

**МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ**  
**Чорноморський національний університет імені Петра Могили**  
**Факультет комп'ютерних наук**  
**Кафедра автоматизації та комп'ютерно-інтегрованих технологій**

**ДОПУЩЕНО ДО ЗАХИСТУ**  
В. о. завідувача кафедри АКІТ,  
кандидат технічних наук, доцент

\_\_\_\_\_ М. І. Сіделєв  
“ \_\_\_\_ ” \_\_\_\_\_ 2024 р.

**МАГІСТЕРСЬКА НАУКОВА РОБОТА**  
на тему: «Система моніторингу та керування насосною станцією  
водяного каналу»

**Пояснювальна записка**

Спеціальність 151 «Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології»

151 – МНР – 671.

Студент \_\_\_\_\_ Мальцев Є.Є.

Керівник \_\_\_\_\_ Сіделєв М. І.

Консультант \_\_\_\_\_ Григор'єва Л.І.  
18.06.2024

Миколаїв – 2024

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ  
Чорноморський національний університет ім. Петра Могили  
( повне найменування вищого навчального закладу )

Інститут, факультет, відділення  
Кафедра, циклова комісія  
Освітньо-кваліфікаційний рівень

Комп'ютерних наук  
Автоматизація та КІТ  
Магістр

Напрямок підготовки 151 «Автоматизація та приладобудування»  
(шифр і назва)

Спеціальність 151 «Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології»  
(шифр і назва)

**ЗАТВЕРДЖУЮ**

**В.о.завідувач кафедри, голова циклової комісії**

Сіделев М.І. \_\_\_\_\_  
“ \_\_\_\_ ” \_\_\_\_\_ 2023 року

**З А В Д А Н Н Я**  
**НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ БАКАЛАВРА**

Мальцев Євген Євгенович

\_\_\_\_\_  
(прізвище, ім'я, по-батькові)

1. Тема проекту (роботи)

Система моніторингу та керування насосною станцією водяного каналу  
керівник проекту (роботи) канд.техн.наук, доцент Сіделев Микола Іванович,  
затверджені наказом вищого навчального закладу від “ \_\_\_\_ ” \_\_\_\_\_ 2023 року  
№ \_\_\_\_\_

2. Строк подання студентом проекту (роботи) 17.06. 2024

3. Вихідні дані до проекту (роботи)

Розроблено систему моніторингу та керування насосною станцією водяного  
каналу за рахунок керування віддаленими насосами впровадження  
SCADA-систем. Така система допоможе здійснювати запуск, контроль та  
зупинку обладнання увіддаленому режимі

4. Зміст розрахунково-пояснювальної записки (перелік питань, які потрібно розробити)

провести аналіз технологічних процесів на насосних станціях; розглянути

загальні класифікації насосів, описати загальну роботу насосних агрегатів;  
визначити основні способи регулювання режимів роботи насосних установок;  
сформулювати вимоги до електроприводу та системи керування технологічними  
об'єктами; скласти загальну модель запропонованої насосної установки;  
здійснити розробку системи моніторингу та керування насосною станцією.

5. Перелік графічного матеріалу (з точним зазначенням обов'язкових креслень)

Структурно-логічна схема програмованого контролера; Принципова схема насосної станції другого підйому; Структурна схема алгоритму частотного керування; Структурна схема насосної установки; Блок-схема керування двигунами

6. Консультанти розділів проекту (роботи)

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	завдання прийняв
1	Сіделєв М.І., доцент кафедри АКІТ	12.10.2023	
2	Сіделєв М.І., доцент кафедри АКІТ	03.01.2024	
3	Сіделєв М.І., доцент кафедри АКІТ	03.04.2024	
4	Григор'єва Л.І., професор кафедри екології	19.04. 2024	

7. Дата видачі завдання «12» жовтня 2023 р.

## КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва етапів дипломного проекту (роботи)	Строк виконання етапів проекту (роботи)	Примітка
1	Затвердження пропозицій теми від керівника	20.09.2023	
2	Обговорення із студентом затвердженої теми	01.10.2023	
3	Формування завдання	15.10.2023	
4	Визначення актуальності, об'єкту, предмету	01.11.2023	
5	Пошук літератури, патентний пошук, уточнення задач дослідження	15.11.2023	
6	Виконання першої частини	01.03.2024	
7	Аналіз керівником записки першої частини (ЕВ*), формування зауважень та пропозицій	10.03.2024	
8	Опрацювання другої частини	21.03.2024	
9	Робота над третьою частиною	01.04. 2024	
10	Робота над розділом з охорони праці	01.05. 2024	
11	Передзахисти	03.06. 2024	
12	Передача автореферату кваліфікаційної роботи в електронному вигляді	10.06. 2024	
13	Передача (ДВ) кваліфікаційної роботи	17.06. 2024	

\*ЕВ – електронний варіант, ДВ – друкований варіант.

Студент \_\_\_\_\_ Мальцев Є.Є.  
( підпис ) (прізвище та ініціали)

**Керівник проекту (роботи)**

\_\_\_\_\_ Сіделєв М.І.  
( підпис ) (прізвище та ініціали)

## АНОТАЦІЯ

магістерської роботи

«Система моніторингу та керування насосною станцією водяного каналу»

Студент: Мальцев Євген Євгенович

Керівник: канд.техн.наук, доцент Сіделєв М.І.

Магістерська робота спрямована на дослідження проектування автоматизованої системи моніторингу та керування насосною станцією водяного каналу. Розроблена система допоможе керувати виробництвом у віддаленому режимі. Розглянуто основні технологічні процеси на водних станціях. Проведено загальну класифікацію насосів, визначено їх основні недоліки та переваги. Практичне значення результатів дослідження та розроблення полягає у можливості їх впровадження в практику для запуску, контролю та зупинки обладнання у віддаленому режимі, а й застосування розробленого пристрою житлових комплексах (багатоповерхівках), торгових та бізнес центрах.

Пояснювальна записка магістерської роботи складається зі вступу, чотирьох розділів, висновків та одного додатку. У вступі визначається актуальність теми, сформульовані мета, об'єкт, предмет та завдання дослідження та розроблення. У першому розділі проводиться аналіз технологічних процесів на насосних станціях та розглядаються загальні класифікації насосів. У другому розділі здійснюється загальний опис роботи насосних агрегатів та визначаються основні способи регулювання режимів роботи насосних установок. Третій розділ містить у собі розробку моделі запропонованої насосної установки. Зібрано структурні схеми алгоритму частотного керування, структурна схема насосної установки та блок-схема керування двигунами. У висновках наведено аналіз виконаної роботи та отриманих результатів дослідження та розроблення.

В цілому, магістерська робота без додатків містить 76 сторінок, 29 рисунки, 2 таблиці, 14 джерел посилання.

Ключові слова: автоматизована система керування, автоматизована система моніторингу, насосна станція, SCADA-система.

## **ABSTRACT**

of the Master's Thesis

“Water canal pumping station monitoring and control system”

Student: Eugene Maltsev

Consultant: Candidate of Technical Sciences, Associate Professor Sidelev MI

The master's thesis is aimed at researching the design of an automated system for monitoring and control of the pumping station of the water channel. The developed system will help to manage production remotely. The main technological processes at water stations are considered. The general classification of pumps is carried out, their main shortcomings and advantages are defined. The practical significance of the results of research and development lies in the possibility of their implementation in practice for starting, monitoring and stopping equipment remotely, but also the use of the developed device in residential complexes (high-rise), shopping and business centers.

The professional section includes of introduction, four chapters, conclusions and one appendix. The introduction determines the relevance of the topic, formulates the purpose, object, subject and objectives of research and development. The first section analyzes the technological processes at pumping stations and considers the general classifications of pumps. The second section provides a general description of the operation of pumping units and identifies the main ways to regulate the operation of pumping units. The third section includes the development of the model of the proposed pumping unit. The block diagrams of the frequency control algorithm, the block diagram of the pump set and the block diagram of the motor control are collected. The conclusions provide an analysis of the work performed and the results of research and development.

In general, Master's Thesis without the enclosures contains 76 pages, 29 pictures, 2 tables, 14 references.

Key words: automated control system, automated monitoring system, pumping station, SCADA system.

## ЗМІСТ

ЗМІСТ .....	2
ВСТУП.....	3
РОЗДІЛ 1. АНАЛІЗ ТЕХНОЛОГІЧНИХ ПРОЦЕСІВ НА НАСОСНИХ СТАНЦІЯХ	5
1.1 Опис роботи насосних агрегатів.....	10
1.2 Способи регулювання режимів роботи насосних установок .....	12
1.3 Формулювання вимог до електроприводу та системи керування технологічним об'єктом .....	16
Висновок до розділу .....	19
РОЗДІЛ 2. ПОСТАНОВКА ЗАДАЧІ ТА ВИЗНАЧЕННЯ ВИХІДНИХ ДАНИХ .....	20
2.1 Опис об'єкта для інсталяції системи керування .....	20
2.2 Вибір асинхронного двигуна .....	21
2.3 Розрахунок формальних даних двигуна .....	23
2.4 Розрахунок параметрів Т-подібної схеми заміщення .....	24
2.5 Частотне керування асинхронним двигуном .....	27
Висновок до розділу .....	35
РОЗДІЛ 3. ПРОЕКТУВАННЯ СИСТЕМИ КЕРУВАННЯ .....	36
3.1 Опис системи керування насосної станції.....	36
3.2 Вибір засобів керування системи .....	38
3.3 Розробка програми управління процес в середовищі TIA Portal .....	41
Висновок до розділу .....	52
РОЗДІЛ 4. ОХОРОНА ПРАЦІ ТА БЕЗПЕКА У НАДЗВИЧАЙНИХ СИТУАЦІЯХ .....	54
4.1 Оцінка умов праці на робочих місцях МОП «Мальцев» .....	54
4.1.1 Загальна характеристика офісного приміщення .....	54
4.1.2 Інтегральна оцінка умов праці в обраному виробничому приміщенні .....	56
4.1.3 Зменшення нервово-емоційного навантаження працівників.....	61
4.2 Забезпечення безпеки персоналу в умовах надзвичайної ситуації.....	63
4.2.1 Пожежна безпека .....	63
4.2.2 Електробезпека .....	65
4.2.3 Дії персоналу при загрозах, пов'язаних з воєнним станом.....	66
Висновки до розділу 4 .....	71
Література до розділу 4 .....	71
ВИСНОВКИ .....	73
ПЕРЕЛІК ДЖЕРЕЛ ПОСИЛАННЯ.....	75



## ВСТУП

В останній час людство зацікавлене в ефективному, а особливо в екологічному управлінні, через те, що більшість технологічних систем характеризується високим рівнем споживання невідновлюваної енергії. Велику частину загального споживання електричної енергії відносять до насосних установок. Для перекачування води на підприємствах виділяється 70% від загальних витрат на електричну енергію. В останні роки енергоефективність насосних систем надбала більшого значення, чим політичні та екологічні тиски щодо зменшення споживання енергії. Майже 20% світової енергії припадає на насосні установи, які використовуються електродвигунами, та приблизно 60% від загального споживання електричної енергії на інших об'єктах. Станції тепlopостачання також працюють за допомогою насосів, через них теплоносій циркулює між джерелом енергії та споживачами.

Насосна енергія - це одна з найбільших витрат у наш час і може перевищувати витрати життєвого циклу насоса, особливо якщо такі насоси працюють більше ніж 2000 год на рік. Використовуючи належне проектування та більш прискіпливий вибір насосних систем та пристроїв їх управління, можна значно зменшити цифри споживання електроенергії.

Потужні водяні насоси використовуються, наприклад, в системах водопостачання питної води для міст та великих підприємств. Особливістю їх використання є віддалена експлуатація, що потребує постійного контролю та втручання в логіку керування системою. На сучасному етапі розвитку виробничих підприємств активно розвивають комп'ютерно-інтегровані технології на основі SCADA-систем (Supervisory Control And Data Acquisition — диспетчерське управління і збір даних), що передбачають використання деякої кількості датчиків, системи віддаленої передачі даних та моніторингу і керування процесом виробництва.

Промислові насосні станції для води. Призначення промислових насосних станцій - перекачування рідин з одного місця в інше. Ці системи

комплектуються: насосами для перекачування води; трубопроводами з арматурою; автоматикою для оптимізації роботи і захисту обладнання; приладами для вимірювання і контролю параметрів.

Отже, *актуальність* даного дослідження полягає в проектуванні автоматизованої системи керування віддаленими насосами. Така система допоможе здійснювати запуск, контроль, зупинку обладнання. Допоможе автоматично реєструвати будь-які відхилення, збої, відмови в роботі техніки, буде створювати збір та аналіз даних. Розроблена система допоможе керувати виробництвом у віддаленому режимі. У зв'язку з тим, що довгий час в Україні управління технологічними процесами ґрунтувалося на досвіді персоналу підприємства, переклад на управління через SCADA-системи став здійснюватися набагато пізніше. Однак в даний час в Україні налічується безліч компаній, що займаються розробкою і впровадженням SCADA-систем.

Тому науково-практичне завдання, полягає в розробці автоматизованої системи керування віддаленими насосами.

*Метою* роботи є підвищення ефективності керування та моніторингу насосною станцією таким чином, щоб система у віддаленому режимі допомагала здійснювати запуск, контроль та зупинку обладнання.

*Об'єктом* дослідження є житловий будинок що потребує розробки комунікаційних систем, зокрема насосної станції.

*Завдання* для досягнення поставленої мети:

- проаналізувати сучасний стан проблеми автоматизації керування насосними станціями;
- дослідити існуючі методи та підходи створення SCADA-систем;
- провести детальний аналіз усіх необхідних складових для проектування автоматизованої системи керування;
- на основі адаптивного алгоритму виконати моделювання системи управління;
- створити систему збору параметрів, що допоможе реалізувати основні функції системи та організувати гнучкий доступ для управління.

## РОЗДІЛ 1. АНАЛІЗ ТЕХНОЛОГІЧНИХ ПРОЦЕСІВ НА НАСОСНИХ СТАНЦІЯХ

Насосні станції широко розповсюджені в різних промислових галузях, галузях енергетики, сільського господарства, комунальних підприємствах та ін. Важливе значення на сьогоднішній час має застосування насосних станцій, установок та безпосередньо насосів у системах водопостачання та каналізаціях, де вони є основною складовою. У системах водопостачання функція насоса - це забезпечення подачі води споживачам: багатоповерхівкам, житловим кварталам, промисловим підприємствам, тепловим електростанціям та ін.

Усі насоси можна класифікувати за різними принципами дії. Загальна класифікація насосів представлена на рис. 1.1.. Усі існуючі види насосів розділяють на два основні види: динамічні та об'ємні.

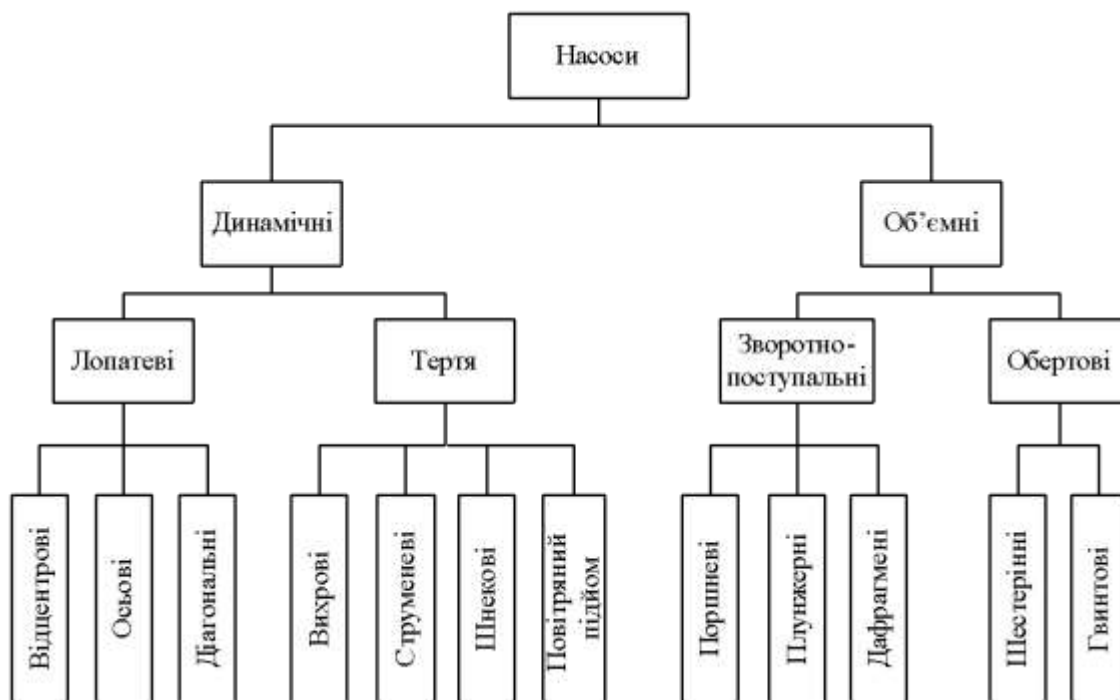


Рисунок 1.1 – Класифікація насосів за принципом дії

Принцип роботи динамічних насосів заключається у русі рідини під силовим впливом в камері постійного об'єму, що з'єднується з підвідним та відвідним пристроями. Динамічні насоси у свою чергу поділяються на лопатеві насоси та насоси тертя, це залежить від виду силового впливу на рідину.

Витіснення рідини з камери за рахунок зменшення її об'єму - це принцип роботи об'ємних насосів. Через зворотно-поступальний або обертальний рух робочого органу насоса відбувається періодичне зменшення об'єму камери.

Щоб запустити міське водопостачання, зазвичай використовується АД великої потужності, а напруга живлення більше 1000 В. Усі гранично допустимі моменти інерції, такі як: допустима кількість пусків на рік та за термін служби, припустиме зниження напруги живлення під час запуску, кількість послідовних запусків з різних станів, як холодного так і гарячого, можливість запуску двигунів під навантаженням та тривалість інтервалів між запусками - усе це, повинно бути встановлене у стандартах або технічних умовах до двигунів відповідних типів. Двигуни діаметр осердя статора яких складає більше 1 м а потужність складає більше 1000 кВт повинні мати вбудовані термоперетворювачі опору за ГОСТом 6651-84 для того, щоб здійснювався контроль теплового стану обмотки та осердя статора або відповідати технічним умовам на перетворювачі конкретних типів. Для кожного конкретного типу двигуна встановлюють у стандартах або технічних умовах усі необхідні умови та способи теплоконтролю інших двигунів. Для двигунів встановлюють наступні показники надійності: термін служби до капітального ремонту – 5 років; коефіцієнт готовності – не менше 0,99; повний термін служби – 20 років; середнє значення роботи двигуна до повної відмови – не менше 12000 год.

Програмовані контролери – це клас логічних пристроїв, що призначені для керування технологічним обладнанням дискретної дії. Такі контролери застосовують у різних галузях промисловості: верстатобудівна галузь, металургія, легка, хімічна та ін. Наприклад, для будь-якого металооброблювального обладнання встановлюється електроавтоматика, вона може поділятися на дві частини: силову та логічну. Силова частина відноситься безпосередньо на двигуні (верстаті) і в окремій секції електричної шафи. Логічна частина вміщує в себе електромеханічні реле або безконтактні елементи, котрі в подібних сучасних системах замінюються програмованими

контролерами. Логічна частина складає зазвичай біля 40% від усього об'єму електрообладнання.

Програмований обчислювальний контролер побудований за правилом керуючих цифрових обчислювальних машин. Але його відмінність від них полягає у вузькій спеціалізації та необхідності у спеціальному математичному забезпеченні. Зараз програмовані контролери досить не дорогі, малі за розмірами та споживають невелику потужність електроенергії завдяки застосуванню сучасної мікроелектронної елементної бази. Такі контролери дуже надійні, їх можна використовувати на великих підприємствах, де відносно важкі виробничі умови безпосередньо у об'єктах керування. Порівнюючи програмовані контролери зі схемами жорсткої логіки, вони мають більш розвинуті функціональні можливості, які забезпечують просту зміну алгоритму керування у випадку зміни технологічного процесу та суттєвим скороченням витрат на проектування нових систем керування різним технологічним обладнанням.

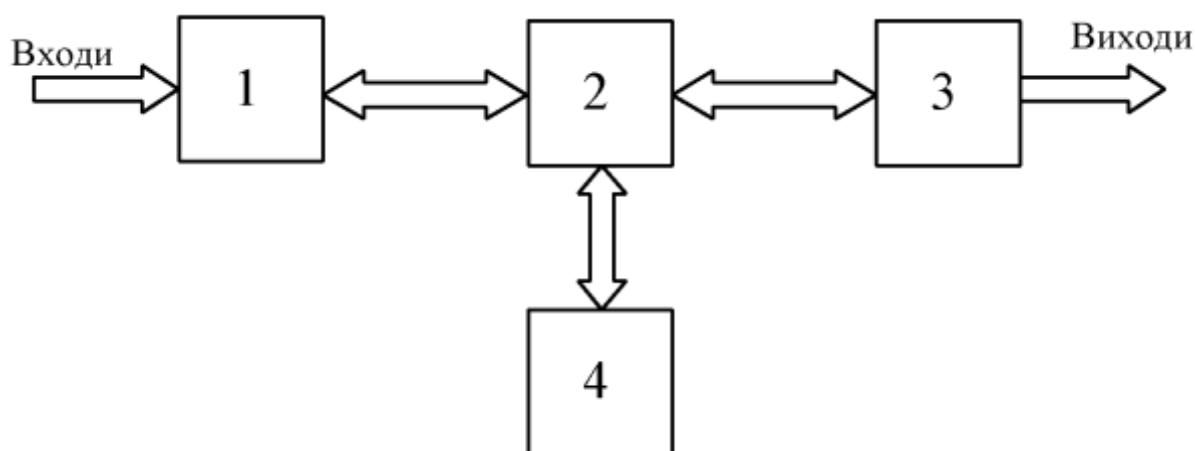


Рисунок 1.2. Спрощена структурно-логічна схема програмованого контролера

Аналізуючи структурно-логічну схему програмованого контролеру (рис. 1.2) можемо бачити, як вхідні сигнали від командних апаратів надходять до пристрою вводу 1, котрий призначений для гальванічного розв'язування та для узгодження рівнів напруги вхідних сигналів разом із рівнем сигналів контролера. Потім, центральний процесор 2 виконує дві головні функції – це логічні операції з сигналами, котрі надходять на вхід процесору 2, а також

керує роботою усіх вузлів контролера. Вид логічних операцій визначається за допомогою команд, що надходять із запам'ятовуючого пристрою 4. За цими командами, що надійшли із запам'ятовуючого пристрою передається результат виконання логічних операцій до пристрою виводу 3. Він підвищує потужність вихідних сигналів до рівня, який необхідний для керування виконавчими пристроями – електромагнітами, магнітними пускачами, контакторами, двигунами малої потужності та ін. Також, пристрій виводу 3 відповідає за гальванічне розв'язування. Після кожної закінченої операції процесор виробляє адресу наступного рядка програми, яка зберігається у запам'ятовуючому пристрої 4.

Під час заміни релейно-контактної схеми на програмований контролер, можна зручно користуватися вихідною релейно-контактною схемою, але безпосередньо використовувати релейно-контактну схему як програму для контролера не можна. Вихідну схему необхідно перетворити. А саме. для початку проаналізувати роботу схеми, щоб визначити вхідні, вихідні (виконавчі) та проміжні елементи. Вхідні елементи це ті, що подають зовнішні керуючі сигнали в функціональну частину схеми. Наприклад, це можуть бути кнопки керування, кінцеві вимикачі, різні датчики вхідної інформації та ін. Прикладами вихідних елементів можуть бути котушки контакторів, електромагніти, пристрої індикації та ін. Різні реле, що ввімкнені в кола проміжних та вихідних елементів, слугують проміжними елементами, вони призначені для логічної обробки інформації.

Контакти вхідних елементів прийнято позначати маленькими буквами латинського алфавіту ( $a, b, c \dots$ ), вихідні та проміжні елементи – головними буквами ( $X, Y, Z, \dots, P$ ), а їх контакти – відповідними початковими буквами.

Після визначення вхідних, вихідних та проміжних елементів та присвоєння їм позначень, наступним кроком складають алгебраїчні вирази, котрі описують роботу схеми. Важливо дотримуватися наступної послідовності дій:

1. скласти вираз для вихідних елементів;
2. скласти рівняння для проміжних елементів без зворотних зв'язків, тобто для елементів, що не мають своїх контактів в колах вмикання котушок; прикладом таких елементів можуть бути проміжні реле, що використовуються для збільшення навантажувальної здатності контактів вхідних елементів при необхідності або для збільшення кількості контактів;
3. скласти вирази для проміжних елементів із зворотними зв'язками;
4. у виразах, що були складені на кроках 1 та 3 замінити змінні, що відповідають проміжним елементам без зворотних зв'язків, їх можна взяти із раніше отриманих логічних виразів на 2 кроці;
5. мінімізувати (за можливості) отримані вирази для вихідних і проміжних елементів із зворотними зв'язками.

Потім після виконання усіх вищеперечислених операцій можна скласти релейну схему (програму LD), в якій використовуються відповідні умовні позначення для кожного контролера.

Методика складання логічних виразів для вихідних і проміжних елементів залежить від класу схеми. Існує два класи релейно-контактних схем – це поляризований (П) і нейтральний (Н). Схеми поляризованого класу містять лише послідовне та паралельне з'єднання контактів. Вони мають відповідну назву ≠ паралельно-послідовні структури.

Для такого класу схем найпростіше складати логічні вирази елементів. У цьому випадку послідовне з'єднання контактів подають у вигляді кон'юнкції змінних, паралельне – у вигляді диз'юнкції, замикаючі контакти замінюють змінною без інверсії, розмикаючі – змінною з інверсією.

Але якщо вихідний елемент знаходиться всередині схеми, а контактні кола являють собою схему класу Н, то задача перетворення релейно-контактної схеми значно ускладнюється.

### 1.1 Опис роботи насосних агрегатів

Насосні станції систем водопостачання та каналізації – це комплекс споруд та обладнання, що забезпечують водопостачання чи водовідвід за відповідними потребами споживача. Щоб створити правильну та надійну насосну станцію з усіма конструктивними особливостями, відповідним основним та допоміжним обладнанням, необхідно знати принципи комплексного використання водних ресурсів, враховувати охорону природи та призначення насосної станції щодо її технологічних вимог.

Виділяють чотири основні режими роботи насосних установок [4]:

- **Нерівномірний режим**, притаманний при роботі постійно увімкненого насоса до мережі без регулюючої ємності (резервуару) в системах із нерозподіленим у часі надходженням рідини. При нерівномірному режимі роботи насосної установки, робоча точка на характеристиці насоса може переміщатися від нульової подачі, до максимальної точки подачі насоса. Протягом певного часу в такому режимі роботи насос буде відповідати достатньо низьким значенням ККД.
- **Рівномірний режим** – це режим за якого відбувається нерівномірне споживання рідини в системі через встановлення регулюючої ємності, котра розрахована на отримання різниці подачі насосів та споживання чи надходження рідини в системі. Такий режим роботи насоса за умови наявності напірного бака, забезпечує ККД в оптимальному режимі.
- **Повторно-короткочасний режим** характеризується систематичним ввімкненням та вимкненням насоса з визначеною частотою, що залежить від ємності бака гідроакумулятора, подачі насоса та споживання (надходження) рідини у системі. При такому режимі, робота насоса відбувається зі змінною подачею протягом кожного циклу.



- **Змінний режим,** досягається завдяки зміні подачі насосу відповідно зі зміною споживання (надходження) рідини в системі. При такому режимі роботи показники насосної установки залежать від способу регулювання подачі насосу.

Насосні станції можна класифікувати наступним чином: за призначенням, за розташуванням машинного відділення відносно рівня землі, за ступенем автоматизації та ін.

В галузі водного господарства за призначенням розрізняють чотири основних групи насосних станцій: водопровідні, каналізаційні, іригаційні та дренажні. Водопровідні насосні станції призначені для роботи в системах водопостачання міст, населених пунктів та промислових підприємств. Каналізаційні насосні станції призначені для роботи в системах водовідведення міст і промислових підприємств. Іригаційні насосні станції призначені для подачі води в системи зрошення сільськогосподарських угідь. Дренажні насосні станції призначені для відкачування води в системах дренажу територій і промислових майданчиках.

В свою чергу водопровідні насосні станції в залежності від їх призначення в системі водопостачання розділяються на насосні станції першого та другого підйому, підвищувальні та циркуляційні. Насосні станції першого підйому призначені для подачі води від джерела водопостачання на очисні споруди або безпосередньо до мережі, резервуари або водонапірні башні. Насосні станції другого підйому призначені для подачі очищеної води з резервуарів до водоводів та розподільну мережу. Підвищувальні насосні станції призначені для підвищення напору в мережі окремих районів міста або на деяких участках водопроводу. Ці станції забирають воду з водоводів або розподільчої мережі. Циркуляційні насосні станції встановлюють в оборотних системах водопостачання промислових підприємств та теплових електростанцій. Як правило на таких станціях встановлюють дві групи насосів: перша подає воду на охолоджуючий пристрій, а друга забирає її з резервуару і подає в мережу.

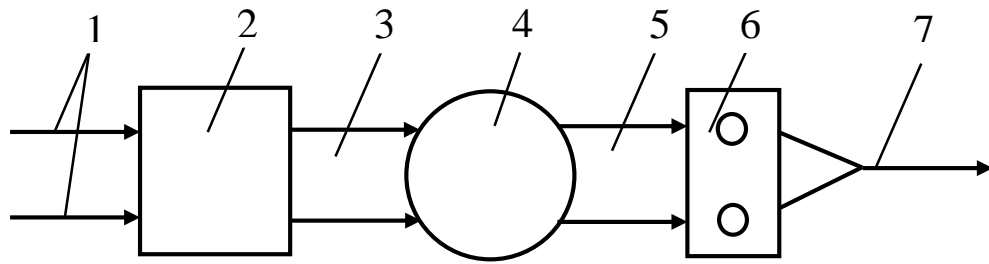


Рисунок 1.3 – Принципова схема насосної станції другого підйому

На рис. 1.3 показано схему розміщення очисних споруд комплексу з насосною станцією другого підйому, де 1 – напірні трубопроводи насосів першого підйому, 2 – очисна споруда, 3 – трубопровід від очисних споруд до резервуару чистої води, 4 – резервуар чистої води, 5 – всмоктуючі трубопроводи насосів другого підйому, 6 – насосна станція другого підйому, 7 – напірні трубопроводи насосів другого підйому.

Вода напірними трубопроводами насосної станції першого підйому подається на очисні споруди. Після них відфільтрована вода перетікає до резервуару чистої води, з якого вона забирається всмоктуючими трубопроводами насосів станції другого підйому і під напором подається до споживача.

## 1.2 Способи регулювання режимів роботи насосних установок

В разі доволі часті зміни режимів водопостачання доводиться оперативно регулювати режими роботи насосних установок. Таке регулювання може здійснюватися зміною кількості робочих агрегатів, зміною гідравлічної схеми насосної установки, дроселюванням напірних ліній, зміною частоти обертання робочих коліс всіх або окремих насосів, шляхом скидання частини води з напірних комунікацій до всмоктуючих.

Для можливості регулювання характеристики, насосні установки можуть включати в себе декілька насосних агрегатів, які з'єднуються паралельно або послідовно, або змішаним способом. За допомогою комбінації різних типів з'єднання декількох насосів і змінюючи число працюючих насосів можна змінювати сумарну напірну характеристику насосної установки. При виборі насоса чи групи насосів, які включаються в роботу, при даному способі

регулювання, необхідно враховувати значення та характер зміни подач, період роботи установки із заданою подачею та мінімальне число включень та виключень насосних агрегатів при цьому. Однак лише правильний підбір складу працюючих насосів не забезпечує мінімальну витрату електроенергії на перекачку рідини. При різнотипних насосних агрегатах слід, крім того, правильно розділити навантаження між ними та визначити межі їх найвигіднішого використання в усьому діапазоні зміни подач насосної станції. Даний метод регулювання має ступеневий характер зміни продуктивності і тому доцільний лише при тривалому характері зміни навантаження. Також ще одним з недоліків описаного способу керування характеристиками насосної станції є необхідність у приміщенні відносно великої площі для розміщення всіх насосних агрегатів. При визначенні кількості працюючих насосів для забезпечення потрібного значення продуктивності в кожену годину доби, запропоновано враховувати спожиту двигунами насосів електричну енергію, тривалість безперервної роботи агрегатів та кількість реалізованих їхніми двигунами прямих пусків. Це дає можливість зменшити споживання електричної енергії та продовжити термін роботи системи водопостачання за рахунок рівномірного розподілу між двигунами насосів ресурсу за тривалістю роботи та кількістю прямих пусків

Також одним з найбільш поширених методів зміни характеристики мережі є спосіб дроселювання засувкою, яка встановлена на напірній лінії насосу. Даний метод не потребує встановлення додаткового обладнання, що є основною його перевагою. Дросельне регулювання полягає у введенні додаткового опору в напірний трубопровід системи, завдяки чому характеристика  $Q-H$  мережі стає більш крутою і змінює робочу точку рухаючись по напірній характеристиці насоса до необхідного значення подачі  $Q$ , як це показано на графіку рис. 1.4, де  $Q-H_{тр}$  – характеристика трубопроводу без додаткового обору (засувка повністю відкрита),  $Q-H'_{тр}$  – характеристика трубопроводу при закритій засувці на половину. Однак при цьому насос розвиває відповідний напір в заданій точці характеристики, який перевищує

значення, що потребує системи. Як наслідок, втрачається енергія за рахунок збільшення місцевого опору у засувці. Через такі недоліки як неекономічність та можливість регулювання тільки в сторону зменшення подачі, метод дросельного регулювання можна застосовувати з невеликими насосними агрегатами, які мають плавну характеристику та в тому випадку, коли регулювання необхідне протягом короткого часу.

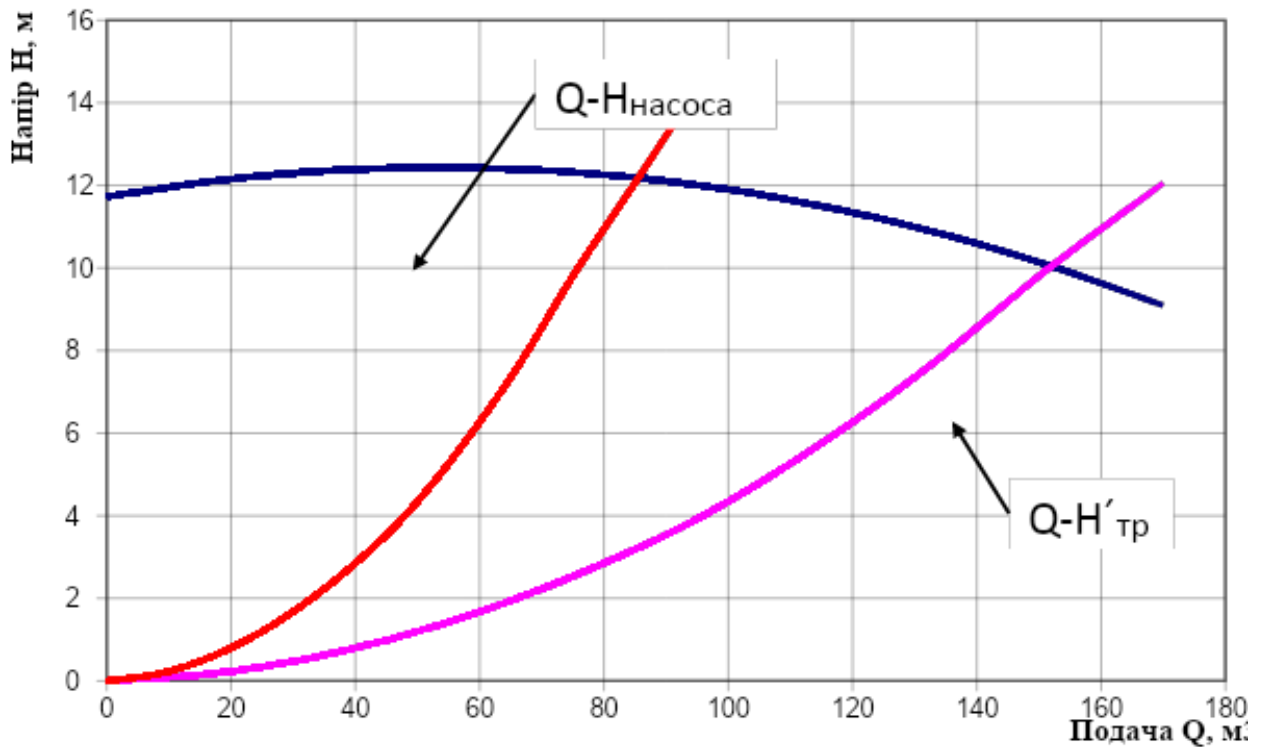


Рисунок 1.4 – Характеристики системи при регулюванні шляхом дроселювання

Ефективність у роботі насосного агрегата досягається підтриманням максимального значення його ККД. Останнє забезпечується застосуванням частотного способу регулювання. Регульовані електроприводи насосів дозволяють оптимізувати їхню роботу в різних режимах, забезпечують плавний пуск, безступінчасте регулювання швидкості, роботу з необхідною швидкістю, високі енергетичні показники електроприводу (ККД, коефіцієнт потужності). Це дозволяє досягти підвищення якості та ефективності роботи системи водопостачання. В порівнянні з регульованими приводами постійного струму, частотно-регульовані електроприводи дозволяють скоротити витрати на експлуатацію, оскільки будуються на асинхронних

двигунах. Сучасні частотно-регульовані приводи, які мають внутрішню мікропроцесорну систему управління і оснащені стандартизованими інтерфейсами, надають інформацію про енергетичні (потужність, споживана електроенергія, коефіцієнт потужності, струми і напруга), виробничі (тривалість роботи, час пуску, час зупинки, аварійні ситуації) і технологічні (витрати, тиск, температура, відхилення поточного значення контрольованого параметра від заданого) параметри роботи самого приводу і технологічного устаткування.

Розглянуті способи регулювання хоча і знижують витрату електроенергії але не забезпечують мінімально можливого її використання і мають обмежену область застосування. Більш високу ефективність забезпечують способи регулювання, які полягають в зміні частоти обертання робочого колеса відцентрового насосу. Робота насосу зі змінною частотою обертання робочого колеса забезпечує підтримку мінімальних значень напору на виході насосної установки в усьому діапазоні змін її подачі. Це досягається завдяки тому, що робота насосу на різних частотах обертання робочого колеса забезпечує переміщення робочої точки насосу по характеристиці трубопроводу, а не насосу, як це видно з графіка на рис. 1.5. Тобто надлишковий напір в даному випадку відсутній. Завдяки ліквідації перевищення напору, витрата електроенергії насосної станції зменшується до можливого мінімуму.

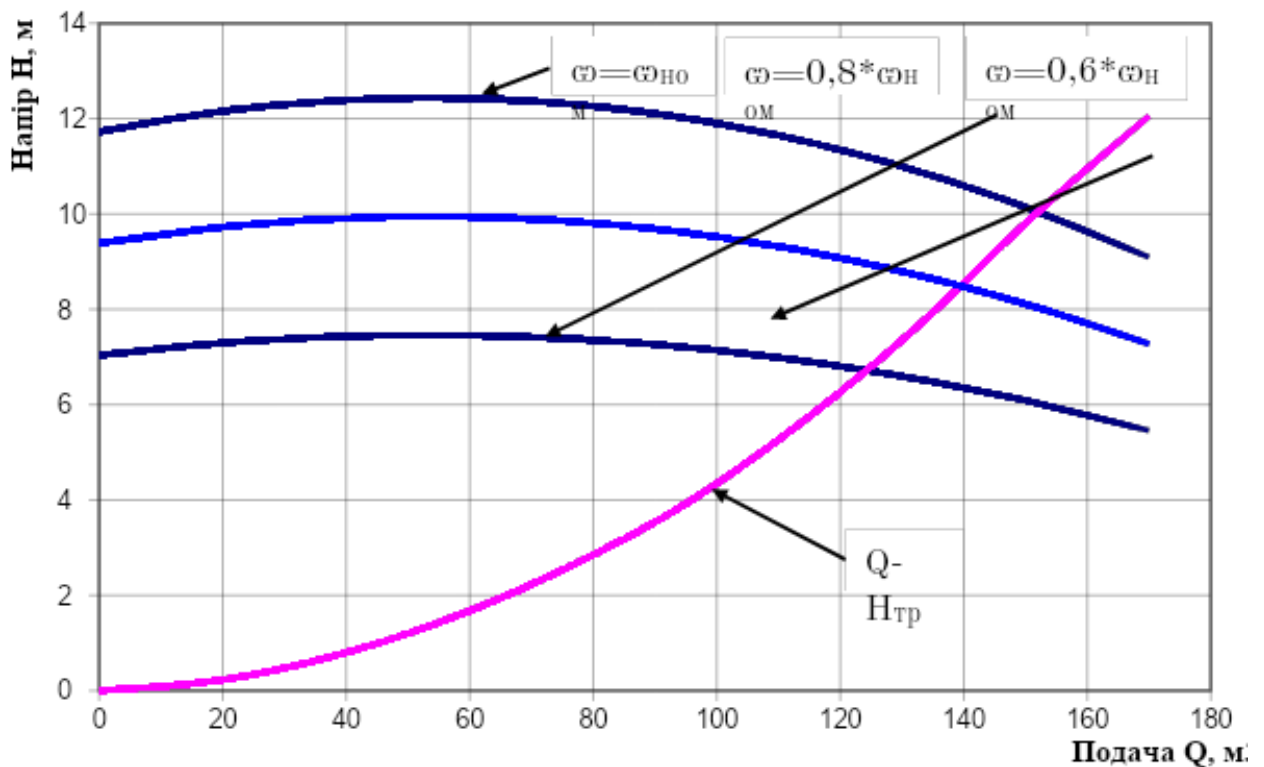


Рисунок 1.5 – Характеристики системи при регулюванні шляхом зміни швидкості

Найефективнішим способом регулювання швидкості обертання робочого колеса насоса є використання регульованого електроприводу. Цей метод, у порівнянні зі зміною гідравлічних параметрів трубопроводу чи насоса, дає можливість розширити діапазон регулювання продуктивності насосного агрегату за суттєвого зменшення споживання його двигуном електричної енергії. Не дивлячись на порівняно високу вартість перетворювального обладнання, його термін окупності незначний і може становити декілька місяців [5].

### 1.3 Формулювання вимог до електроприводу та системи керування технологічним об'єктом

Об'єктом керування в системі водопостачання є насос. Насоси відносяться до числа механізмів з тривалим режимом роботи і постійним навантаженням. В системах водопостачання застосовують відцентрові насоси. У відцентрових насосах рідина переміщується під дією відцентрової сили, створюваної робочим колесом, яке приводиться в обертовий рух електродвигуном. За відсутності електричного регулювання швидкості в

насосних агрегатах невеликої потужності зазвичай застосовують асинхронні двигуни з короткозамкнутим ротором, що живляться від мережі 380 В.

Керування насосним агрегатом полягає у виконанні наступних операцій: перевірка заповнення насоса рідиною; пуск насоса і виведення на робочий режим; регулювання подачі; зупинка насоса.

Режим водоспоживання зазвичай характеризується добовим, тижневим і т.п. графіками водоспоживання. На рис. 1.6 представлено приклад графіка добового водоспоживання багатоквартирного житлового будинку [6].

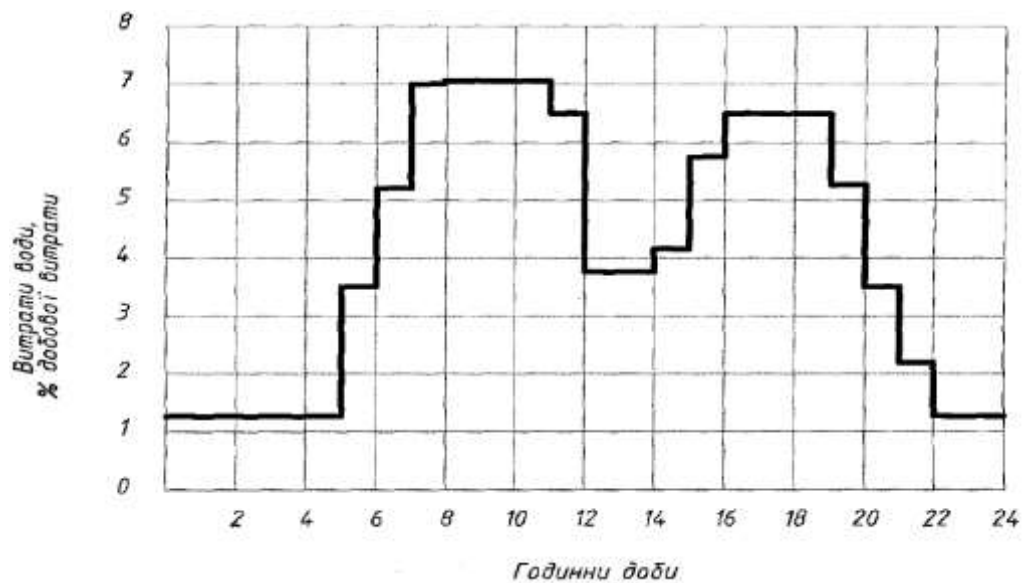


Рисунок 1.6 – Ступінчатий графік водоспоживання

Вибір насосного агрегату здійснюється базуючись на вимогах до подачі  $Q$  та напору  $H$ , які встановлюються гідравлічним розрахунком системи перекачування рідини. Усі вихідні данні визначаються проектом системи водопостачання або каналізації. Визначаючи число регульованих насосів, слід врахувати, що зменшення швидкості обертання одного з насосів може спричинити перевантаження нерегульованих насосів, вивести робочі точки нерегульованих насосів за межі робочої зони та зменшити ККД. В такому разі регульований електропривід повинен бути встановлений на всіх НА, а зміна частоти обертання насосів, що працюють паралельно, повинна відбуватися одночасно на одне і те ж значення. Синхронна зміна частоти обертання забезпечується керуванням всіх насосів від загальної системи автоматики

До електроприводу насоса висуваються наступні вимоги:

- Високоєфективне перекачування при продуктивності Q
- Плавний пуск, за допомогою якого вдається уникнути пікових значень тиску, які перевищують номінальні. Це зменшує ризик виникнення пошкоджень, а також коливань тиску, які викликають вібрацію труб, що може призвести до їх розриву.
- В системі керування електроприводом повинен бути резервний режим живлення електродвигуна в обхід перетворювача частоти – байпас.
- Зручність налаштування. Використання блочної архітектури. Це забезпечить швидку зміну функціонування промислової установки, а також оперативну заміну елементів, які вийшли з ладу.
- Надійність системи. Дотримання цієї вимоги дозволить забезпечити безпеку функціонування промислової установки.
- Вимоги до масо-габаритних показників.
- Енергетичні показники.
- Вимоги техніки безпеки та охорони праці.
- Вимоги протипожежної безпеки.
- Пило- та волого захищеність не нижче IP44.



### Висновок до розділу

В розділі розкрито загальні відомості про механізм насосу, їх класифікація, конструкція, сфери застосування та методи регулювання. Розглянуто режими роботи насосних станцій водопостачання. Також наведено основні вимоги до електроприводу та системи керування насосами і насосними станціями, які необхідно враховувати при проектуванні автоматизованої електромеханічної системи насосної станції.

З проведеного аналізу методів керування насосними станціями можна зробити висновок, що застосування регульованого електроприводу значно підвищує економічні показники насосних станцій. Використання регульованого відцентрового насосу дозволяє зменшити число насосів на насосних станціях. Один електропривід може використовуватись для керування декількома насосними агрегатами. Однак для підвищення надійності та терміну експлуатації обладнання доцільно використовувати окремий електропривід для кожного насосу.

## РОЗДІЛ 2. ПОСТАНОВКА ЗАДАЧІ ТА ВИЗНАЧЕННЯ ВИХІДНИХ ДАНИХ

### 2.1 Опис об'єкта для інсталяції системи керування

На сьогодні реальним об'єктом будівництва, який потенційно знаходиться в пошуку вирішення проблеми водопостачання та водовідведення, є другий пусковий комплекс ЖК «Новий Північний», який розташовується за адресою Миколаївська область, місто Миколаїв, мікрорайон Північний. Будинок перебуває в стані будівництва та потребує в розробці комунікаційних систем.

МКП «Миколаївводоканал» погоджує підключення до інженерних мереж м. Миколаєва водопостачання багатоквартирних будинків з вбудованими приміщеннями громадського призначення на мікрорайоні Північний при виконанні наступних технічних умов:

- На станції водопідготовки встановити насосний агрегат Д315 х 71 з частотним перетворювачем;
- У першому комплексі ЖК «Новий Північний» в «0» колодязі (камера переключення) провести реконструкцію з встановленням нових клиновидних засувок на два водоводи.
- На насосній станції мікрорайону Північний встановити насосний агрегат з перетворювачем частоти  $Q - 150 \text{ м}^3/\text{год}$ ,  $H - 10 \text{ м}$ .

Отже, об'єктом для встановлення автоматизованої системи управління насосною станцією є житловий дев'ятиповерховий будинок, кількість квартир якого становить 36. Кожна квартира оснащена індивідуальним опаленням та системою підігріву води. Це означає, що насосна станція будинку працюватиме на подачу лише холодної води до споживачів.

Витрати насосних станцій, які використовуються в системах транспортування і розподілу води, визначаються шляхом розв'язання загальносистемних задач керування і забезпечуються набором насосів, що одночасно працюють, з різною продуктивністю. Потрібні витрати НС зазвичай не відповідають дискретним значенням, які отримують простим набором різних насосів. Тому, продуктивності насосів регулюють шляхом зміни

гідравлічного опору, потужності і частоти змінного струму. Крім того, потужні насосні агрегати мають технологічні обмеження на частоту їх перемикання. Оптимальні режими роботи НС вибираються розв'язанням оптимізаційних задач, які потребують великих затрат праці. Розв'язання таких задач проводиться на електронно-обчислювальній машині (ЕОМ) із використанням методів математичного програмування. В роботі розглядається кілька варіантів задач оптимізації режимів роботи НС.

## 2.2 Вибір асинхронного двигуна

Напір, який повинен створювати насос визначають за формулою:

$$H = H_{ГВ} + H_{ГН} + h_{ВВ} + h_{ВН}, \quad (2.1)$$

де  $H_{ГВ}$  – геометрична висота всмоктування,  $H_{ГН}$  - геометрична висота нагнітання,  $h_{ВВ}$  - втрати в трубі всмоктування,  $h_{ВН}$  - втрати в трубі нагнітання.

Корисна потужність насоса – потужність яка передається переміщуваній рідині:

$$N_k = Q \cdot p, \text{ Вт} \quad (2.2)$$

де  $p$  – тиск (напір) в Па,  $Q$  – подача в м<sup>3</sup>/с.

Якщо користуватися прийнятими у практиці одиницями подачі в м<sup>3</sup>/год, напору в м, то формула прийме вигляд:

$$N_k = 0.0027Q \cdot H, \text{ кВт} \quad (2.3)$$

Потужність, яку споживає насос від двигуна, дорівнює:

$$N = \frac{N_k}{\eta_H} \quad (2.4)$$

ККД насоса враховує гідравлічні, об'ємні і механічні втрати потужності. Гідравлічні втрати – це втрати на подолання гідравлічного опору при руху рідини від входу до виходу з насоса, об'ємні втрати – це втрати від перетікання частини рідини з області високого тиску в область зниженого тиску та від

протікання через сальники, механічні втрати складаються з втрат на тертя. ККД серійних насосів тримається на рівні 0,6...0,92.

Потужність двигуна для насоса завжди більша потужності насоса. Коефіцієнт запасу залежить від потужності насоса. Рекомендується вибирати такі значення  $K_{зап}$ :

для  $N \leq 2 \text{ кВт}$  -  $K_{зап} = 1,5$ ;

$2 \text{ кВт} < N < 5 \text{ кВт}$  -  $K_{зап} = 1,5 \dots 1,25$ ;

$5 \text{ кВт} < N < 50 \text{ кВт}$  -  $K_{зап} = 1,25 \dots 1,15$ ;

$50 \text{ кВт} < N < 100 \text{ кВт}$  -  $K_{зап} = 1,15 \dots 1,05$ ;

$N > 100 \text{ кВт}$  -  $K_{зап} = 1,05$ .

Електричний двигун підбирається за частотою обертання, робочим положенням (горизонтальне, вертикальне), потужністю, напругою і типом виконання. Для електроприводу відцентрових насосів застосовують синхронні і асинхронні двигуни. У переважній більшості випадків вали насосів і двигунів з'єднуються напряму без варіаторів частоти обертання за допомогою пружних муфт.

Визначення необхідної потужності приводного двигуна здійснюється на основі отриманих вимог електромеханічної системи. За (2.3) для заданої подачі  $Q = 150 \text{ м}^3/\text{год}$  і напору  $H = 10 \text{ м}$ :

$$N_k = 0.0027 \cdot 150 \cdot 10 = 4.05 \text{ кВт}$$

Потужність, яку споживає насос від двигуна: (2.5)

$$N = \frac{4.05}{0.8} = 5.06 \text{ кВт} \quad (2.6)$$

Враховуючи коефіцієнт запасу, потужність двигуна насоса:

$$P = 5.06 \cdot 1.25 = 6.33 \text{ кВт} \quad (2.7)$$

Згідно отриманого значення потужності двигуна, з довідника [7] обираємо асинхронний двигун з короткозамкненим ротором типу 4А132S4У3. Для заданого АД розрахуємо параметри номінального режиму та параметри

схеми заміщення. Вихідні дані для розрахунку параметрів асинхронного двигуна наведені в таблиця 2.1.

Таблиця 2.1 – Паспортні данні двигуна 4A132S4Y3

Номінальна потужність	$P_{2n} = 7.5 \text{ кВт}$
Номінальна лінійна напруга статора	$U_{ln} = 380 \text{ В}$
Кількість пар полюсів	$p_n = 2$
Момент інерції	$J_d = 0.028 \text{ кг}\cdot\text{м}^2$
Коефіцієнт корисної дії	$\eta = 0.875$
Коефіцієнт потужності	$\cos \varphi = 0.86$
Перевантажувальна здатність	$\lambda = 3$
Номінальне ковзання	$S_n = 0.029$
Критичне ковзання	$S_k = 0.195$
Номінальна частота напруги статора	$f = 50 \text{ Гц}$
<b>Параметри Г-подібної схеми заміщення (відносні одиниці)</b>	
Індуктивний опір розсіювання статора	$\bar{x}'_1 = 0.085$
Активний опір статора	$\bar{R}'_1 = 0.048$
Приведений індуктивний опір розсіювання ротора	$\bar{x}''_2 = 0.13$
Приведений активний опір ротора	$\bar{R}''_2 = 0.033$
Індуктивний опір намагнічуючого контуру	$\bar{x}_\mu = 3$

### 2.3 Розрахунок формальних даних двигуна

Розрахуємо параметри двигуна, що необхідні для виконання поставленої задачі при роботі з насосом.

Розрахуємо кутову частоту напруги статора:

$$\omega_{0n} = 2 \cdot \pi \cdot f = 2 \cdot \pi \cdot 50 = 314 \text{ рад/с.} \quad (2.8)$$

Швидкість ідеального холостого ходу двигуна визначається:

$$\omega_{xx} = \frac{\omega_{0n}}{p_n} = \frac{314}{2} = 157 \text{ рад/с.} \quad (2.9)$$

Тоді отримуємо номінальну швидкість двигуна:

$$\omega_n = \omega_{xx} \cdot (1 - S_n) = 157 \cdot (1 - 0.029) = 152.5 \frac{\text{рад}}{\text{с}}. \quad (2.10)$$

Враховуючи значення номінальної швидкості визначається номінальний момент двигуна:

$$M_n = \frac{P_{2n}}{\omega_n} = \frac{7.5 \cdot 10^3}{152.5} = 49 \text{ Нм.} \quad (2.11)$$

Критичний момент двигуна (враховуючи перевантажувальну здатність  $\lambda$  з каталогу):

$$M_k = \lambda \cdot M_n = 3 \cdot 49 = 147 \text{ Нм.} \quad (2.12)$$

Номінальні діючі значення фазної напруги та струму статора:

$$U_n = \frac{U_{1n}}{\sqrt{3}} = \frac{380}{\sqrt{3}} = 220 \text{ В.} \quad (2.13)$$

$$I_n = \frac{P_{2n}}{3 \cdot U_n \cdot \cos \phi \cdot \cos \phi} = \frac{7.5 \cdot 10^3}{3 \cdot 220 \cdot 0.86 \cdot 0.875} = 15 \text{ А.} \quad (2.14)$$

Амплітудні значення фазної напруги і струму статора:

$$U_{na} = \sqrt{2} \cdot U_n = \sqrt{2} \cdot 220 = 311 \text{ В,} \quad (2.15)$$

$$I_{na} = \sqrt{2} \cdot I_n = \sqrt{2} \cdot 15 = 21 \text{ А.} \quad (2.16)$$

Амплітудні значення потокозчеплення статора в режимі холостого ходу при  $R_1=0$ :

$$\psi_{1xx} = \frac{U_{na}}{\omega_{0n}} = \frac{311}{314} = 0.987 \text{ Вб.} \quad (2.17)$$

#### 2.4 Розрахунок параметрів Т-подібної схеми заміщення

Коефіцієнт перерахунку між Т-подібною та Г-подібною схемами заміщення:

$$c_1 = \frac{\underline{x}_\mu + \sqrt{\underline{x}_\mu^2 + 4 \cdot \underline{x}'_1 \cdot \underline{x}_\mu}}{2 \cdot \underline{x}_\mu} = \frac{3 + \sqrt{3^2 + 4 \cdot 0.085 \cdot 3}}{2 \cdot 3} = 1.027 \quad (2.18)$$

Розрахунок параметрів Т-подібної схеми заміщення.

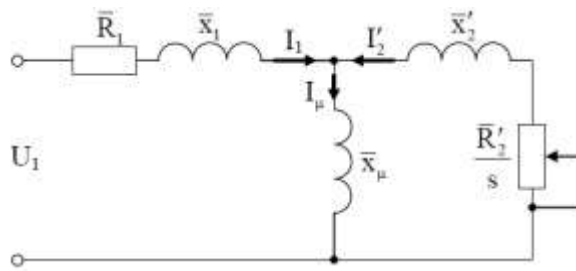


Рисунок 2.2 Т-подібна схема заміщення АД

Наведені в табл. 2.1 параметри відповідають Г-подібній схемі заміщення зображеної на рис. 2.2.

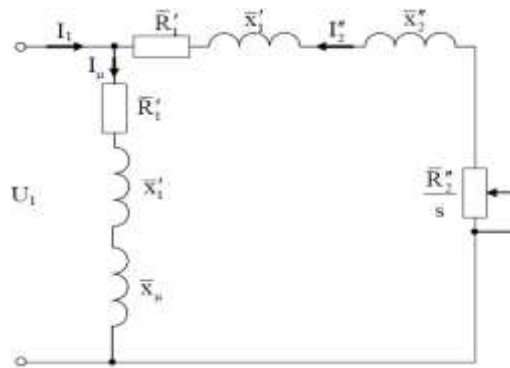


Рисунок 2.3 Г-подібна схема заміщення АД

Параметри Т-подібної схеми заміщення у відносних одиницях:

$$\underline{x}_1 = \frac{x'_1}{c_1} = \frac{0.085}{1.027} = 0.0827, \quad (2.19)$$

$$\underline{R}_1 = \frac{R'_1}{c_1} = \frac{0.048}{1.027} = 0.0467, \quad (2.20)$$

$$\underline{x}'_2 = \frac{x''_2}{c_1^2} = \frac{0.13}{1.027^2} = 0.1232, \quad (2.21)$$

$$\underline{R}'_2 = \frac{R''_2}{c_1^2} = \frac{0.033}{1.027^2} = 0.0312. \quad (2.22)$$

Параметри Т-подібної схеми заміщення в абсолютних одиницях:

$$x_1 = \underline{x}_1 \cdot \frac{U_n}{I_n} = 0.0827 \cdot \frac{220}{15} = 1.198 \text{ Ом}, \quad (2.23)$$

$$R_1 = \underline{R}_1 \cdot \frac{U_n}{I_n} = 0.0467 \cdot \frac{220}{15} = 0.676 \text{ Ом}, \quad (2.24)$$

$$x_2 = \underline{x}'_2 \cdot \frac{U_n}{I_n} = 0.1232 \cdot \frac{220}{15} = 1.783 \text{ Ом}, \quad (2.25)$$

$$R_2 = \underline{R}'_2 \cdot \frac{U_n}{I_n} = 0.0312 \cdot \frac{220}{15} = 0.452 \text{ Ом}, \quad (2.26)$$

$$x_\mu = \underline{x}_\mu \cdot \frac{U_n}{I_n} = 3 \cdot \frac{220}{15} = 44 \text{ Ом}. \quad (2.27)$$

Індуктивність намагнічуючого контуру:

$$L_m = \frac{x_\mu}{\omega_{0n}} = \frac{44}{314} = 0.138 \text{ Гн.} \quad (2.28)$$

Індуктивності розсіювання статора і ротора:

$$L_{1\sigma} = \frac{x_1}{\omega_{0n}} = \frac{1.198}{314} = 0.0038 \text{ Гн,} \quad (2.29)$$

$$L_{2\sigma} = \frac{x_2}{\omega_{0n}} = \frac{1.783}{314} = 0.0057 \text{ Гн.} \quad (2.30)$$

Індуктивності статора і ротора:

$$L_1 = L_m + L_{1\sigma} = 0.138 + 0.0038 = 0.142 \text{ Гн,} \quad (2.31)$$

$$L_2 = L_m + L_{2\sigma} = 0.138 + 0.0057 = 0.144 \text{ Гн.} \quad (2.32)$$

На основі проведених розрахунків обчислюються значення параметрів  $\alpha$ ,  $\beta$ ,  $\gamma$ ,  $\sigma$  за наведеними формулами:

$$\alpha = \frac{R_2}{L_2} = \frac{0.452}{0.144} = 3.14 \text{ Ом/Гн,} \quad (2.33)$$

$$\sigma = L_1 \cdot \left(1 - \frac{L_m^2}{L_1 \cdot L_2}\right) = 0.142 \cdot \left(1 - \frac{0.138^2}{0.142 \cdot 0.144}\right) = 0.0093 \text{ Гн,} \quad (2.34)$$

$$\beta = \frac{L_m}{\sigma \cdot L_2} = \frac{0.138}{0.0093 \cdot 0.144} = 103.6 \text{ 1/Гн,} \quad (2.35)$$

$$\gamma = \frac{R_1}{\sigma} + \alpha \cdot L_m \cdot \beta = \frac{0.676}{0.0093} + 3.14 \cdot 0.138 \cdot 103.6 = 118.09 \text{ Ом/Гн,} \quad (2.36)$$



Результати розрахунків параметрів генератора 4A132S4У3 зведені до табл. 2.2.

Таблиця 2.2 - Параметри двигуна 4A132S4У3

$P_n$ , кВт	7.5	$J_d$ , кг·м <sup>2</sup>	0.028
$\omega_{xx}$ , рад/с	157	$R_1$ , Ом	0.676
$\omega_n$ , рад/с	152.5	$R_2$ , Ом	0.452
$M_n$ , Нм	49	$L_1$ , Гн	0.142
$M_k$ , Нм	147	$L_2$ , Гн	0.144
$\lambda$ ,	3	$L_m$ , Гн	0.138
$I_{na}$ , А	21	$\alpha$ , Ом/Гн	3.143
$\Psi_{1xx}$ , Вб	0.987	$\beta$ , 1/Гн	103.63
$\eta$ ,	0.875	$\gamma$ , Ом/Гн	118.09
$\cos\varphi$ ,	0.86	$\sigma$ , Гн	0.009

### 2.5 Частотне керування асинхронним двигуном

Для коректної побудови моделі АД розглянемо її представлену в координатах потокозчеплень статора і струмів ротора [8]:

$$\begin{aligned}
 \dot{\psi}_{1d} &= -\alpha_1 \psi_{1d} + \omega_0 \psi_{1q} + \alpha_1 L_m i_{2d} + u_{1d} \dot{\psi}_{1q} = -\alpha_1 \psi_{1q} - \omega_0 \psi_{1d} \\
 + \alpha_1 L_m i_{2q} + u_{1q} i_{2d} &= -\gamma_1 i_{2d} + \omega_2 i_{2q} + \alpha_1 \beta_1 \psi_{1d} - \beta_1 p_n \omega \psi_{1q} - \beta_1 u_{1d} i_{2q} \\
 &== -\gamma_1 i_{2q} - \omega_2 i_{2d} + \alpha_1 \beta_1 \psi_{1q} + \beta_1 p_n \omega \psi_{1d} - \beta_1 u_{1q} \dot{\omega} = \\
 &= \frac{1}{J} \left[ \frac{3}{2} \frac{L_m}{L_1} p_n (\psi_{1q} i_{2d} - \psi_{1d} i_{2q}) - M_c \right] \dot{\theta}_0 = \omega_0
 \end{aligned} \quad (2.37)$$

де  $(\psi_{1d}, \psi_{1q})^T$ ,  $(i_{2d}, i_{2q})^T$ ,  $(u_{1d}, u_{1q})^T$  - компоненти векторів потокозчеплення статора, струму ротора і напруги статора,  $\omega$  - кутова швидкість,  $\omega_0$  і  $\theta_0$  - кутова швидкість та кутове положення системи координат (d-q) відносно сталої системи координат (a-b),  $\omega_2 = \omega_0 - \omega p_n$  - частота ковзання.

Перетворені змінні в (2.18) визначаються у відповідності:

$$x^{(d-q)} = e^{-J\theta_0(t)} \cdot x^{(a-b)}, \quad (2.38)$$

В загальній постановці задачі керування кутовою швидкістю та модулем потокозчеплення статора вихідні регульовані змінні задаються наступним чином:

$$(\omega \mid \psi_1 \mid) \triangleq \left( \omega \left( \psi_{1d}^2 + \psi_{1q}^2 \right)^{\frac{1}{2}} \right), \quad (2.39)$$

а також припускаємо, що вектор змінних стану в (2.18) не вимірюваний, тобто розглядається повністю розімкнене керування, при якому вихідні змінні в (2.20) мають регулюватися за допомогою двомірного вектору керуючих напруги статора  $\mathbf{u}_1 = (u_{1d}, u_{1q})^T$ .

Припустимо, що  $\omega^* = \text{const}$ ,  $\psi^* = \text{const}$  визначають задані значення кутової швидкості і модуля потокозчеплення статора, тоді задача регулювання вихідних змінних полягає у досягненні умови:

$$\lim_{t \rightarrow \infty} \tilde{\omega} = 0 \quad \lim_{t \rightarrow \infty} \tilde{\psi} = 0, \quad (2.40)$$

де похибки регулювання мають значення:

$$\tilde{\omega} = \omega - \omega^* \quad \tilde{\psi} = |\psi_1| - \psi^*. \quad (2.41)$$

Використовуючи теорію орієнтації по вектору потокозчеплення статора, можна переоформити другу умову в (2.21) наступним чином:

$$\begin{aligned} \lim_{t \rightarrow \infty} \tilde{\psi}_{1q} &= 0 \\ \lim_{t \rightarrow \infty} \tilde{\psi}_{1d} &= 0, \end{aligned} \quad (2.42)$$

де похибки регулювання потокозчеплення по осям d і q визначені як:

$$\tilde{\psi}_{1q} = \psi_{1q} \quad \tilde{\psi}_{1d} = \psi_{1d} - \psi^*. \quad (2.43)$$

Відмітимо, що перша умова в (2.24) визначає досягнення полеорієнтування за вектором потокозчеплення статора.

Досягнення еквівалентних умов (2.21) і (2.23) можливе лише у випадку не навантаженого двигуна, тобто при  $M_c = 0$ . В цьому випадку струми ротора в

усталеному режимі дорівнюють нулю. Визначивши  $\dot{i}_{2d} \approx \tilde{i}_{2d}$ ,  $\dot{i}_{2q} \approx \tilde{i}_{2q}$ , мета частотного керування може бути формалізована таким чином: знайти керуючі напруги  $u_{1d}$  і  $u_{1q}$ , які гарантують досягнення умови

$$\lim_{t \rightarrow \infty} (\tilde{\omega}, \tilde{\psi}_{1d}, \tilde{\psi}_{1q}, \tilde{i}_{2d}, \tilde{i}_{2q}) = 0, \text{ при} \quad (2.44)$$

В похибках відпрацювання рівняння (2.18) записуються (при  $\omega^* = const, \psi^* = const$ ) у вигляді:

$$\begin{aligned} \tilde{\omega} &= \mu p_n [\tilde{\psi}_{1q} \tilde{i}_{2d} - (\psi^* + \tilde{\psi}_{1d}) \tilde{i}_{2q}] - \frac{M_C}{J} \dot{\tilde{\psi}}_{1d} \\ &= -\alpha_1 \tilde{\psi}_{1d} + \omega_0 \tilde{\psi}_{1q} + \alpha_1 L_m \tilde{i}_{2d} - \alpha_1 \psi^* + u_{1d} \dot{\tilde{\psi}}_{1q} \\ &= -\alpha_1 \tilde{\psi}_{1q} - \omega_0 \tilde{\psi}_{1d} + \alpha_1 L_m \tilde{i}_{2q} - \omega_0 \psi^* + u_{1q} \dot{\tilde{i}}_{2d} \\ &= -\gamma_1 \tilde{i}_{2d} + (\omega_0 - \omega p_n) \tilde{i}_{2q} + \alpha_1 \beta_1 \tilde{\psi}_{1d} - \beta_1 p_n \omega \tilde{\psi}_{1q} + \alpha_1 \beta_1 \psi^* \\ &\quad - \beta_1 u_{1d} \dot{\tilde{i}}_{2q} \\ &= -\gamma_1 \tilde{i}_{2q} - (\omega_0 - \omega p_n) \tilde{i}_{2d} + \alpha_1 \beta_1 \tilde{\psi}_{1q} + \beta_1 p_n \omega \tilde{\psi}_{1d} + \beta_1 p_n \tilde{\omega} \psi^* \\ &\quad + \beta_1 p_n \omega^* \psi^* - \beta_1 u_{1q} \dot{\theta}_0 = \omega_0 \end{aligned} \quad (2.45)$$

де  $\mu = \frac{3 L_m}{2 L_1 J}$ .

З рівнянь для потокозчеплень в (2.26) знаходимо:

$$u_{1d} = \alpha_1 \psi^* u_{1q} = \omega_0 \psi^* \quad (2.46)$$

Підставивши (2.27) в (2.26), а також прийнявши умову  $\omega_0 = \omega^* p_n$ , отримаємо рівняння динаміки похибок відпрацювання:

$$\begin{aligned} \tilde{\omega} &= \mu p_n [\tilde{\psi}_{1q} \tilde{i}_{2d} - (\psi^* + \tilde{\psi}_{1d}) \tilde{i}_{2q}] - \frac{M_C}{J} \dot{\tilde{\psi}}_{1d} = -\alpha_1 \tilde{\psi}_{1d} + \omega^* p_n \tilde{\psi}_{1q} + \alpha_1 L_m \tilde{i}_{2d} \dot{\tilde{\psi}}_{1q} = \\ &= -\alpha_1 \tilde{\psi}_{1q} - \omega^* p_n \tilde{\psi}_{1d} + \alpha_1 L_m \tilde{i}_{2q} \dot{\tilde{i}}_{2d} = -\gamma_1 \tilde{i}_{2d} - \tilde{\omega} \tilde{i}_{2q} + \alpha_1 \beta_1 \tilde{\psi}_{1d} - \beta_1 p_n \omega^* \tilde{\psi}_{1q} - \\ &\quad - \beta_1 p_n \tilde{\omega} \tilde{\psi}_{1q} \dot{\tilde{i}}_{2q} = -\gamma_1 \tilde{i}_{2q} + \tilde{\omega} \tilde{i}_{2d} + \alpha_1 \beta_1 \tilde{\psi}_{1q} + \beta_1 p_n \omega^* \tilde{\psi}_{1d} + \beta_1 p_n \tilde{\omega} \tilde{\psi}_{1d} + \beta_1 p_n \psi^* \tilde{\omega} \end{aligned} \quad (2.47)$$

Фізичні напруги, які прикладаються до обмоток АД з (2.38) і (2.46) дорівнюють:

$$\begin{aligned} (u_{1a} \ u_{1b}) &= [\cos \cos \square_0(t) \ -\sin \sin \square_0(t) \ \square \square \square \sin \square_0(t) \ \square \square \square \cos \square_0(t)] (\square_1 \psi^* \ \square^* p_n \psi^*) \dot{\square}_0 \\ &= \omega^* p_n \end{aligned} \quad (2.49)$$

Необхідно відмітити, що для практичної реалізації алгоритму частотного керування необхідно знати параметр  $\alpha_1 = R_1/L_1$ , який легко визначається на

основі звичайних тестів. Необхідності у вимірюванні струмів статора та кутової швидкості для реалізації алгоритму (2.29) немає.

Структурна схема алгоритму частотного керування АД (2.29) показана на рис. 2.1.

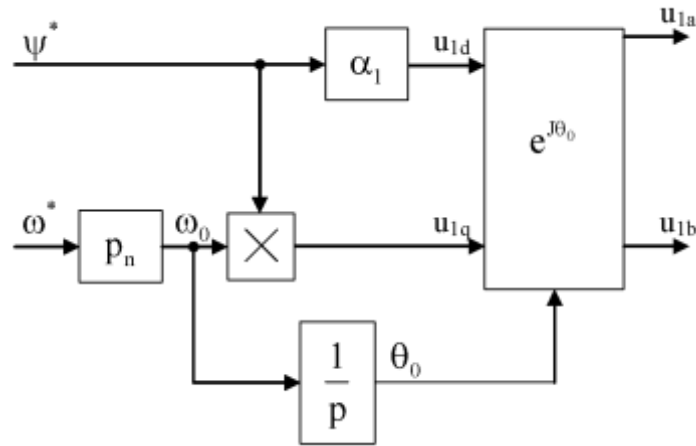


Рисунок 2.4 – Структурна схема алгоритму частотного керування

Доволі часто на практиці для приведення в рух турбомеханізмів застосовується квадратична залежність напруги від частоти  $U/f^2 = \text{const}$ . Це дозволяє досягти зменшення втрат активної потужності при навантаженнях, які менші номінальних значень. Для реалізації даного алгоритму, вирази (2.27) записуються у вигляді:

$$u_{1d} = \alpha_1 \psi^* u_{1q} = \omega^* p_n \psi^* \psi^* = \psi_0^* + (\psi_n^* - \psi_0^*) \frac{|\omega^* p_n|}{\omega_{0n}}, \quad (2.50)$$

де  $\psi_n^* = \psi_{1\text{xx}}$ ,  $0 < \psi_0^* < \psi_n^*$ .

Враховуючи, що  $\omega_0 = \omega^* p_n$ , при застосуванні алгоритму (2.30) модуль напруги статора в залежності від заданої швидкості набуває вигляду:

$$U_{1m} = \left( \psi_0^* + (\psi_n^* - \psi_0^*) \frac{|\omega^* p_n|}{\omega_{0n}} \right) \sqrt{\alpha_1^2 + (\omega^* p_n)^2} \quad (2.60)$$

Структурна схема алгоритму частотного керування з квадратичною залежністю напруги від частоти, заданого рівняннями (2.30), показана на рис. 2.2.

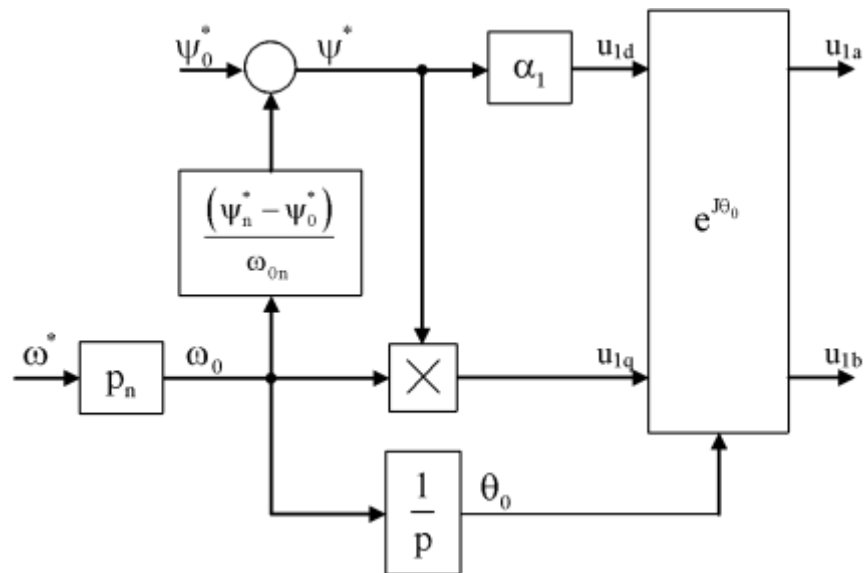


Рисунок 2.5 – Структурна схема алгоритму частотного керування з квадратичною залежністю напруги від частоти

На рис. 2.6 та рис. 2.7 зображено механічні характеристики двигуна 4A132S4Y3 при частотному регулюванні за двома законами -  $U/f$  та  $U/f^2$ , які було побудовано в програмному середовищі MATLAB Simulink.

Електрична машина є одним із головних елементів електроприводу, а також електромеханічних систем, де він використовується, безпосередньо забезпечуючи процес електромеханічного перетворення енергії. Незалежно від конструкції, по принципу електромеханічного перетворення енергії усі ЕМ розподіляються на машини постійного струму, асинхронні та синхронні.

Відмітимо, що вплив ефектів другого порядку значною мірою залежить від того, як машина спроектована. Сучасні електричні машини, що спеціально сконструйовані для конкретного способу керування, наприклад асинхронні двигуни для частотного та векторного керування, мають характеристики, що з високою точністю співпадають з характеристиками ідеалізованих машин.

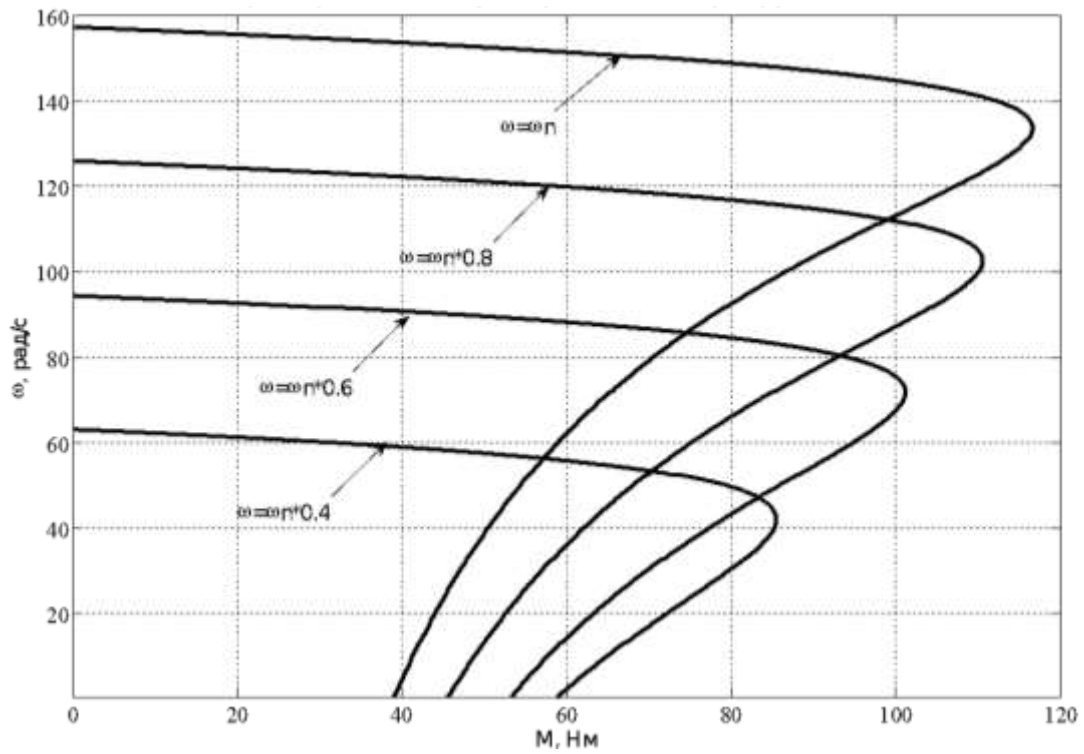


Рисунок 2.6 – Механічні характеристики асинхронного двигуна 4А132S4У3 при частотному керуванні за законом  $U/f$

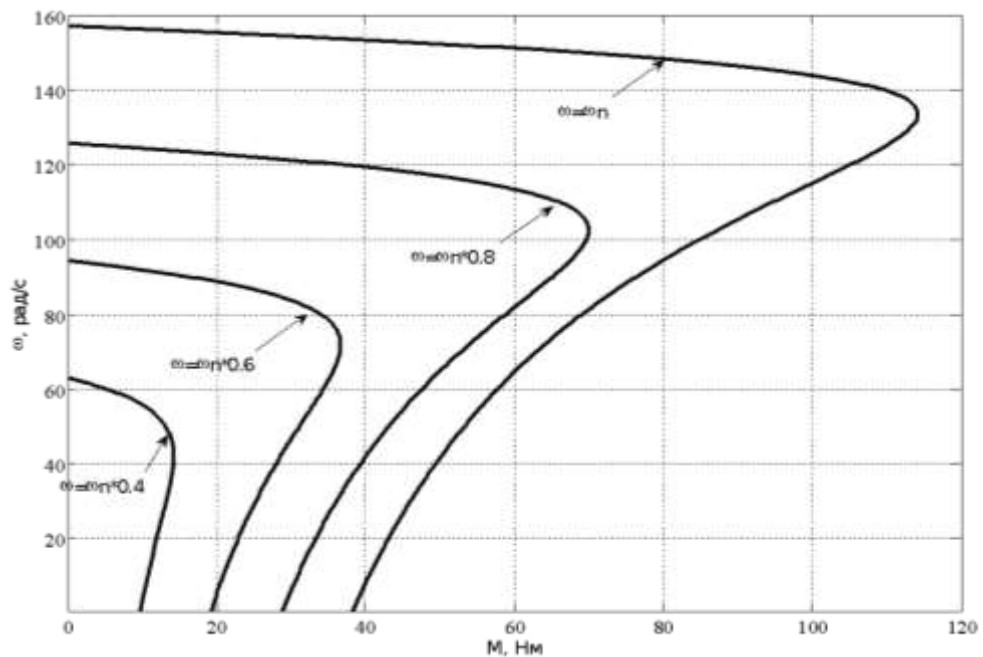


Рисунок 2.7 – Механічні характеристики асинхронного двигуна 4А132S4У3 при частотному керуванні за законом  $U/f^2$

Для режиму регулювання швидкості обертання робочого колеса насоса:

$$H = H_{0n} \left( \frac{\omega}{\omega_n} \right) - a_{\phi} Q^2 \quad (2.70)$$

Момент на валу насоса:

$$M = \frac{g\rho QH}{\omega\eta}$$

На рис. 2.8 на основі рівняння індуктивності (2.31), (2.32), потокозчеплення (2.37) та керуючих напруг (2.46) асинхронного двигуна з короткозамкненим ротором було створено структурну схему насосної установки.

та двофазової моделі асинхронного двигуна з короткозамкненим ротором представлена структурна схема насосної установки.

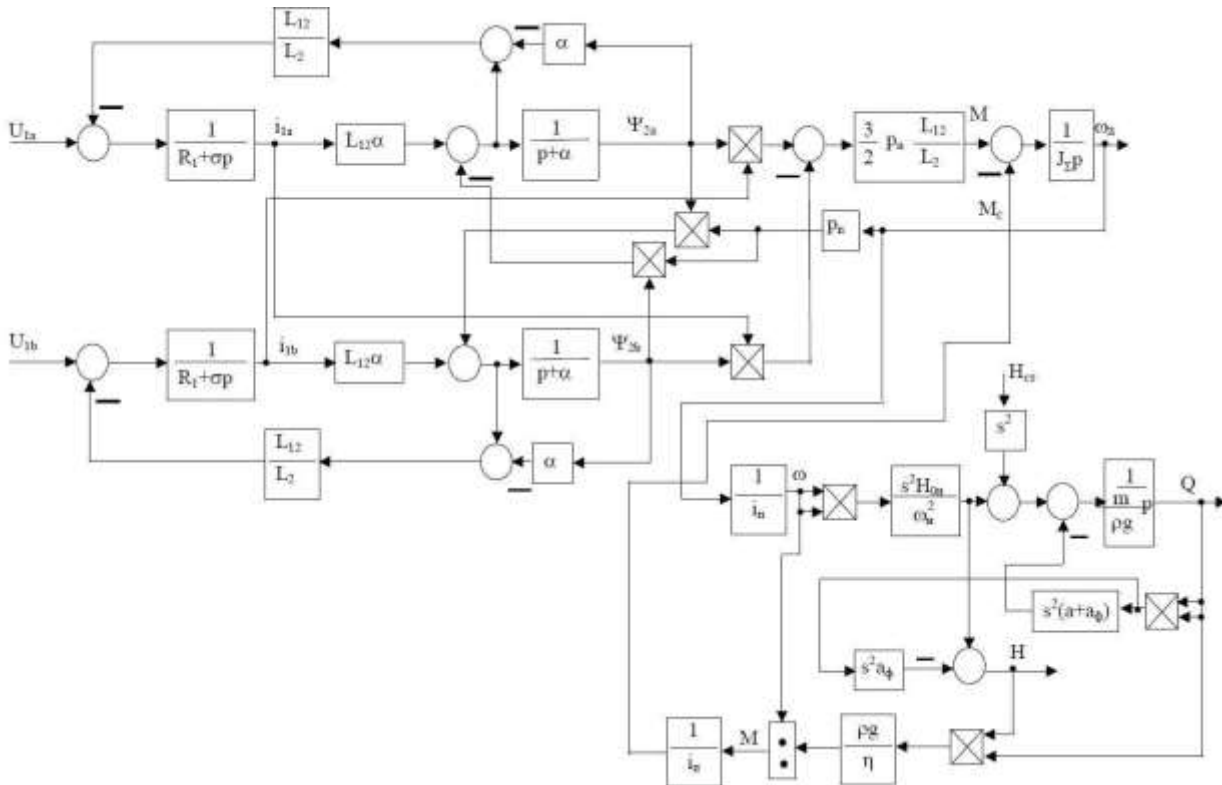
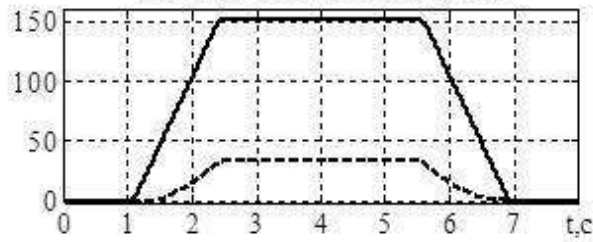


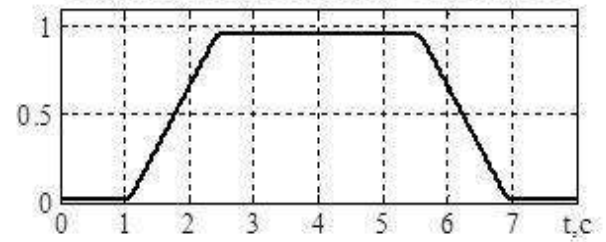
Рисунок 2.8 – Структурна схема насосної установки

Промодельовавши дану модель в програмному середовищі MATLAB Simulink, можна проаналізувати роботу насосної установки. Так на графіках зображених на рис. 2.9 показано перехідні процеси роботи двигуна насоса та продемонстровано характер зміни напору на продуктивності нососу при виході на номінальні значення при роботі частотному керуванні двигуном насосу за законом  $U/f^2$ .

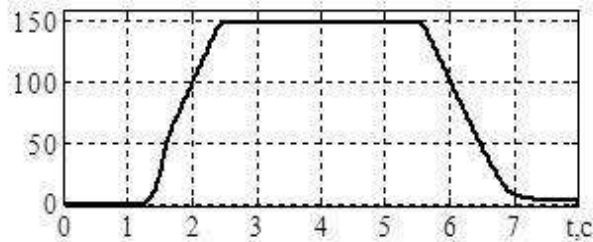
Задана кутова швидкість ротора, рад/с та профіль моменту навантаження, Нм



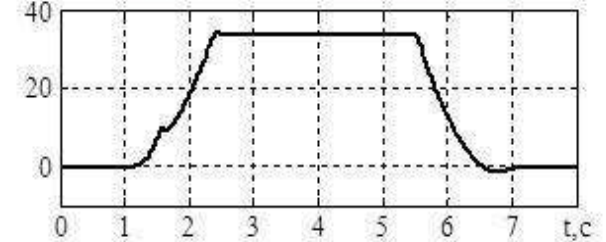
Задане потокозчеплення статора Вб



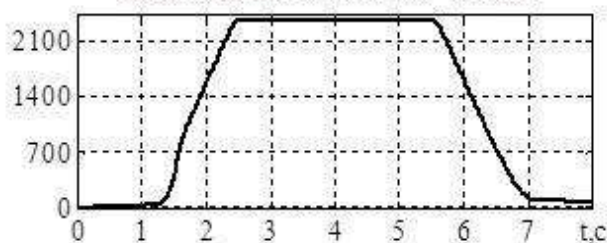
Швидкість ротора  $\omega$ , рад/с



Момент на валу двигуна М, Нм



Продуктивність насосу Q, л/хв



Напір насосу Н, бар

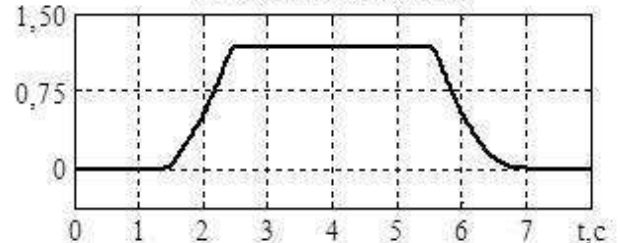


Рисунок 2.9 – Перехідні процеси роботи насосної установки

З графіків видно, що незважаючи на рівномірний характер наростання заданих величин, система відпрацьовує їх з деякою похибкою. Так на графіках швидкості ротора двигуна та моменту на валу двигуна можна спостерігати невелике перерегулювання при перехідному процесі, однак воно спостерігається лише на початковому моменті розгону і пов'язані з гідравлічною складовою системи.



### Висновок до розділу

В розділі було визначено потенціальний об'єкт для впровадження системи автоматичного управління насосною станцією. Розраховано параметри системи водопостачання для подальшого розрахунку необхідного устаткування для системи управління. Розраховано та обрано двигун, використання якого повністю задовольняє потреби водопостачання житлового будинку. Розроблено модель насосної установки та промодельовано її роботу при частотному керуванні насосним агрегатом за законом  $U/f^2$  на основі якої було отримано механічні характеристики обраного двигуна та перехідні процеси роботи насосної установки.

## РОЗДІЛ 3. ПРОЕКТУВАННЯ СИСТЕМИ КЕРУВАННЯ

### 3.1 Опис системи керування насосної станції

Система керування призначена для ручного та автоматичного управління двома насосними агрегатами з асинхронними двигунами, що працюють в системі холодного водопостачання будівлі.

Система автоматичного керування насосною станцією повинна забезпечувати підтримання постійного тиску та напору води в мережі. Підтримання постійного тиску у водоводі здійснюється за допомогою регулювання частоти обертання робочого колеса насоса, що забезпечує частотно регульований електропривід кожного насоса з контуром зворотного зв'язку за тиском від відповідного датчика встановленого на вихідній магістралі насоса. Система також контролює рівень тиску вхідної магістралі насоса з метою попередження роботи насосів за відсутності води – захист від «сухого ходу». Контроль здійснюється за допомогою реле тиску встановленого на вхідній магістралі насоса.

У випадку аварійного зупину робочого насоса, система автоматично вмикає резервний агрегат, який встановлений паралельно. У схемі системи управління передбачено встановлення двох магнітних пускачів до кожного двигуна. Це дозволяє здійснити прямий пуск двигуна та тимчасову роботу насоса в обхід перетворювача частоти («Байпас») при виході його з ладу або технічному обслуговуванні без зупинки процесу подачі води. При спрацюванні пожежної сигналізації в будівлі, система вмикає обидва насоси на повну потужність для максимального підвищення подачі води спрямованої на тушіння пожежі. Для здійснення збору інформації, контролю всіх параметрів та передачі необхідних керуючих сигналів в автоматичному режимі, система оснащена програмованим логічним контролером (ПЛК). Передбачено можливість керувати насосами в ручному режимі, коли оператор за допомогою ручного задатчика (потенціометра) на передній панелі шафи керування системи встановлює необхідний рівень частоти обертання ротора

двигуна. Всі режими роботи та аварії мають відповідний світловий індикатор на передній панелі шафи системи керування.

Паралельна схема встановлення насосів, що зображена на рис. 3.1 застосовується у випадках:

- Один насос не може забезпечити задану подачу, а заміна його іншим більш потужним недоцільна.
- Необхідно ступінчасто нарощувати подачу.
- Під час роботи виникає потреба в короточасному підвищенні подачі.
- Для підвищення надійності, коли один насос виконує роль резервного агрегату.
- При періодичному переключенні насосів для напрацювання однакових мотогодин, що подовжує термін експлуатації агрегатів.

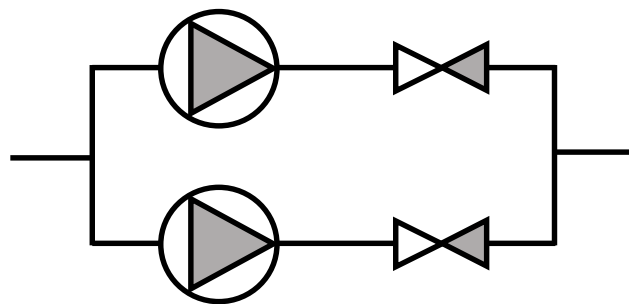


Рисунок 3.1 - Принципова схема паралельного включення двох насосів

Для досягнення потрібного значення продуктивності станція другого підйому виконується як група насосних агрегатів, що працюють паралельно. Вона подає воду в трубопровідну мережу по двох водоводах. При такому з'єднанні кожен з насосів групи впливає на роботу інших насосів цієї групи. Це призводить до того, що подача, тиск, потужність і коефіцієнт корисної дії (ККД) кожного з них суттєво залежать від режимів навантаження агрегатів, що працюють сумісно

Виходячи з розрахунку (2.6), для того, щоб задовольнити вимоги системи щодо подачі та напору, роботи одного насосу номінальної потужності не менше 5 кВт буде достатньо. Тому для підвищення надійності системи в разі аварійного виходу з ладу одного насоса, встановлюється два насосних агрегати паралельно. З метою збільшення терміну роботи насосів перед

першим плановим технічним обслуговуванням, систему керування оснащена функцією потижного перемиканням насосних агрегатів для напрацювання однакової кількості робочих годин з моменту введення в експлуатацію.

### 3.2 Вибір засобів керування системи

Програмований логічний контролер (ПЛК) використовується для автоматизації технологічних процесів таких як управління конвеєрною лінією, насосами на станціях водопостачання, верстатами з числовим програмним керуванням тощо. Особливістю ПЛК є значна кількість пристроїв вводу-виводу для датчиків та виконавчих органів, а також можливість надійної роботи в умовах виробництва та агресивного середовища.

Історично першими дискретними схемами автоматики були схеми, побудовані на основі електромеханічних контактних апаратів (реле, контакторів, магнітних пускачів та ін.). Електромеханічні реле почали застосовувати ще наприкінці 19-го сторіччя. З того часу ідея їх побудови не зазнала суттєвих змін. Розквіт релейно-контактної автоматики припадає на 30-ті роки минулого століття. У цей час було створено схеми автоматики, які виконували досить складні завдання автоматичного керування, наприклад, автоматичне завантаження доменної печі, автоматичне керування процесом прокатування металу, керування складними верстатами-автоматами та ін. Проте ускладнення завдань автоматизації потребувало застосування все більшої кількості електромеханічних апаратів, ускладнювало проектування, виготовлення та експлуатацію схем автоматики, суттєво знижувало їх надійність.

Поставлена задача не вимагає від контролера наявності великої кількості аналогових та дискретних входів/виходів і вирішення складних задач комунікації.

З каталогу [9] оберемо програмований контролер серії S7-1200 виробництва SIEMENS. Даний контролер спроможний вирішувати задачі логіки, задачі автоматичного регулювання різного роду та керування переміщенням, виконувати математичну обробку інформації. Володіє

широкими функціональними можливостями, відрізняється відносно невисокою вартістю і може використовуватись в усіх секторах промислового виробництва, а також в системах автоматизації будівель.

Дана серія контролерів має декілька типів центральних процесорів різної продуктивності на вибір. Розглянемо центральний процесор типу CPU 1211C, який є найпростішим для програмованих контролерів S7-1200. Зовнішній вигляд процесору зображено на рис. 3.2 та схема зовнішніх підключень на рис. 3.3.



Рисунок 3.2 – Зовнішній вигляд процесора CPU 1211C

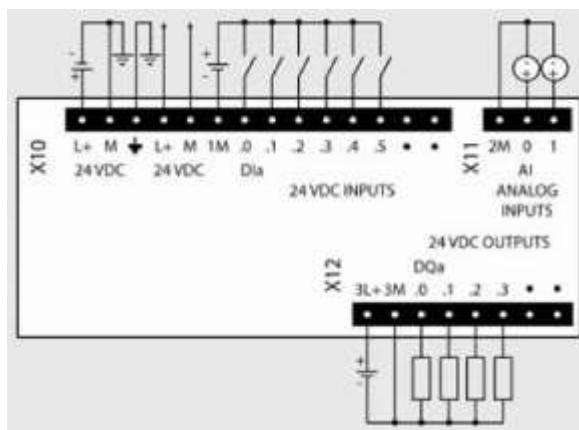


Рисунок 3.3 – Схема підключень зовнішніх кіл процесора CPU 1211C

Контролер оснащений комунікаційною модуль платою для встановлення PtP з'єднань через послідовний інтерфейс RS485, що дозволяє пов'язати контролер з перетворювачами частоти мережевою шиною.

Для виводу текстової інформації та графіків, а також для зручності перевірки оператором коректності роботи, відслідковування аварій та налаштування параметрів системи, контролер доповнюється операторною панеллю.

Операторна панель типу KTP 400 Basic mono PN серії Basic Panel виробництва SIEMENS зображена на рис. 3.5 є бюджетним варіантом панелі, яка може використовуватись для вирішення задач оперативного керування і моніторингу на рівні виробничих машин та установок промисловості, а також в системах автоматизації будівель.



Рисунок 3.4 – Зовнішній вигляд панелі оператора KTP 400 Basic mono PN

Зв'язок між панеллю та процесором контролера здійснюється за допомогою вбудованого інтерфейсу PROFINET.

Процесор контролера має живлення постійною напругою 24В, тому для застосування його в мережі живлення 220В встановлюється блок живлення з перетворення AC220 to DC24 виробництва Meanwel.

На сьогоднішній день існує багато виробників привідної техніки і кожен виробник пропонує користувачеві вибір між безліччю серій та моделей перетворювачів частоти, які розроблялись для певних застосувань. Тому критерієм вибору ПЧ є можливість адаптувати його для роботи з насосним агрегатом, у випадку даної системи, потужністю 7.5 кВт та номінальним струмом двигуна 15 А, наявність цифрових та аналогових входів, а також можливість з'єднати обраний привід через послідовний інтерфейс RS485 з контролером.

Серед запропонованих на ринку перетворювачів частоти оберемо привід VLT AQUA Drive FC-202 виробництва компанії Danfoss номінальної потужності 7.5 кВт та струмі 16 А. ПЧ даної серії є високоефективними приводами управління двигунами змінного струму в системах водопостачання та водовідведення.

В якості захисного обладнання насосу спрямованого на попередження запуску агрегати при відсутності рідини у вхідному трубопроводі використовуються реле різного типу. Найпоширенішими серед них є реле тиску та реле потоку. Порівнявши середні ціни на ринку одного та іншого приладу, обираємо реле тиску, яке є найпростішим та відносно не дорогим засобом вирішення поставленої задачі. Обираємо реле виробництва компанії Danfoss серії KPI35. Реле призначене для регулювання, поточного контролю та аварійної сигналізації в промисловості. Оснащене однополюсним вимикачем, який замикає або розмикає електричний контур при зміні тиску в системі порівняно із заданим значенням.

### 3.3 Розробка програми управління процес в середовищі TIA Portal

Робота програмованого контролера полягає в тому, що за допомогою свого процесору він зчитує й виконує записані у пам'ятовуючому пристрої команди, відповідно з якими приймає та обробляє сигнали, які надходять на його входи, і виконує подачу сигналів на необхідні виходи [10].

Найпоширенішими мовами програмування логічних контролерів є LD (Ladder Diagram) — мова релейної логіки, яку зручно використовувати при заміні схем, виконаних за релейною технікою; FBD — функціональні блокові діаграми – графічна мова програмування. Програмування полягає у розміщенні на полі набору логічних блоків I, АБО, НІ, тригерів, таймерів, блоків обробки сигналів та встановлення зв'язків між ними. IL — список інструкцій (команд).

У зв'язку з використанням контролера виробництва компанії Siemens, доцільно використовувати спеціально створене інтегроване середовище

розробки програмного забезпечення систем автоматизації технологічних процесів – TIA Portal. Дане середовище використовує мову програмування LD, яка забезпечує наочний інтерфейс логіки роботи контролера, який полегшує не лише завдання для програмування і введення в експлуатацію, але і швидкий пошук несправностей в обладнанні, яке підключається до контролера.

Елементна база мови побудована на контактах, які можна порівняти з парою контактів реле або кнопки. І так само як нормально замкнуті і нормально розімкнуті кнопки в електричних ланцюгах, розрізняються нормально замкнуті і нормально розімкнуті контактні елементи. П – м

$\text{—} | \text{—}$  – позначення нормально розімкненого контакту, який знаходиться у розімкненому стані, доки присвоєна йому змінна не набуде значення true.

$\text{—} | / \text{—}$  – позначення нормально замкнутого контакту, який навпаки знаходиться у замкнутому стані, доки присвоєна йому змінна не набуде значення true.

$\text{—} ( ) \text{—}$  – позначення котушки, значення якої формується підсумком логічного кола.

Для того, щоб зробити програму більш легкою для читання та розуміння, можна розбити її на таку кількість частина, яку бажає користувач. Мови програмування контролера підтримують такий підхід до програмування, забезпечуючи необхідні функції. Кожна така частина програми повинна бути самодостатньою і вирішувати технологічну або функціональну задачу. Такі частини програми називаються блоками [11].

Для великих і складних програм розділення на блоки (структурування) рекомендована і частіше за все є необхідністю. Серед різних типів блоків користувач обирає ті чи інші в залежності від умов застосування.

Розрізняють чотири типи користувацьких блоків. Організаційні блоки OB – тип блоків, які слугують інтерфейсом між операційною системою і програмою користувача. Операційна система викликає ПЛК викликає організаційні блоки при виникненні особливої події, наприклад переривання часу доби. Функціональні блоки FB – блоки, які представляють собою частини



програми, виклик яких може бути запрограмований за допомогою параметрів блоку. Володіють областю пам'яті для змінних, які розміщені у блоці даних. Функції FC – блоки, які використовуються для програмування складних функцій автоматики або для тих, що часто повторюються. Функції можуть назначати параметри та повертати значення до блоку, який викликається. Блоки даних DB – містять дані програми. Програмуючи блоки даних, визначається, в якій формі будуть збережені дані.

Максимальне число для кожного типу блока та розмір цих блоків визначається типом ПЛК. Число організаційних блоків та їх номери фіксовані і назначаються операційною системою.

На рис. 3.6 показано алгоритм керування двома двигунами за допомогою функціонального блоку FB-10 та двох різних блоків даних. В блоках даних DB-10 та DB-11 збережено різні дані призначені для відповідних двигунів, наприклад, робоча швидкість, час роботи, швидкість розгону.

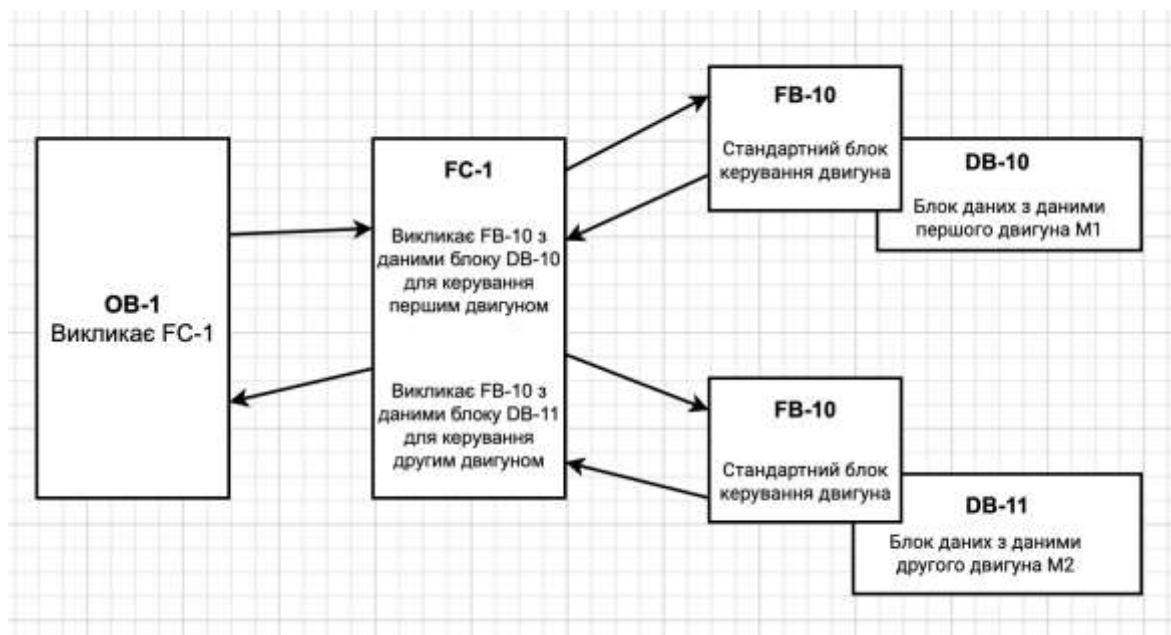


Рисунок 3.6 – Алгоритм керування двома двигунами

За допомогою середовища розробки програмного забезпечення TIA Portal було розроблено програму управління двигунами насосних агрегатів спроектованої системи.

Розглянемо частину розробленої програми для вирішення поставленої задачі. На рис. 3.7 показано складові релейної схеми та блоки, спільна робота

яких відповідає за запуск двигуна. Таким чином, сигнал до функціональних блоків роботи двигуна M1, надійде при виконанні наступних умов: перемикач режиму роботи повернуто в положення Автоматична робота («Auto\_P1»), відповідний перетворювач частоти готовий до роботи («Pusk\_FC1») та початково двигун M1 не перебуває у роботі («Work\_M1»). Після виконання перелічених умов, функціональні блоки передають закладену в них програму роботи двигуна до перетворювача частоти за допомогою шини зв'язку Modbus («Data\_modbus»).

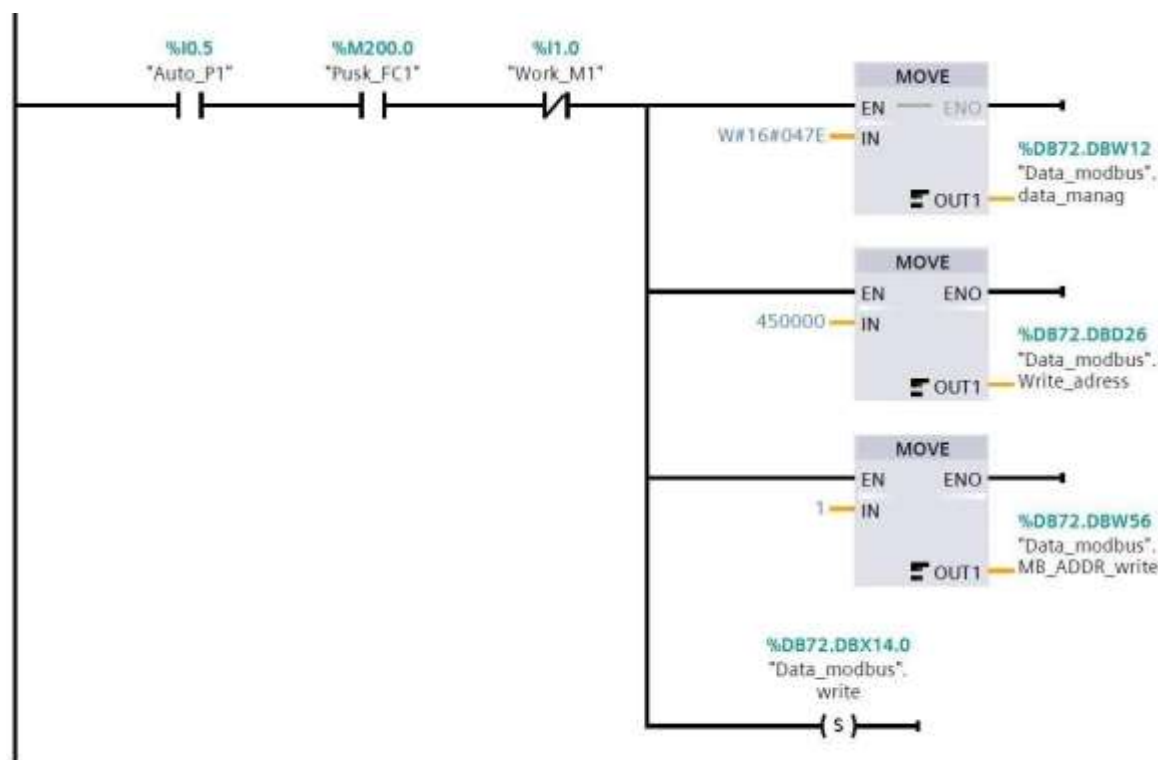


Рисунок 3.7 – Робоча програма контролера (запуск двигуна)

Однак, для звичайного користувача (обслуговуючого персоналу станції) втручання в роботу програми для зміни параметрів або аналізу відпрацьованих процесів, використання програмного забезпечення TIA Portal досить незручне і вимагає деяких навичок програмування та наявність переносного комп'ютера. Тому, для полегшення процесу налаштування системи після введення її в експлуатацію та наглядного та зрозумілого відображення необхідних показників використовується панель оператора. Зв'язок

контролера з панеллю оператора реалізується за допомогою вбудованого інтерфейсу PROFINET.

На рис. 3.8 – 3.10 зображено компіляцію робочої програми відображення виносної панелі. У робоче вікно програми виведено симуляцію роботи панелі, яка дає інформацію про показники стану системи.

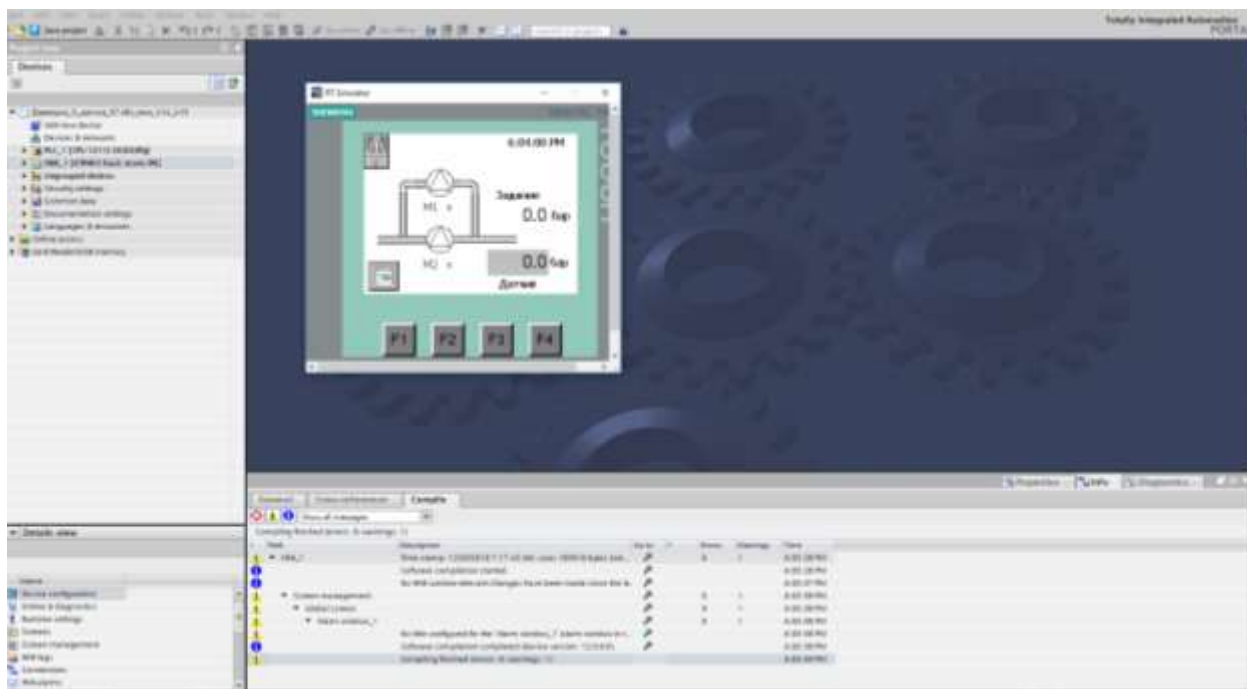


Рисунок 3.8 – Робоче вікно програмного середовища із симуляцією відображення базового зображення панелі оператора

На рис. 3.8 представлено загальний вигляд робочої області середовища розробки програмного забезпечення TIA Portal з виведеним результатом симуляції головного екрану панелі керування. Як видно, виведене зображення та показники на графічній панелі доволі прості та інтуїтивно зрозумілі.



Рисунок 3.9 – Симуляція роботи панелі оператора для відображення основних показників двигуна насосу

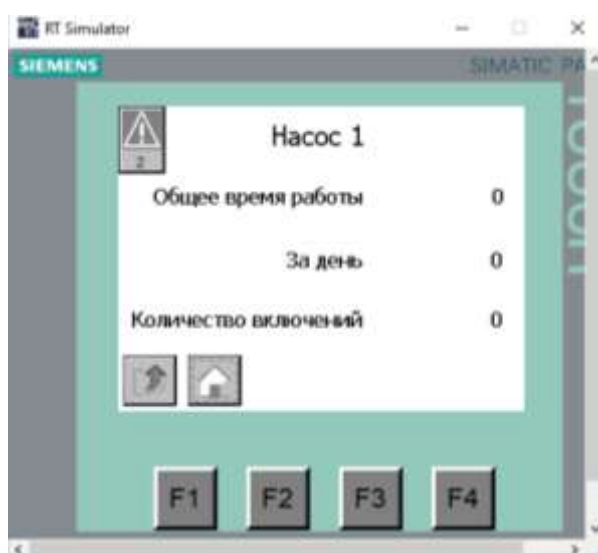


Рисунок 3.10 – Симуляція роботи панелі оператора для відображення напрацьованих годин насосного агрегату

За допомогою вбудованих клавiш панелі оператора, користувач може здійснювати переходи вікон відображень поточних значень необхідних параметрів. На приклад, на рис.3.9 показано вікно з основними параметрами двигуна насосу 1, перехід до якого було здійснено з головного вікна панелі натисненням клавiші F1. Далі до вікна «Время работы», вигляд якого зображено на рис. 3.10, можливо перейти шляхом натиснення клавiші F3. Повернення до попереднього вікна здійснюється натисненням клавiші F1.

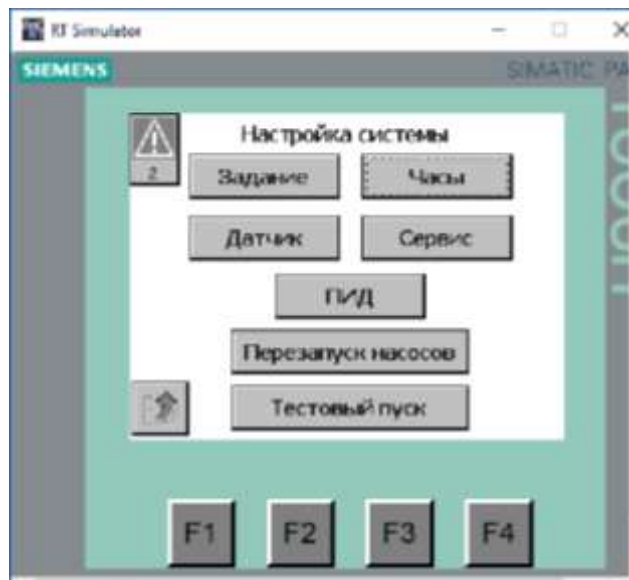


Рисунок 3.11 – Панель налаштування системи

При описі локальних параметрів для завдання практичної роботи, необхідні наступні змінні:

Input:

emergency\_off Тут EMERGENCY OFF функція вводиться

start\_signal Тут вводиться кнопка Старт

safety\_fence\_closed Тут вводиться стан Решітки безпеки

cylinder\_extended Тут, вводиться стан датчика Cylinder Extended

Output:

cylinder\_out\_in Тут, записується стан для вихідного циліндра преса

При реалізації управління роботи пресу використовуються оператори бітової (мулевої) логіки (bit logic operation), що знаходяться в лівій частині програмного середовища в розділі базові інструкції. Оператор – це символ арифметичних і логічних операцій, або виклик функціонального блоку (FB). Оператор S (Set) встановлюється в true вказаний операнд, якщо поточний результат має логічне значення true, і нічого не робить, коли зміст АК рівне false. Оператор R (Reset) скидає зазначену булевої змінної в false, якщо АК має значення true, і нічого не робить в іншому випадку. КОМАНДИ S і R не мають модифікаторів.

Після того як оголошені локальні змінні, програма може бути введена за допомогою імен тегів. В перших двох мережах – з інструкцією MOVE або

число з плаваючою точкою 0.0 ( $S1 == 0$ ) або 700.0 ( $S1 == 1$ ) копіюється до локального тегу.

В доповнення до дозволяючого входу (enable input) EN і дозволяючого виходу (ENO) блоковий елемент MOVE (рис. 3.12) має вхід IN і вихід OUT. На вхід IN і вихід OUT можна задіяти всі цифрові операнди і цифрові змінні простих типів даних (за винятком BOOL – логічного типу). Змінні входу IN і виходу OUT можуть мати різні типи даних. Блоковий елемент MOVE переміщує інформацію операнда на вході IN в операнд на виході OUT. Блоковий елемент MOVE тільки тоді робить передачу інформації, коли дозволяючий вхід (enable input) дорівнює «1» або не використовується, і коли головне реле управління (master control relay, MCR) не активовано. Якщо EN = «1» і MCR активовано, то на вихід OUT записується нуль. При наявності «0» на дозволяючому вході операнд на виході OUT залишається незмінним. MOVE про помилку не повідомляє.

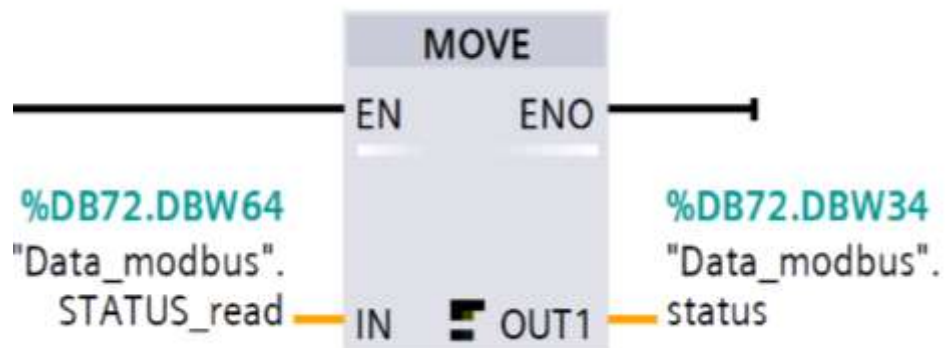


Рисунок 3.12 – Блок Move

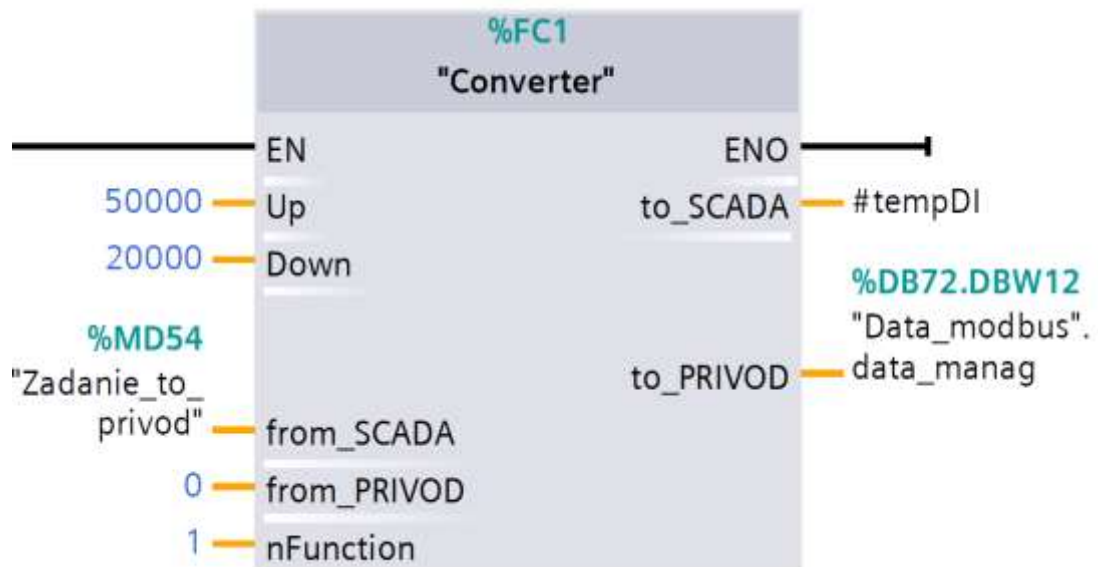


Рисунок 3.13 – Блок Converter

Важливим є використання правильного типу даних в реальному масштабі; в іншому випадку, він не буде сумісний в наступній програмі з блоком ПД-контролера, що буде використовуватися. Для наочності, всі локальні змінні також повинні бути забезпечені достатнім коментарем.

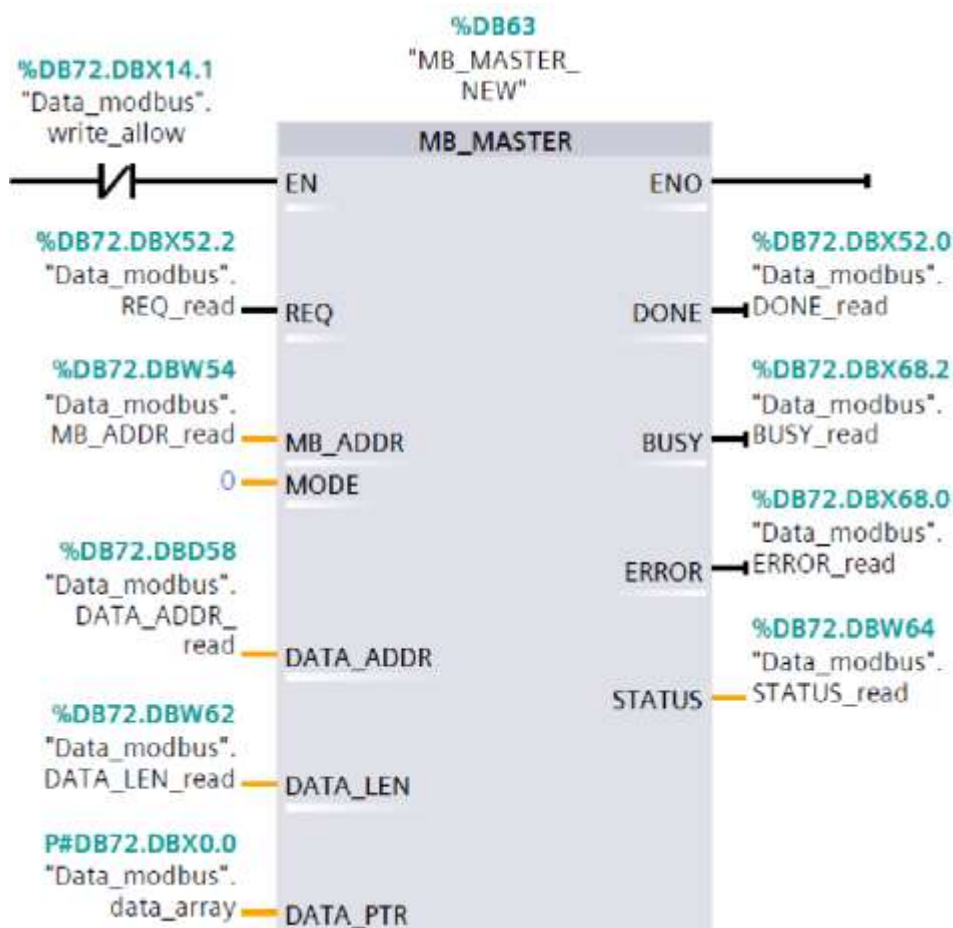


Рисунок 3.14 – Блок DB

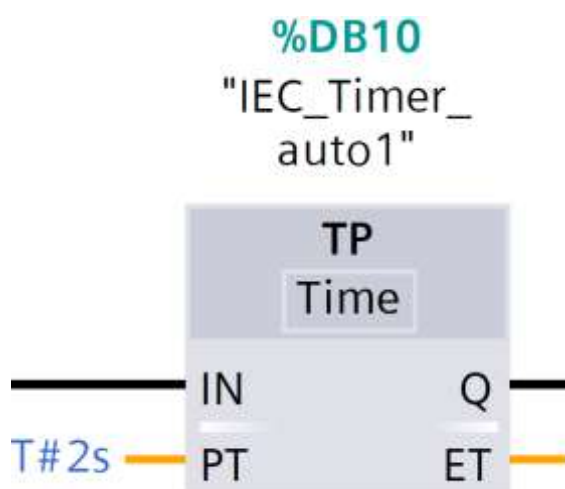


Рисунок 3.15 – Блок DB, що виконує функцію таймера

Необхідно вибрати “Організаційний блок (OB)”, де вибрати тип циклічне переривання. Як мову програмування, вказати FBD. Номери блоку присвоюється автоматично. Постійну часу сканування залишаємо на 100 мс. Після вибору необхідних параметрів натискаємо ОК.



ПІД-регулятор повинен викликатися з постійним часом сканування (тут 100мс), так як його обробка має вирішальне значення щодо часу. Робота контролера не може бути оптимізована, якщо вона не буде викликатися відповідно.

Блок управління переміщається в третю мережу. Так як цей блок не має можливості кількох примірників, він повинен бути призначений в якості блока даних з одиничним примірником (single instance).

Необхідно вибрати «Basic settings» («Базові параметри»), такі як тип контролера й налаштування внутрішньої структури контролера. (Basic settings Controller type Volume 1 actual value: Input\_PER(analog) manipulated value: Output\_PER).

В «Process value settings» («Налаштування значень процесу») ми встановлюємо діапазон виміру. Межі повинні бути скориговані.

### Висновок до розділу

В розділі було описано основні параметри та функціонал системи. Визначено основні режими роботи, засоби для запобігання аварійних режимів, засоби що необхідні для контрольних вимірювань. Використовуючи інтегроване середовище розробки TIA Portal було спроектовано систему керування, розроблено структуру панелі оператора, панель контролю роботи та налаштування системи. Дана система розроблена на мові Ladder Diagram, що легко адаптується для подальшої розробки подібних систем.

**МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ**  
**Чорноморський національний університет імені Петра Могили**  
**Факультет комп'ютерних наук**  
**Кафедра автоматизації та комп'ютерно-інтегрованих технологій**

**ДОПУЩЕНО ДО ЗАХИСТУ**  
В. о. завідувача кафедри АКІТ,  
кандидат технічних наук, доцент

\_\_\_\_\_ М. І. Сіделєв  
“ \_\_\_\_ ” \_\_\_\_\_ 2024 р.

**МАГІСТЕРСЬКА НАУКОВА РОБОТА**  
на тему: «Система моніторингу та керування насосною станцією  
водяного каналу»

**СПЕЦІАЛЬНИЙ РОЗДІЛ З ОХОРОНИ ПРАЦІ**  
**ТА БЕЗПЕКИ У НАДЗВИЧАЙНИХ СИТУАЦІЯХ**

Спеціальність 151 «Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології»

151 – МНР – 671.

Студент \_\_\_\_\_ Мальцев Є.Є.

Керівник \_\_\_\_\_ Сіделєв М. І.

Консультант \_\_\_\_\_ Григор'єва Л.І.  
18.06.2024

Миколаїв – 2024

## РОЗДІЛ 4. ОХОРОНА ПРАЦІ ТА БЕЗПЕКА У НАДЗВИЧАЙНИХ СИТУАЦІЯХ

Для виконання прикладної частини було обрано виробниче приміщення МОП «Мальцев», яке розташовано на орендній основі в офісному приміщенні ТОВ «ENERGY». Протягом навчання за магістерською програмою дипломник виконував роботи, пов'язані з автоматизацією роботи елементів енергетичних установок різного призначення (насосів, вентиляторів, компресорів та ін.). Одне з виробничих завдань взято за основу кваліфікаційної роботи.

Було здійснено розрахунок інтегральної оцінки умов праці та наведено шляхи зменшення нервово-емоційного навантаження працівників.

Розглянуто питання забезпечення безпеки персоналу при порушенні вимог пожежної безпеки та електробезпеки, а також деякі питання, пов'язані з введенням в Україні військового стану.

### 4.1 Оцінка умов праці на робочих місцях МОП «Мальцев»

#### 4.1.1 Загальна характеристика офісного приміщення

Офісне приміщення, що належить ТОВ «ENERGY» розташовано на другому поверсі трьохповерхової будівлі, що знаходиться у м. Миколаєві, по вулиці Велика Морська, 45. Загальна площа приміщення складає 88,20 м<sup>2</sup>.

Приміщення складається з трьох окремих секцій. Секція розробників програмного забезпечення МОП «Мальцев» має розміри  $a \times b \times H = 5 \times 4 \times 3$  м. Тобто його площа складає 20 м<sup>2</sup>, а об'єм 60 м<sup>3</sup>. Інші функціональні підрозділи розташовані у суміжних секціях, відгородженими легкими переборками.

Виробниче приміщення має сучасний офісний інтер'єр. Меблі нові та комфортні. Кольорове оформлення стелі та стін однотонне, не відволікає від робочого процесу. Вікна обладнані світлозахисними пристроями у вигляді вертикальних регульованих жалюзі. У приміщенні розташовано три робочих місць, обладнаних сучасними персональними комп'ютерами з необхідними

периферійними пристроями. Для зберігання робочої документації передбачені три шафи індивідуального виготовлення, а також металевий сейф для зберігання документації обмеженого користування.

Згідно з дозвільною документацією будівля та самі виробничі приміщення, відповідають II степені вогнестійкості відповідно ДБН В.1.1.7-2002.

Площа одного робочого місця в секції розробників програмного забезпечення МОП «Мальцев» складає  $6,7 \text{ м}^2$ , а об'єм виробничого простору –  $20 \text{ м}^3$  (при нормі згідно з НПАОП 0.00-1.28-10 [1] відповідно  $6.0 \text{ м}^2$  і  $20.0 \text{ м}^3$ ), тобто відповідає нормативним вимогам.

На рис. 4.1 наведено загальний вид офісного приміщення ТОВ «ENERGY». Приміщення площею  $20 \text{ м}^2$  займає саме МОП «Мальцев».

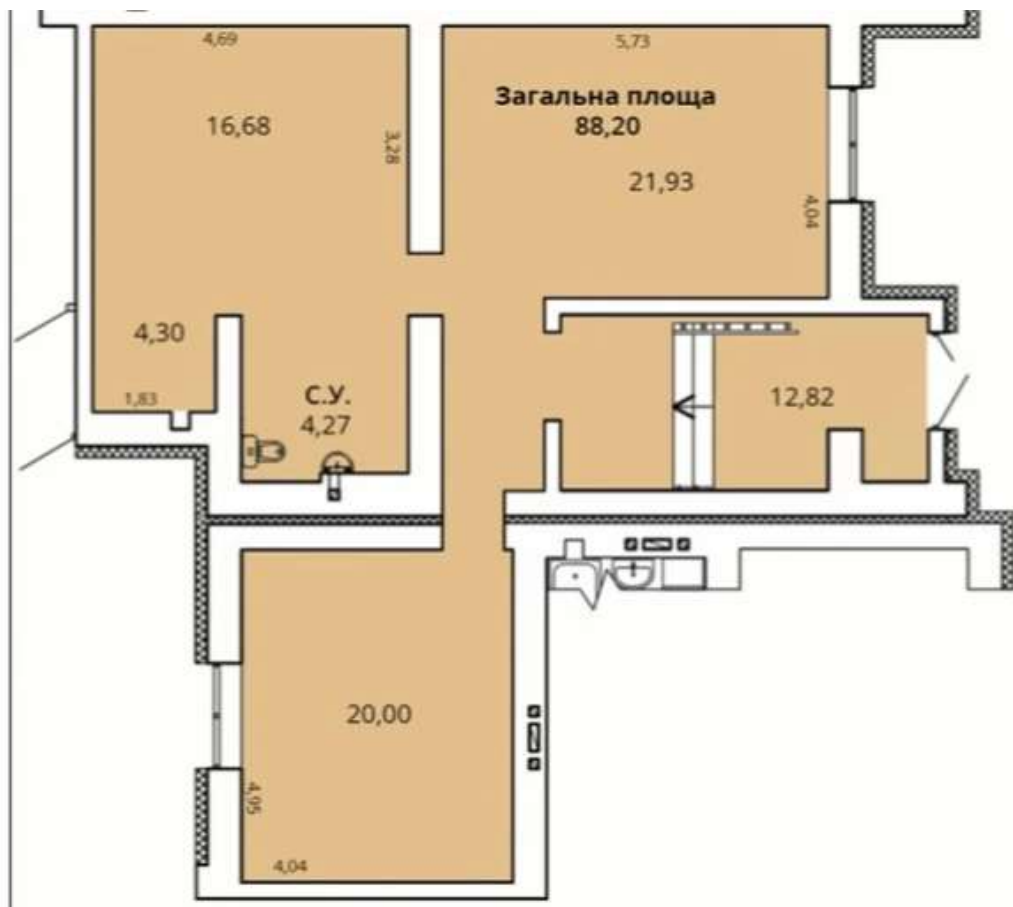


Рис. 4.1. Загальний вид офісного приміщення ТОВ «ENERGY»

Напруга джерела живлення електроспоживної техніки – 220 В. Електромережа виконана у вигляді трипровідної з дотриманням усіх вимог НПАОП 40.1-1.01-97 та НАПБ А.01.001-2004. За безпекою ураження електричним струмом приміщення відноситься до приміщень без підвищеної небезпеки ураження електричним струмом.

Мікрокліматичні умови у літній період (частково у перехідний) забезпечується спліт-системою кондиціонування, якою обладнано приміщення і потужності котрої вистачає для забезпечення комфортних умов праці. У зимовий період опалення здійснюється центральною системою.

Характер зорової роботи персоналу відділу відповідає II і I класам умов праці (відповідно допустимому та оптимальному класам).

Пожежна безпека в обраному виробничому приміщенні забезпечується дотриманням вимог НПАОП 0.00-1.28-18 [1].

Зовнішнє шумове навантаження завдяки сучасним віконним конструкціям зведено до мінімуму. Внутрішнє шумове є допустимим і відповідає його рівню для приміщень із розглянутою специфікою трудового процесу: наявність працюючого офісного обладнання та спілкування персоналу між собою.

З метою дослідження шляхів покращення умов праці у виробничому приміщенні виконано інтегральну оцінку умов праці.

#### **4.1.2 Інтегральна оцінка умов праці в обраному виробничому приміщенні**

Для інтегральної оцінки умов праці в обраному виробничому приміщенні слід здійснити оцінку питомої ваги кожного із представлених факторів виробничого середовища та трудового процесу.

Для інтегральної оцінки умов праці необхідні такі параметри [2]:

$x_{ni}$  – нормативне значення  $i$  – того фактору умов праці (прийняті значення відповідають оптимальному (допустимому) класу умов праці згідно з Гігієнічною класифікацією [3]);

$x_{a\phi_i}$  – дійсне значення  $i$  – того фактору умов праці;

$x_{x_i}$  – оцінка  $i$  – того фактору умов праці, балів;

$t_i$  – тривалість дії  $i$  – того фактору умов праці, хв.;

$t_{num_i}$  – відносна тривалість дії  $i$  – того фактору умов праці (за прийнятої

тривалості робочої зміни  $t_p = 480$  хв.), хв., тобто:

$$t_{num_i} = \frac{t_i}{t_p} = \frac{t_i}{480} ,$$

$x_{\phi_i}$  – фактична оцінка питомої ваги  $i$  – того фактору умов праці, балів, а

саме:

$$x_{\phi_i} = x_{x_i} t_{num_i} = x_{x_i} \frac{t_i}{480} .$$

Згідно з табл. 4.1 визначаємо елемент умов праці, який одержав у балах найбільшу оцінку  $x_{max}$ . Принципово таких елементів може бути декілька.

Такими елементами являються елементи  $x_{16}$ ,  $x_{17}$ , тобто  $= 3$ . Дані елементи вважаються визначаючими.

Далі розраховується:

1. Середній бал усіх елементів крім визначаючого, балів:

$$\bar{x} = \frac{\sum_{i=1}^{n-1} x_{\phi_i}}{n-1} ,$$

де  $n$  – фактична кількість врахованих елементів умов праці (у даному випадку  $n = 18$ ).

Тоді:

$$\bar{x} = \frac{\sum_{i=1}^{n-1} x_{\phi_i}}{n-1} = \frac{0,875+1,75+2+1+1+1+1,75+2+2+1+1,75+1,5+1,5+1+2+1}{18-1} = 1,36$$

2. Інтегральна бальна оцінка умов праці на робочому місці у відділі програмного забезпечення , балів.

$$I_n = 10 * \left( 3 + 1,36 * \frac{6-3}{3} \right) = 43,6$$



Таблиця 4.1. Параметри, що необхідні для розрахунку інтегральної бальної оцінки умов праці на робочому місці

№ з/п	Фактор умов праці на робочому місці	Нормоване значення фактора $X_{Hi}$	Оцінка фактора		Тривалість дії фактора		Фактична оцінка питомої ваги фактора $X_{\Phi i}$
			Абсолютна $X_{abi}$	У балах $X_{xi}$	Хвилини $t_i$	У долях робочої зміни $t_{\text{пит } i}$	
1	Температура повітря на робочому місці (PM) у виробничому приміщенні, °C - теплий період - холодний період	23...25 21...23	24 -	1 -	420 -	0,875 -	0,875 -
2	Відносна вологість повітря на PM, %	40..60	60	2	420	0,875	1,75
3	Швидкість руху повітря на PM, м/с	<0,2	0,2	2	480	1	2
4	Освітленість на PM, лк	200	250	2	240	0,5	1
5	Мінімальний розмір об'єкта розпізнавання, мм	>1	0,5	2	240	0,5	1
6	Виробничий шум, дБА	50	50	1	480	1	1
7	Інтенсивність теплового випромінювання, Вт/м <sup>2</sup>	≤140	750	2	420	0,875	1,75

8	Токсична речовина, озон, кратність перевищення ГДК	$\leq 1$	0.9	2	480	1	2
9	Виробничий пил ( паперовий), кратність перевищення ГДК	$\leq 1$	1	2	480	1	2
10	Робоче місце (РМ), поза та переміщення у просторі	РМ стаціонарне, маса переміщення до 5 кг	РМ стаціонарне, маса переміщення до 5 кг	1	480	1	1
11	Кількість важливих об'єктів спостереження	$< 5$	2	1	420	0,875	1,75
12	Тривалість зосередженого спостереження, % часу зміни	$< 25$	45	2	360	0,75	1,5
13	Тривалість повторюваних операцій, с	$> 100$	90	2	360	0,75	1,5
14	Змінність роботи	Ранкова	Ранкова	1	480	1	1
15	Тривалість безперервної роботи за добу, годин	$< 8$	8	2	480	1	2
16	Режим праці та відпочинку	Обґрунтований з вкл.. музики та гімнастики	Відсутній	3	480	1	3
17	Нервово-емоційне навантаження	Прості дії за індивідуальним планом	Складні дії по заданому плану з можливістю коригування	3	420	1	3
18	Кількість рухів пальців на годину	$< 360$	700	2	240	0,5	1

Отримане значення інтегральної оцінки умов праці ( $I_{\pi} = 43,6$ ) порівнюємо зі значеннями, які вказані в таблиці «Залежність категорії умов праці від величини інтегральної бальної оцінки» [2].

Згідно з даними цієї таблиці умови праці на визначеному робочому місці відносяться до III категорії, коли спостерігається відхилення від ГДК і ГДР факторів трудового процесу та допустимих величин психофізіологічних факторів [2].

Як можна побачити з табл. 4.1, найвищі фактичні оцінки мають фактори «Режим праці та відпочинку» та «Нервово-емоційне навантаження». Отже інтегральну оцінку можна покращити, знайшовши шляхи для зменшення нервово-емоційного навантаження та покращення режиму роботи працівників.

#### **4.1.3 Зменшення нервово-емоційного навантаження працівників**

Виконання будь-якої роботи протягом тривалого часу супроводжується стомленням організму, що проявляється в зниженні працездатності людини. Разом з фізичною і розумовою роботою значну дію на стомлення надає і навколишнє виробниче середовище, тобто умови, в яких протікає його робота.

Звичайно, велику роль грає саме приміщення, в якому працює людина та обладнання, яким вона користується під час праці. Проте не менше (а можливо навіть трохи більше) уваги потрібно приділяти нервово-емоційному стану працівників. При постійному виконанні монотонної роботи у людини може виникнути синдром вигорання. Синдром вигорання – це фізичне, емоційне або мотиваційне виснаження.

З метою профілактики професійного вигорання спеціалістів необхідно здійснювати заходи, які допоможуть зменшити дію основних факторів, що спричиняють вигорання, серед яких: хронічно напружена психоемоційна діяльність, суперечності в стратегічному і тактичному керівництві, надмірні вимоги до працівників, відсутність об'єктивних критеріїв для оцінки результатів праці, неефективна система мотивування і стимулювання

співробітників, нестабільність робочого графіку, а також ізольованість персоналу.

З боку організації є ряд домінуючих профілактичних напрямків для зменшення нервово-емоційного навантаження, що далі розглянуто.

**Розвиток систем мотивації.** Мотивація персоналу це створення сприятливих умов і стимулів, які спонукають співробітників працювати з більшою самовіддачею, з націленістю на якість і результат. Мотивація може бути:

1) матеріальна (премії, фінансові бонуси, путівки та інші грошові заохочення);

2) нематеріальна (грамоти, новий кабінет, коригування робочого графіка).

**Поліпшення умов праці.** Під поліпшенням умов праці мається на увазі покращення робочого місця, надання нового обладнання та техніки.

**Тімблдінг.** Тімблдінг – це спосіб з окремих професіоналів створити команду, яка орієнтована на досягнення спільних цілей. В групі співробітників людина відчуває себе найманим працівником, який прийшов заробляти гроші, а в команді для нього важливий успіх справи в цілому.

Тімблдінг допомагає вирішити кілька завдань:

1) створити в колективі почуття єдності. Воно досягається спільним виконанням співробітниками складних завдань.

2) замість атмосфери конкуренції створити відчуття єдності. Воно досягається, як правило, в результаті спільної роботи або командних ігор.

3) розвинути в колективі дух довіри і взаєморозуміння завдяки спільному активному проведенню часу.

4) зміцнити довіру до керівництва. Як правило, мета досягається завдяки тому, що лідер бере участь в тімблдінзі нарівні з рядовими учасниками команди.

Найбільш ефективними видами тімблдингу вважаються:

1) спортивний і екстремальний;

2) інтелектуальний і психологічний;

3) творчість.

**Підвищення заробітної плати.** Даний фактор є очевидним для будь-якої сфери виробничої діяльності.

**Соціальний захист працівників.** Він включає в себе: створення безпечних умов праці, які б давали можливість заробляти кошти для гідного існування та виключали отримання травм і професійних захворювань працівників на виробництві; запровадження необхідних заходів щодо охорони праці та соціального захисту громадян у випадку професійних захворювань та нещасних випадків; забезпечення працівників та членів їх сімей прожитковим мінімумом матеріальних засобів у разі безробіття, втрати або зниження доходу внаслідок хвороби, народження дитини, нещасного випадку в побуті, виробничої травми або професійного захворювання, інвалідності, старості, втрати годувальника.

**Запобігання (викорінення) негативу в колективі.** Даний фактор є очевидним для будь-якої сфери виробничої діяльності.

**Впровадження в компанію спеціальних тренінгів, рольових та ділових ігор, залучення коучів, активних наставників.** Кожен з цих шляхів буде дуже корисним для будь-якої організації. Використання навіть одного чи двох напрямків може значно покращити емоційний стан працівників, а також позитивно вплинути на продуктивність праці.

## 4.2 Забезпечення безпеки персоналу в умовах надзвичайної ситуації

### 4.2.1 Пожежна безпека

Будівля офісного приміщення ТОВ «ENERGY» відноситься до II ступені вогнестійкості всі конструкції (стіни, перекриття, покриття, перегородки) виготовлені з негорючих матеріалів з межею вогнестійкості від 0,25 років до 4 років.

В приміщенні, що аналізується, наявні такі потенційні джерела пожежної небезпеки: ПЕОМ, світильники, принтер, кондиціонер, а також електрична проводка і розетки, що забезпечують постачання електроенергії. Також тут

присутні меблі з горючих і легкозаймистих матеріалів (ДСП, дерево, пластмаса, синтетичні тканини), папір, ламінат. В робочому приміщенні відсутні горючі рідини.

Згідно з НАПБ Б.03.002-2007 дане приміщення можна віднести до категорії В – приміщення, що містить горючі тверді, волокнисті матеріали.

Відповідно до списку потенційних джерел пожежної небезпеки, наведеного вище, пожежа може виникнути в результаті наступних ситуацій:

– несправність електромережі, коротке замикання, пошкодження захисних оболонок електромережі, перевантаження електричної мережі, несправності споживачів електроенергії;

– порушення правил пожежної безпеки з боку працівників: паління в кабінеті, використання побутових нагрівачів, тощо.

Для уникнення такої ситуації, кожен працівник має проходити первинний і повторні інструктажі з правил пожежної безпеки згідно чинних нормативних актів, а також в приміщенні потрібно розміщувати пам'ятку у вигляді витягу з правил пожежної безпеки для постійного нагадування останніх працівникам.

Крім того слід використовувати такий комплекс заходів:

– заборона використання відкритого вогню у приміщенні; – наявність системи автоматичної пожежної сигналізації з димовими пожежними оповіщувачами;

– ступінь вогнестійкості будівлі, у якій розташовано приміщення – II; – наявність шляхів евакуації при виникненні пожежі;

– розміщення схеми евакуації людей при пожежі і ознайомлення з нею персоналу.

Згідно з ППБУ, в приміщенні, що аналізується, необхідна присутність наступного:

1. Переносні засоби пожежогасіння: по одному вуглекислотному вогнегаснику з величиною заряду вогнегасної речовини 3кг і більше на кожні 20 м площі приміщення, де використовується ПЕОМ. В нашому випадку, це

має бути як мінімум 2 вогнегасники марки ВВ-5 (величина заряду вогнегасної речовини 3,5 кг).

2. План евакуації з приміщення.

3. Система протипожежних датчиків, пожежна сигналізація.

Приміщення має один вихід, оскільки в ньому працює менше 25 чоловік. Ширина проходу між робочими місцями у приміщенні перевищує 1 м. Сходові клітки мають природне освітлення в комбінації зі штучним. Сходи та приміщення обладнані системою евакуаційного освітлення. Співробітники ознайомлені з порядком і планом евакуації.

Отже, шляхи евакуації з приміщення повністю відповідають нормам.

#### **4.2.2 Електробезпека**

Проаналізуємо обране виробниче приміщення на можливість ураження персоналу електричним струмом. Визначимо групу електробезпечності даного приміщення.

Ознаки підвищеної небезпеки ураження електрострумом:

- наявність вологості;
- наявність температури більш ніж 35 °С;
- наявність струмопровідного пилю;
- наявність струмопровідної підлоги;
- можливість одночасного дотику до корпусів чи струмопровідних елементів та до елементів, що мають зв'язок з землею.

Ознаки особливої небезпеки ураження електрострумом:

- наявність особливої вогкості;
- наявність хімічно активного середовища.

Розглянуте виробниче приміщення не має жодної ознаки особливої або підвищеної небезпеки ураження персоналу струмом. Тому за групою електробезпечності воно відноситься до приміщень без підвищеної небезпеки ураження струмом.

Споживачі електроенергії: три ПЕОМ, два дисплеї, один принтер, чотири світильники, один кондиціонер та один сервер. Кожне робоче місце обладнане 4-ма розетками по 220 В, окремо існують розетки для кондиціонеру та серверу. Всі прилади використовують саме цю напругу. Усі кабелі ізольовані. Заземлені конструкції захищені діелектричними сітками від випадкового дотику. Усе електроустаткування має апаратуру захисту від струму короткого замикання.

Лінія електромережі для живлення ЕОМ та периферійних пристроїв ЕОМ виконується як окрема групова три-провідна мережа, шляхом прокладання фазового, нульового робочого та нульового захисного провідників.

При виконанні робіт по ремонту і обслуговуванню ПЕОМ обслуговуючий персонал зобов'язаний керуватися "Правилами техніки безпеки при експлуатації електроустановок споживачами". До роботи не допускаються особи, які не пройшли навчання з техніки безпеки.

Даний виробничий об'єкт задовольняє вимоги щодо електробезпеки у приміщенні, в якому встановлені ЕОМ, відображені в НПАОП 0.00-1.28-18.

#### **4.2.3 Дії персоналу при загрозах, пов'язаних з воєнним станом**

##### **Порядок дій при виявленні предмета, схожого на вибуховий пристрій.**

Ознаками реальної небезпеки здійснення загрози вибуху можуть бути:

1. Наявність предметів сумнівного походження (сумки, пакети, кейси, коробки), випадково залишених.

2. Предмети, що мають явні ознаки стандартних армійських боєприпасів, форму ручних осколкових гранат, мають характерне зеленого кольору захисне забарвлення; сліди ремонтних робіт, ділянки з порушеним забарвленням, не передбачені конструктивною необхідністю об'єкта; електроприлади та антенні пристрої, натягнуті дроти, шнури й проводи, скотч, ізоляційна стрічка, сліди злому, таємного проникнення.

З метою захисту від можливого вибуху забороняється:



1. Торкатися і переміщати підозрілі предмети.
2. Заливати рідинами, засипати сипучими речовинами або накривати будь-якими матеріалами.
3. Користуватися електрорадіоапаратурою (радіо- і мобільними телефонами) поблизу від підозрілого предмета.
4. Надавати температурний, звуковий, механічний та електромагнітний вплив.

З метою вжиття невідкладних заходів щодо ліквідації загрози вибуху необхідно:

1. Поводитися з підозрілим предметом як з вибуховим пристроєм, будь-яку загрозу сприймати як реальну до тих пір, поки не буде доведено протилежне.
2. негайно повідомити повну і достовірну інформацію про виявлення підозрілого предмета в правоохоронні органи.
3. Зафіксувати час і місце виявлення.
4. Звільнити від людей небезпечну зону в радіусі не менше 100 м.
5. По можливості забезпечити охорону підозрілого предмета й небезпечної зони.
6. Необхідно забезпечити (допомогти забезпечити) організовану евакуацію людей з території, прилеглої до небезпечної зони.
7. Дочекатися прибуття представників правоохоронних органів, вказати місце розташування підозрілого предмета, час і обставини його виявлення.
8. Далі діяти за вказівкою представників правоохоронних органів.
9. Бути готовим описати зовнішній вигляд предмета, схожого на вибуховий пристрій.
10. Самостійне знешкодження, вилучення або знищення вибухового пристрою категорично забороняються!

**Порядок дій персоналу при отриманні повідомлення про підготовку вибуху.** При отриманні повідомлення про підготовку вибуху або вибух, що вже трапився, необхідно:

1. негайно припинити роботу.
2. Відключити від мережі закріплене електрообладнання.
3. Прийняти по можливості заходи щодо евакуації відвідувачів і співробітників, підготувати до евакуації майно, службові документи та матеріальні цінності.
4. Повідомити безпосередньому керівнику і оповістити інших співробітників.
5. При загальному сигналі небезпеки без паніки відповідно до плану евакуації покинути будівлю по найближчих маршовим сходам, керівникам вивести за межі небезпечної зони всіх працівників.
6. відновити після отримання відповідного дозволу від керівництва адміністрації

**Порядок дій під час вступу загрози терористичного акту по телефону.**

Після повідомлення по телефону про загрозу вибуху або про наявність вибухового пристрою не вдаватися в паніку. Бути стриманими і ввічливими, не перебивати мовця. Постаратися відразу повідомити про цю загрозу свого колегу; по можливості, одночасно з цією розмовою повідомити в правоохоронні органи і попередити керівництво підприємства про загрозу та номер телефону, за яким зателефонував передбачуваний терорист.

Намагайтесь тягнути час телефонної розмови наскільки можливо, перепитувати та просити повторити повідомлення, посиляючись на поганий зв'язок, чи неякісну роботу телефонного апарату, щоб мати можливість записати розмову повністю.

Запишіть все, що було сказано терористом, в тому числі про місце розміщення вибухового пристрою, його тип і часу вибуху, та на яких умовах його можна уникнути. По ходу розмови відзначте стать та приблизний вік людини, яка телефонувала, особливості його мови, обов'язково вкажіть

звуковий фон (шум автомашин або ж.-д. транспорту, звук теле- або радіоапаратури, голоси).

Для визначення телефонного номера, з якого надійшла загроза, не вішайте слухавку після закінчення розмови. Не повідомляйте про загрозу нікому, окрім тих, кому про це необхідно знати відповідно до інструкції, щоб не викликати паніку і виключити непрофесійні дії по виявленню вибухового пристрою. Якщо ви отримали повідомлення про загрозу вибуху і наявність вибухового пристрою, то повинні негайно сповістити правоохоронні органи.

**Порядок дій при захопленні в заручники.** Будь-яка людина за збігом обставин може виявитися заручником у злочинців. При цьому вони, злочинці, можуть прагнути досягнення певних політичних цілей, отримання викупу і т.д.

У всіх випадках ваше життя стає предметом торгу для терористів. Якщо ви опинилися заручником, необхідно дотримуватися наступних правил поведінки:

1. Не допускайте дій, які можуть спровокувати нападників до застосування зброї і привести до людських жертв.
2. Не реагуйте на образи, не дивіться в очі злочинцям, не ведіть себе зухвало.
3. При необхідності виконуйте вимоги злочинців, не суперечте їм, не ризикуйте життям оточуючих і своїм власним, намагайтеся не допускати істерик і паніки.
4. На вчиняйте будь-яких дій (сісти, встати, попити, сходити в туалет), завжди питайте дозволу.
5. Будьте уважні, намагайтесь запам'ятати прикмети злочинців, відмінні риси їхніх облич, імена, клички, можливі шрами і татуювання, особливості мови і манери поведінки. Пам'ятайте, що отримавши повідомлення про ваше захоплення у заручники, спецслужби вже почали діяти і зроблять все необхідне для вашого звільнення.

Під час проведення спецслужбами операції по вашому звільненню неухильно дотримуйтесь таких інструкцій:

1. Лежіть на підлозі обличчям вниз, голову закрийте руками і не рухайтесь.
2. Ні в якому разі не біжіть назустріч співробітникам спецслужб або від них, так як вони можуть прийняти вас за злочинця.
3. Якщо є можливість, тримайтеся подалі від отворів дверей і вікон.

#### Висновки до розділу 4

Виконано аналіз факторів виробничого середовища та трудового процесу на робочих місцях секції розробників програмного забезпечення МОП «Мальцев». Встановлено, що більшість із зазначених факторів (параметрів) відповідають санітарно-гігієнічним вимогам.

Доведено, що інтегральний оцінку умов праці можливо покращити шляхом впровадження заходів, що сприяють зменшенню нервово-емоційного навантаження та покращення режиму роботи працівників.

Крім того, розглянуто загальні питання забезпечення безпеки персоналу МОП «Мальцев» у надзвичайних ситуаціях, пов'язаних з порушеннями вимог пожежної безпеки та електробезпеки.

Також наведено рекомендації щодо порядку дій персоналу при загрозах, пов'язаних з введенням в Україні правового режиму воєнного стану.

#### Література до розділу 4

1. НПАОП 0.00-1.28-18. Правила охорони праці під час експлуатації електронно-обчислювальних машин : затв. наказом Держгірпромнагляду України від 26.03.2010 № 65. URL : <http://zakon3.rada.gov.ua/laws/show/z0293-10> (дата звернення : 19.04.2018).
2. Гетия И.Г., Леонтьева И.Н., Шумилин В.К. Методические указания по проведению занятия по дисциплине «Безопасность жизнедеятельности» на тему: «Определение интегральной бальной оценки тяжести труда на рабочем месте» . – М.: МГАПИ, 2002 . – 22 с.
3. Гігієнічна класифікація праці за показниками шкідливості та небезпечності факторів виробничого середовища, важкості та напруженості трудового процесу //Охорона праці. – 2001. –№ 12. – С. 12-20.

## ВИСНОВКИ

Під час виконання магістерської роботи було досягнуто поставлену мету щодо розробки автоматизованої системи керування віддаленими насосами для житлового будинку. В результаті проведених досліджень та аналізу було виконано наступні завдання:

**Аналіз сучасного стану автоматизації керування насосними станціями:** Було розглянуто та досліджено сучасні методи та підходи створення SCADA-систем, які використовуються для автоматизації насосних станцій. Встановлено, що застосування регульованого електроприводу значно підвищує економічні показники та ефективність роботи насосних станцій.

**Детальний аналіз складових проектування системи:** Було проведено детальний аналіз необхідних компонентів для проектування автоматизованої системи керування, включаючи вимоги до електроприводів та інших елементів системи.

**Моделювання системи управління:** На основі адаптивного алгоритму було виконано моделювання системи управління насосною станцією за допомогою програмного середовища MATLAB Simulink. Це дозволило отримати графіки основних змінних системи та провести їх аналіз. Виявлено незначне перерегулювання під час перехідних процесів, що пов'язано з нерівномірним навантаженням гідравлічної системи.

**Розробка системи збору параметрів та гнучкого доступу для управління:** Було створено систему збору параметрів, яка забезпечує основні функції системи. Використовуючи інтегроване середовище розробки ПІА Portal, спроектовано систему керування, розроблено структуру панелі оператора, панель контролю роботи та налаштування системи. Дана система розроблена на мові Ladder Diagram, що легко адаптується для подальшої розробки подібних систем.

**Визначення параметрів системи водопостачання та вибір необхідного устаткування:** Було розраховано параметри системи водопостачання для житлового будинку та обрано двигун, який повністю задовольняє потреби

водопостачання при заданих параметрах ( $Q = 150 \text{ м}^3/\text{год}$ ,  $H = 10 \text{ м}$ ). Розраховано, що для забезпечення необхідної продуктивності насосу достатньо встановлення двигуна потужністю не менше 7,5 кВт.

Отже, результати магістерської роботи підтвердили, що використання частотно регульованого електроприводу є найефективнішим способом керування насосними агрегатами, що дозволяє розширити діапазон регулювання продуктивності та зменшити споживання електроенергії. Розроблена автоматизована система керування насосною станцією здатна забезпечити ефективне та надійне керування процесом водопостачання житлового будинку.

## ПЕРЕЛІК ДЖЕРЕЛ ПОСИЛАННЯ

1. Шульга М. О., Деркач І. Л., Алексахін О.О.. Інженерне обладнання населених місць: Підручник. – Харків: ХНАМГ, 2007. – 259 с.
2. Благодарна Г.І., Гуцал І.О. «Водопостачання та водовідведення» (для студентів 3-4 курсів усіх форм навчання напрямів 0921, 6.060101 «Будівництво», спеціальностей 6.092100 «Промислове і цивільне будівництво», «Технічне обслуговування, ремонт та реконструкція будівель», «Охорона праці у будівництві», «Міське будівництво та господарство» та слухачів другої вищої освіти): Конспект лекцій з навчальної дисципліни. – Харків: ХНАМГ, 2009. – 110 с.
3. J. R. Lewis, K. T. Erickson "Implementation of a Remote SCADA System for Water Pumping Stations": Journal of Hydroinformatics., 2020.
4. L. P. Garcia, M. R. Hernandez "Adaptive Control Strategies for Water Pumping Systems Using PLC and SCADA": Automation in Construction. 2021..
5. Метод та засоби оптимізації роботи електроприводів насосної станції водопостачання : монографія / В. В. Грабко, М. М. Мошноріз. – Вінниця : ВНТУ, 2011. – 138 с.
6. Трегубенко О. В., Рибалка М. Ю. Системи SCADA: теорія та практика / О. В. Трегубенко, М. Ю. Рибалка. — Київ: Видавництво НТУУ "КПІ", 2023. — 340 с.
7. Ковальчук, В. М. Системи керування технологічними процесами / В. М. Ковальчук. — Харків: Видавництво ХНУРЕ, 2020. — 392 с.
8. Белов, В. М. Автоматизація технологічних процесів та виробництв / В. М. Белов. — Київ: Видавничий дім "Професіонал", 2021. — 456 с.
9. SIMATIC S7-1200 - мікроконтроллер для Totally Integrated Automation Каталог S7-1200 червень 2014
10. Луців, І. М. Основи проектування автоматизованих систем керування / І. М. Луців. — Тернопіль: Економічна думка, 2019. — 280 с.
11. Міщенко, О. С. Проектування систем автоматизованого управління насосними станціями / О. С. Міщенко. — Одеса: ОНПУ, 2021. — 315 с.



12. Шевченко, А. В. Автоматизовані системи керування технологічними процесами / А. В. Шевченко. — Київ: НАУ, 2022. — 278 с.
13. Романенко, В. В. Системи контролю та управління водопостачанням / В. В. Романенко. — Харків: ХНУМГ, 2021. — 327 с.
14. Automating with SIMATIC S7-1500 Configuring, Programming and Testing with STEP 7 Professional by Hans Berger