83 (2020): 1897-1901.
7. Senevirathna, S. T. M. L. D., Shahid Ramzan, and Jim Morgan. "A sustainable and fully automated process to treat stored rainwater to meet drinking water quality guidelines." *Process Safety and Environmental Protection* 130 (2019): 190-196.
8. Kularbphetong, Kunyanuth, Udomlux Ampant, and Nutthaphol Kongrodj. "An automated hydroponics system based on mobile application." *International Journal of Information and Education Technology* 9.8 (2019): 548-552.
9. Bei, Er, et al. "A tale of two water supplies in China: finding practical solutions to urban and rural water supply problems." *Accounts of chemical research* 52.4 (2019): 867-875.
10. Alghamdi, Abdulsalam S., et al. "Dust removal from solar PV modules by automated cleaning systems." *Energies* 12.15 (2019): 2923.

					ОА.91.01.2097-С.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		92

11. Лисак, Дмитрій Юрійович. *Автоматизація міської системи водопостачання і водовідведення*. MS thesis. КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2019.
12. Марченко, Костянтин Олександрович. *Електромеханічне обладнання та автоматизація системи водопостачання адміністративної будівлі*. BS thesis. КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2021.
13. Moshnoriz, M. M., and A. S. Gorban. "Автоматизація процедури енергоаудиту системи водопостачання." *Electrical Engineering and Power Engineering* 1 (2019): 52-60.
14. Селезньова, Ольга Олександрівна, Н. Ю. Ширяєва, and А. Ю. Стренковська. "Стратегічні орієнтири управління підприємствами водопостачання і водовідведення." (2019).
15. Пасічник, Я. С. "Моніторинг та автоматизоване регулювання тиску води в лабораторному стенді для дослідження систем водопостачання." (2020).

					ОА.91.01.2097-С.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		93