

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
СУМСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ АГРАРНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
Факультет інженерно-технологічний
Кафедра енергетики та електротехнічних систем

До захисту
Допускається
Завідувач кафедри

Чепіжний А.В.

КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА

за бакалаврським рівнем вищої освіти

На тему: «Реконструкція системи електрифікації електроцепу ПАТ
«Сумхімпром» м. Суми з розробкою автоматизованої системи
водопостачання»

Виконав:

(підпис)

Приходько О.М.

(Прізвище, ініціали)

Група:

ГЕЕ2201с.т.

(Науковий) керівник:

(підпис)

Юрченко О.Ю.

(Прізвище, ініціали)

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
СУМСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ АГРАРНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
Факультет інженерно-технологічний

Кафедра енергетики та електротехнічних систем

Ступінь вищої освіти «Бакалавр»

Спеціальність 141 Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри

енергетики та електротехнічних систем

_____ **Чепіжний А.В.**

“__” _____ 202_ року

З А В Д А Н Н Я
НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ ЗДОБУВАЧУ ВИЩОЇ ОСВІТИ

Приходьку Олександр Миколайовичу

(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема роботи: Реконструкція системи електрифікації електроцеху ПАТ «Суміхімпром» м. Суми з розробкою автоматизованої системи водопостачання,

керівник роботи: Юрченко Олександр Юрійович, доктор філософії,

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

затверджені наказом закладу вищої освіти від “__” _____ 202_ року

№ _____

2. Строк подання здобувачем роботи: “__” _____ 202_ року.

3. Вихідні дані до роботи: Матеріали з водопостачання, автоматизації процесів, технічна література, нормативна документація, державні стандарти.

4. Зміст пояснювальної записки (перелік питань, які потрібно розробити): вступ, аналіз господарської діяльності об'єкту, технологічна частина, проектування автоматизації технологічних процесів, світлотехнічний розділ, питань з охорони праці, техніко-економічні розрахунки та показники проекту, висновки.

5. Перелік графічного (ілюстративного) матеріалу:

Схеми заміщення ЕД. Схема електрична принципова;

Електропривід насосів. Схема електрична принципова;

Схема двох послідовно працюючих насосів. Схема електрична структурна;

Схема динамічної моделі асинхронного двигуна. Схема електрична структурна;

Схема послідовного з'єднання насосів. Схема електрична структурна;

6. Консультанти розділів роботи:

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	завдання прийняв
Охорона праці			
Економічне обґрунтування			
Нормоконтроль			

7. Дата видачі завдання: “ ___ ” _____ 202_ року

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва етапів кваліфікаційної роботи	Строк виконання етапів кваліфікаційної роботи	Погоджено з керівником кваліфікаційної роботи
1.	Збір інформації про діяльність господарстві	12.09.2024 р.	
2.	Аналіз літературних джерел з обраної тематики	02.10.2024 р. – 02.12.2024 р.	
3.	Складання плану роботи	02.10.2024 р. – 02.12.2024 р.	
4.	Написання вступу	04.12.2024 р. – 09.12.2024 р.	
5.	Підготовка розділу 1	11.12.2024 р. – 21.12.2024 р.	
6.	Підготовка розділу 2	05.02.2025 р. – 02.03.2025 р.	
7.	Підготовка розділу 3	04.03.2025 р. – 06.04.2025 р.	
8.	Підготовка розділу 4, 5	08.04.2025 р. – 04.05.2025 р.	
9.	Підготовка розділу 6, 7	06.05.2025 р. – 11.05.2025 р.	
10.	Написання висновків та пропозицій	11.05.2025 р. – 12.05.2025 р.	
11.	Подання роботи на перевірку унікальності до експертної ради факультету	до 15.05.2025 р.	
12.	Подання роботи на рецензування	до 23.05.2025 р.	

Здобувач вищої освіти _____
(підпис)**Приходько О.М.**
(прізвище та ініціали)Керівник
кваліфікаційної роботи _____
(підпис)**Юрченко О.Ю.**
(прізвище та ініціали)

Анотація

Кваліфікаційний проєкт складається зі вступу, 7 розділів, висновків, списку використаних джерел, додатків. Роботу викладено на 74 аркушах друкованого тексту, складається з 3 рисунків та 12 таблиць.

Метою даної роботи є виконання реконструкції системи електрифікації електроцеху ПАТ «Сумхімпром» м. Суми з розробкою автоматизованої системи водопостачання.

Впровадження даної системи не лише підвищує продуктивність, але й сприяє зменшенню витрат на енергоресурси, що є важливим аспектом у контексті сучасних вимог до енергоефективності та екологічної безпеки.

Розробка автоматизованої системи керування водопостачанням в електроцеху є важливим етапом у забезпеченні ефективності та надійності технологічних процесів. Визначені технологічні вимоги до системи автоматизації, такі як плавний пуск насосного агрегату, стабілізація напору рідини, автоматичне повторне включення насосів після зникнення напруги, а також захист від теплових перевантажень, створюють основу для успішної реалізації автоматизації. Ці вимоги дозволяють знизити ризики, пов'язані з ручним управлінням, і забезпечити високу точність у контролі технологічних параметрів.

Електрична принципова схема керування, побудована на основі асинхронного електроприводу, демонструє інтеграцію сучасних технологій, таких як перетворювачі частоти, які забезпечують регулювання швидкості обертання насосів.

У цілому, реалізація автоматизованої системи керування водопостачанням в електроцеху дозволить підвищити ефективність виробничих процесів, зменшити витрати на енергію та забезпечити безпеку працівників.

Ключові слова: автоматизація, насос, електропостачання, електричний двигун, схема, надійність, захист.

Abstract

The thesis consists of an introduction, 7 chapters, conclusions, a list of sources used, and appendices. The work is presented on 74 sheets of printed text, consists of 3 figures and 12 tables.

The purpose of this work is to carry out the reconstruction of the electrification system of the electrical workshop of PJSC "Sumykhimprom" in Sumy with the development of an automated water supply system.

The implementation of this system not only increases productivity, but also contributes to reducing energy costs, which is an important aspect in the context of modern requirements for energy efficiency and environmental safety.

The development of an automated water supply control system in the electrical workshop is an important stage in ensuring the efficiency and reliability of technological processes. The determined technological requirements for the automation system, such as smooth start-up of the pumping unit, stabilization of liquid pressure, automatic restart of pumps after voltage loss, as well as protection against thermal overloads, create the basis for the successful implementation of automation. These requirements allow to reduce the risks associated with manual control and to ensure high accuracy in the control of technological parameters.

The electrical control schematic diagram, built on the basis of an asynchronous electric drive, demonstrates the integration of modern technologies, such as frequency converters, which provide regulation of the speed of rotation of pumps.

In general, the implementation of an automated water supply control system in the electrical workshop will increase the efficiency of production processes, reduce energy costs and ensure the safety of workers.

Keywords: automation, pump, power supply, electric motor, circuit, reliability, protection.

ЗМІСТ

ВСТУП	8
1. АНАЛІЗ ГОСПОДАРСЬКОЇ ДІЯЛЬНОСТІ ПАТ «СУМИХІМПРОМ» М. СУМИ	10
1.1. Загальна характеристика ПАТ «Сумихімпром»	10
1.2. Аналіз стану електрифікації електроцеху	10
1.3. Висновки та пропозиції	11
2. ТЕХНОЛОГІЧНА ЧАСТИНА	13
2.1. Аналітичний огляд електромеханічних систем автоматичного керування насосними установками.....	13
2.2. Опис виробничих приміщень та розташування технологічного обладнання в електроцеху ПАТ «Сумихімпром».....	19
2.3. Складання технологічних вимог до проекту електрифікації та прийняття загального рішення по проекту.....	20
2.4. Висновки та пропозиції	21
3. РОЗРАХУНОК І ВИБІР СИЛОВОГО ЕЛЕКТРООБЛАДНАННЯ ПАТ «СУМИХІМПРОМ».....	23
3.1. Вибір силового електрообладнання для стандартного технологічного обладнання електроцеху.....	23
3.2. Розрахунок потужності насосу для електроцеху ПАТ «Сумихімпром» та вибір приводного асинхронного двигуна	23
3.3. Вибір технологічного обладнання та його опис	28
3.4. Висновки та пропозиції	29
4. РОЗРОБКА АВТОМАТИЗОВАНОЇ СИСТЕМИ КЕРУВАННЯ ВОДОПОСТАЧАННЯМ В ЕЛЕКТРОЦЕХУ.....	31
4.1. Складання технологічних вимог до системи автоматизації водопостачання.....	31
4.2. Складання принципової електричної схеми керування процесом водопостачання у електроцеху	32
4.3. Складання електричної схеми керування процесом водопостачання у електроцеху.....	36
4.4. Складання специфікації на матеріали та обладнання установки.....	41

4.5. Висновки та пропозиції	42
5. ПРОЄКТУВАННЯ ЕЛЕКТРИЧНОГО ОСВІТЛЕННЯ ЕЛЕКТРОЦЕХУ ...	44
5.1. Вибір системи та виду освітлення в електроцеху.....	44
5.2. Вибір нормованої освітленості для приміщень електроцеху	46
5.3. Розрахунок освітлення приміщень електроцеху.....	46
5.4. Вибір та розрахунок освітлювальної мережі електроцеху	50
5.5. Складання специфікації на матеріали та обладнання	51
5.6. Висновки та пропозиції	51
6. ПРОЄКТУВАННЯ ПИТАНЬ З ОХОРОНИ ПРАЦІ.....	53
7. ТЕХНІКО-ЕКОНОМІЧНІ РОЗРАХУНКИ ТА ПОКАЗНИКИ ПРОЄКТУ .	61
ВИСНОВКИ.....	64
СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ	67
ДОДАТКИ.....	7070

ВСТУП

Актуальність дослідження зумовлена необхідністю модернізації виробничих процесів у хімічній промисловості, що є важливою складовою економіки України. Сучасні вимоги до енергоефективності, безпеки та екологічності виробництв вимагають впровадження нових технологій, які забезпечать оптимізацію витрат ресурсів, підвищення продуктивності та зниження негативного впливу на навколишнє середовище.

Сьогодні, у зв'язку зі зростаючими цінами на енергоносії та посиленням екологічних норм, підприємства змушені шукати ефективні рішення для оптимізації своїх енергетичних систем. Впровадження сучасних технологій, таких як частотні перетворювачі, системи автоматизації та моніторингу, а також використання енергоефективних насосів, здатне суттєво підвищити ефективність роботи насосних установок.

Крім того, важливо враховувати аспекти інтеграції цих технологій у вже існуючі системи, що може вимагати комплексного підходу до реконструкції та модернізації обладнання. Розробка та впровадження нових рішень дозволять не лише знизити енергоспоживання, але й підвищити надійність і довговічність насосних установок, що в кінцевому підсумку сприятиме загальному зростанню продуктивності підприємства.

Реконструкція системи електрифікації електроцеху дозволить не лише забезпечити стабільне і надійне електропостачання, але й інтегрувати сучасні рішення для автоматизації управління енергоспоживанням. Впровадження автоматизованої системи водопостачання, в свою чергу, сприятиме оптимізації використання водних ресурсів, що є критично важливим у контексті зростаючого дефіциту води та необхідності збереження природних ресурсів.

Таким чином, дослідження має велике значення для підвищення ефективності виробництва, зниження витрат на енергію та воду, а також для забезпечення екологічної безпеки підприємства, що дозволить

ПАТ «Сумхімпром» зміцнити свої позиції на ринку, підвищити конкурентоспроможність та відповідати сучасним стандартам якості.

Мета дослідження – виконати реконструкцію системи електрифікації електроцеху ПАТ «Сумхімпром» м. Суми з розробкою автоматизованої системи водопостачання.

Об'єктом дослідження є система електрифікації електроцеху ПАТ «Сумхімпром» м. Суми, а також автоматизовані системи водопостачання, що функціонують у межах виробничих процесів підприємства.

Предмет дослідження – процеси реконструкції та модернізації системи електрифікації, а також розробка і впровадження автоматизованої системи водопостачання, включаючи аналіз існуючих технологій, проектування нових рішень, оцінку їх ефективності та впливу на виробничі показники підприємства.

1. АНАЛІЗ ГОСПОДАРСЬКОЇ ДІЯЛЬНОСТІ

ПАТ «СУМИХІМПРОМ» М. СУМИ

1.1. Загальна характеристика ПАТ «Сумихімпром»

ПАТ «Сумихімпром» – завод хімічної промисловості. Виробляє мінеральні добрива, коагулянти та добавки до цементу, кислоти, діоксид титану та пігменти, а також інші види хімічної продукції.

Юридична адреса підприємства: 40003, Україна, Сумська обл., місто Суми, вулиця Харківська, П/в 12.

Продукція підприємства користується великим попитом у сільгоспвиробників завдяки високій ефективності, стабільній якості та доступним цінам.

Хімічні речовини від компанії Сумихімпром універсальні і використовуються на всіх видах сільськогосподарських культур.

Компанія здійснює не тільки виробничу діяльність – вона також проводить комплекс робіт, включаючи такі як ремонт різного устаткування, послуги, пов'язані з телекомунікаціями і послуги пов'язані з соціальною сферою.

1.2. Аналіз стану електрифікації електроцеху

Відомості про електропостачання ПАТ «Сумихімпром»:

– Для електропостачання виробничих цехів застосовуються три основні низькі підстанції (ГПП) 110/6 кВ.

– ГПП-1 та ГПП-3 запитані від підстанцій (ПС) «Суми» та «Суми – Північна» 330/110 кВ, ГПП-4 живиться тільки від ПС «Суми» за двома тупиковими лініями.

– Усі виробничі цехи живляться кабельними лініями 6 кВ, загальна протяжність яких близько 95 км.

Так як підприємство має безперервний технологічний процес, складне та небезпечне виробництво, то електропостачання здійснюється за першою категорією надійності.

В майбутньому планується будівництво резервної лінії електропостачання.

Облік споживаної електроенергії ведеться лічильником СА4У-И5. Від трансформаторної підстанції до вводу в господарство живлення здійснюється повітряною лінією електропередачі на залізобетонних опорах. Переріз фазних проводів лінії 50 мм², нульового провoda 25мм². Напруга силової мережі 380/220 В з глухо заземленою нейтраллю на живлячій підстанції. Силова розподільна мережа виконана проводом марки АПВ в сталевих трубах під підлогою та по стінам будівлі. Стан лінії задовільний.

З метою підвищення продуктивності, покращення умов праці, на підприємстві електрифіковано і автоматизовано майже всі технологічні процеси.

1.3. Висновки та пропозиції

АТ «Суміхімпром» має розвинену систему електропостачання, що забезпечує безперервний технологічний процес. Використання трьох основних низьких підстанцій (ГПП) 110/6 кВ, а також надійне живлення від підстанцій «Суми» та «Суми – Північна» свідчить про високий рівень електрифікації та надійності енергопостачання. Вибір першої категорії надійності електропостачання є критично важливим для забезпечення безперервності виробництва, особливо в умовах складного та небезпечного виробництва. Це знижує ризики зупинок в технологічних процесах.

Силова розподільна мережа виконана з використанням якісних матеріалів (провід АПВ), а також має задовільний стан, що свідчить про належне обслуговування та підтримку.

Електрифікація та автоматизація технологічних процесів на підприємстві сприяють підвищенню продуктивності та покращенню умов праці, що є важливим фактором для розвитку підприємства.

Пропозиції щодо покращення електрифікації підприємства:

1. Рекомендується прискорити реалізацію планів щодо будівництва резервної лінії електропостачання. Це забезпечить додаткову надійність у разі аварій або збоїв в основних лініях.

2. Розглянути можливість модернізації електрообладнання та використання новітніх технологій для підвищення енергоефективності та зниження витрат на електроенергію.

3. Запровадити регулярний моніторинг стану електричних мереж та обладнання для своєчасного виявлення та усунення можливих проблем, що можуть вплинути на виробничий процес.

4. Провести навчання для персоналу з питань безпеки при роботі з електрообладнанням та новими технологіями, що використовуються в електрифікації та автоматизації.

5. Розглянути можливість впровадження системи управління енергоспоживанням, що дозволить оптимізувати витрати на електроенергію та зменшити екологічний слід підприємства.

2. ТЕХНОЛОГІЧНА ЧАСТИНА

2.1. Аналітичний огляд електромеханічних систем автоматичного керування насосними установками

У системах водопостачання застосовуються різноманітні технологічні рішення, зокрема системи, що базуються на повній початковій інформації, такі як системи стабілізації та програмного керування, а також системи з неповною інформацією, відомі як кібернетичні системи. Ці технології не лише забезпечують підтримку необхідних технологічних параметрів для ефективної роботи насосних установок, але й здатні вирішувати завдання, пов'язані з енергозбереженням.

Системи з повною початковою інформацією забезпечують високий рівень контролю та прогнозування, що дозволяє оптимізувати роботу насосів, зменшуючи їх енергоспоживання. Вони здатні аналізувати вхідні дані, адаптувати параметри роботи насосних установок відповідно до змінюваних умов, що, в свою чергу, сприяє підвищенню загальної ефективності системи водопостачання [1]. На відміну від них, кібернетичні системи, які працюють з неповною інформацією, використовують алгоритми адаптивного навчання та самонавчання для оптимізації процесів. Ці системи можуть аналізувати поточні дані в режимі реального часу, що дозволяє швидко реагувати на зміни в умовах експлуатації. Завдяки цьому, вони здатні не лише підтримувати необхідні технологічні параметри, але й знижувати витрати на енергоресурси, що є критично важливим у сучасних умовах [1].

Впровадження таких систем у водопостачання відкриває нові можливості для підвищення енергоефективності, зменшуючи витрати на експлуатацію та забезпечуючи стабільність у постачанні води. Крім того, їхнє використання дозволяє зменшити негативний вплив на довкілля, оскільки знижує викиди вуглекислого газу, пов'язані з виробництвом електроенергії для насосних установок. Таким чином, інтеграція новітніх

технологій у системи водопостачання стає необхідною умовою для забезпечення сталого розвитку та конкурентоспроможності в умовах глобальних змін.

Системи програмного керування, що регулюють швидкість насосів, є важливим елементом у сучасних водопостачальних системах, оскільки вони дозволяють оптимізувати споживання енергії та забезпечити ефективне управління ресурсами. Зміна швидкості насосів відповідно до графіків добового споживання дозволяє адаптувати роботу насосних установок до реальних потреб споживачів, що суттєво знижує витрати на електроенергію та підвищує загальну ефективність системи [2]. Графіки добового споживання формуються на основі експериментальних досліджень, які проводяться для аналізу патернів споживання води в різні години доби. Ці дослідження враховують різні фактори, такі як сезонні коливання, погодні умови, а також соціально-економічні аспекти, що впливають на споживання води. Отримані дані використовуються для створення математичних моделей, які дозволяють прогнозувати потреби у воді з високою точністю [11].

Кібернетичні системи здатні автоматично визначати оптимальний режим роботи насосних установок, використовуючи технології самонастроювання та адаптивного управління.

Такі підходи дозволяють системам не лише реагувати на зміни в споживанні, але й проактивно формувати стратегії управління, що базуються на прогнозах поведінки споживачів. Використання ігрових моделей у цьому контексті передбачає аналіз можливих дій різних учасників системи, що дозволяє оптимізувати ресурси і зменшити витрати на енергоспоживання. Наприклад, система може моделювати різні сценарії, в яких споживачі змінюють свої патерни споживання в залежності від вартості енергії або інших зовнішніх факторів.

Адаптивні системи також здатні вивчати та враховувати дані про попереднє споживання, що дозволяє їм підлаштовувати свої алгоритми

управління під реальні умови. Це забезпечує не лише підвищення ефективності роботи насосних установок, але й стабільність у постачанні ресурсів, що особливо важливо в умовах зростаючого попиту та обмежених ресурсів.

Крім того, кібернетичні системи можуть інтегруватися з іншими технологіями, такими як Інтернет речей (IoT), що дозволяє здійснювати моніторинг та управління в реальному часі. Це відкриває нові можливості для оптимізації роботи насосних установок, оскільки дані з різних датчиків можуть використовуватися для коригування режимів роботи в залежності від змінюваних умов.

Екстремальні системи автоматичного управління сприяють зменшенню енергетичних витрат у системах стабілізації тиску, беручи до уваги фактичні умови водопостачання та варіації експлуатаційних характеристик обладнання, які можуть змінюватися в процесі його роботи [12]. Ці системи реалізують алгоритми, що дозволяють адаптувати режим роботи насосів до динаміки споживання води, забезпечуючи оптимальну продуктивність при мінімальних витратах енергії. Завдяки використанню сучасних технологій, таких як сенсори та аналітичні моделі, екстремальні системи можуть оперативно реагувати на зміни в умовах експлуатації, що дозволяє уникнути перевитрат енергії та підвищити загальну ефективність системи [17]. Впровадження екстремальних систем автоматичного керування також відкриває нові можливості для інтеграції з іншими технологіями, такими як системи моніторингу та управління, що базуються на принципах Інтернету речей (IoT). Це дозволяє здійснювати комплексний аналіз даних і забезпечувати більш точне управління ресурсами, що, в свою чергу, сприяє підвищенню енергоефективності.

Штучні нейронні мережі знаходять широке застосування в управлінні насосними установками, де вони аналізують дані, отримані від датчиків продуктивності. Наприклад, у системах стабілізації витрат ці мережі здатні обробляти інформацію про поточні показники роботи насосів, що дозволяє

забезпечити оптимальне регулювання витрат рідини [16]. Завдяки своїй здатності до навчання на основі великих обсягів даних, нейронні мережі можуть виявляти складні закономірності в роботі насосних систем, що дозволяє їм прогнозувати можливі відхилення у витратах і вчасно коригувати параметри роботи.

Крім того, штучні нейронні мережі можуть бути інтегровані з іншими технологіями, такими як системи моніторингу в реальному часі та аналізу даних, що дозволяє створювати більш складні та адаптивні механізми управління. Наприклад, вони можуть використовуватися для автоматичного налаштування режимів роботи насосів відповідно до змін у попиті на воду, враховуючи фактори, як-от сезонні коливання або непередбачувані зміни в споживанні.

В інтерактивних системах з ігровим підходом контролер здійснює дискретні корекції обертів насосу, формуючи певні правила гри, та аналізує реакцію споживачів. Порівнюючи фактичні дані про водоспоживання з теоретичною величиною, яка повинна була б спостерігатися при зміні обертів, контролер відповідним чином коригує оберти, зменшуючи або збільшуючи їх. У випадку, якщо споживачі не демонструють реакції на ці зміни (не приймають запропоновані правила гри), швидкість обертів поступово зменшується до фіксованого рівня [17].

Для насосів малих та середніх потужностей рекомендується застосовувати електроприводи, що базуються на асинхронних двигунах з короткозамкненим ротором, які живляться від перетворювачів частоти.

Використання асинхронних двигунів з короткозамкненим ротором є економічно вигідним рішенням, оскільки ці двигуни відрізняються високою надійністю, простотою в експлуатації та обслуговуванні. Завдяки перетворювачам частоти, які дозволяють регулювати частоту обертання двигуна, можна досягти більшої гнучкості в управлінні насосами, адаптуючи їх роботу до змінних умов експлуатації та потреб споживачів.

Крім того, сучасні перетворювачі частоти оснащені різноманітними функціями, такими як захист від перевантаження, автоматичне налаштування параметрів і можливість інтеграції з системами моніторингу та управління. Завдяки можливості формування «насосних» механічних характеристик, електроприводи на основі асинхронних двигунів можуть бути налаштовані на досягнення оптимальної продуктивності при різних режимах роботи.

У складних, багатоконтурних та багатовимірних електромеханічних системах автоматизованого контролю (ЕМСАК) водопостачання перспективним є впровадження векторно-керованих асинхронних двигунів. Цей підхід дозволяє досягти високої точності та динамічної реакції на зміни в умовах експлуатації, що є критично важливим для забезпечення стабільності та ефективності роботи насосних систем.

Векторне керування асинхронними двигунами надає можливість незалежного регулювання моменту та швидкості обертання, що сприяє оптимізації енергоспоживання та підвищенню загальної продуктивності насосних установок. Завдяки цьому, системи водопостачання можуть адаптуватися до змінних умов попиту, що дозволяє зменшити ризики перевантаження та забезпечити безперебійну подачу води.

Системи стабілізації тиску в контрольній точці водопроводу доцільно інтегрувати з механізмами підключення та відключення паралельно працюючих насосних агрегатів, реалізуючи каскадно-частотне керування. Цей підхід дозволяє забезпечити більш ефективне регулювання тиску, адаптуючи роботу насосних установок до змінних умов споживання води та зменшуючи енергетичні витрати.

Каскадно-частотне керування забезпечує динамічне регулювання потужності насосних агрегатів, що дозволяє оптимізувати їх роботу в залежності від фактичних потреб системи. При зростанні попиту на воду система може автоматично активувати додаткові насосні агрегати, а при зниженні – відключати їх, що дозволяє уникнути перевантаження і підвищити загальну надійність водопостачання.

Додатково, інтеграція таких систем управління з сучасними технологіями моніторингу та аналізу даних дозволяє реалізувати прогностичні моделі, які сприяють більш точному передбаченню потреб у воді. Впровадження каскадно-частотного керування також сприяє зменшенню механічних навантажень на насосні агрегати, що продовжує їхній термін служби та знижує частоту ремонту.

Впровадження систем диспетчерського керування та збору інформації (SCADA) у системи водопостачання сприятиме підвищенню надійності функціонування цих систем, а також централізації процесів моніторингу споживання води та виявлення аварійних ситуацій. Системи SCADA забезпечують інтеграцію даних з різних джерел, що дозволяє оперативно відстежувати параметри роботи насосних станцій, трубопроводів і інших елементів інфраструктури.

Завдяки реалізації автоматизованих алгоритмів обробки даних, системи SCADA можуть здійснювати аналіз споживання води в реальному часі, виявляючи відхилення від нормальних показників. Автоматизація процесів моніторингу також знижує ризик людських помилок, що є важливим фактором для забезпечення безпеки та стабільності водопостачання.

Крім того, інтеграція систем SCADA з сучасними технологіями, такими як Інтернет речей (IoT) та аналітика великих даних, відкриває нові можливості для прогнозування споживання води та оптимізації ресурсів. Завдяки збору та аналізу великої кількості даних, системи можуть виявляти тренди у споживанні, що дозволяє планувати обсяги виробництва та розподілу води з урахуванням сезонних коливань і змін у поведінці споживачів.

Впровадження SCADA-систем також сприяє поліпшенню комунікації між різними підрозділами, що займаються управлінням водопостачанням. Це дозволяє знижувати час реагування на надзвичайні ситуації та покращувати координацію дій у разі виникнення аварій. У результаті, централізований моніторинг та управління системами водопостачання забезпечує не лише

підвищення ефективності, але й зменшення витрат на обслуговування та ремонт, що в кінцевому підсумку позитивно впливає на якість надання послуг споживачам.

2.2. Опис виробничих приміщень та розташування технологічного обладнання в електроцеху ПАТ «Суміхіпром»

Конструкція електроцеху одноповерхова. Розміри становлять: довжина – $A = 40$ м, ширина – $B = 15$ м, висота – $H = 4,5$ м. Стіни виготовлені з залізобетонних панелей, що забезпечує високу міцність і довговічність. Дах покритий металочерепицею, що забезпечує водонепроникність та стійкість до атмосферних впливів. Підлога в усіх приміщеннях залізобетонна, що забезпечує надійність та легкість в обслуговуванні.

У приміщенні електроцеху передбачено природне та штучне освітлення. Штучне освітлення виконане світлодіодними лампами, що забезпечують високу яскравість та енергоефективність. Стіни та стеля побілені вапном, що сприяє більш ефективному використанню природного та штучного світлових потоків.

Навколишнє середовище у приміщеннях електроцеху є сухим, що є важливим фактором для безпеки електрообладнання. Всі електричні установки відповідають вимогам безпеки та експлуатаційним нормам.

Таблиця 2.1 – Характеристика технологічного приміщення електроцеху

№ з/п	Назва приміщень	Категорія за умовами навколишнього середовища	Категорія за ступенем небезпеки ураження людей електричним струмом
1	Щитова	сухе	без підвищеної небезпеки
2	Приміщення для розподілу електроенергії	сухе	без підвищеної небезпеки
3	Кімната для персоналу	сухе	без підвищеної небезпеки
4	Приміщення для обслуговування електрообладнання	сухе	без підвищеної небезпеки

Продовження табл. 2.1

№ з/п	Назва приміщень	Категорія за умовами навколишнього середовища	Категорія за ступенем небезпеки ураження людей електричним струмом
5	Склад електрообладнання	сухе	без підвищеної небезпеки
6	Тамбур-експедиція	відносно сухе	без підвищеної небезпеки
7	Ванна для очищення інструментів та обладнання	сухе	без підвищеної небезпеки

2.3. Складання технологічних вимог до проєкту електрифікації та прийняття загального рішення по проєкту

У даному проєкті буде розроблено електромеханічну систему автоматичного керування двома послідовно з'єднаними насосами при стабілізації тиску та продуктивності на вході установки у електроцеху ПАТ «Сумхімпром».

Розробка електромеханічної системи автоматичного керування двома послідовно з'єднаними насосами в електроцеху ПАТ «Сумхімпром» передбачає дотримання ряду технологічних вимог. Основні з них включають:

1. Регулювання тиску та продуктивності:

Система повинна забезпечувати стабільний тиск на виході насосів в межах заданих значень, з можливістю корекції в реальному часі.

Необхідно забезпечити моніторинг і регулювання продуктивності насосів, щоб уникнути перевантаження та забезпечити оптимальну роботу системи.

2. Системи автоматизації:

– Система повинна автоматично регулювати роботу насосів на основі даних від датчиків тиску та продуктивності.

– У разі перевищення допустимих значень тиску чи продуктивності, система повинна автоматично вимикати насоси та сповіщати операторів про аварійні ситуації.

3. Датчики та вимірювання:

- Використовувати високоточні датчики тиску та продуктивності, які забезпечують точність вимірювань не менше $\pm 1\%$.

- Датчики повинні регулярно калібруватися для підтримання точності вимірювань.

4. Енергетичні вимоги

- Система повинна бути спроектована з урахуванням енергоефективності, що дозволяє зменшити витрати на електроенергію.

- Забезпечити можливість управління навантаженням насосів для оптимізації їх роботи.

5. Безпека та надійність:

- Система повинна мати резервування ключових компонентів для забезпечення безперервної роботи.

- Всі компоненти системи повинні відповідати стандартам безпеки та охорони праці, включаючи захист від електричних перевантажень та коротких замикань.

6. Документація та навчання:

- Розробити детальну технічну документацію, яка включає схеми, інструкції з експлуатації та обслуговування.

- Провести навчання для операторів та технічного персоналу з метою забезпечення правильного використання та обслуговування системи.

2.4. Висновки та пропозиції

Розробка електромеханічної системи автоматичного керування двома послідовно з'єднаними насосами в електроцеху ПАТ «Сумихімпром» є важливим кроком у забезпеченні ефективності та надійності водопостачання на підприємстві. У процесі аналізу сучасних електромеханічних систем автоматичного керування насосними установками було виявлено, що існує кілька підходів до автоматизації, які можуть бути адаптовані до специфіки даного проєкту.

Системи з повною початковою інформацією, такі як стабілізації та програмного керування, забезпечують точний контроль за технологічними параметрами насосів, що є критично важливим для підтримки стабільного тиску та продуктивності. Використання сучасних технологій, таких як нейронні мережі для програмного керування, дозволяє адаптуватися до змінних умов споживання води, що підвищує загальну ефективність системи.

Кібернетичні системи, які забезпечують самонастроювання та адаптивність, можуть стати основою для створення більш гнучкого управління насосами. Це дозволить не лише підтримувати необхідні параметри, але й оптимізувати енергоспоживання, що є важливим аспектом у світлі зростаючих цін на енергетичні ресурси.

Крім того, інтерактивні системи, які оцінюють споживчу активність, можуть суттєво підвищити ефективність водопостачання, дозволяючи зменшити витрати на енергію. Впровадження систем диспетчерського керування та збору інформації (SCADA) дозволить централізувати моніторинг та управління, що покращить надійність системи.

З точки зору енергетичних вимог, проєкт повинен враховувати енергоефективність, що дозволить зменшити витрати на електроенергію. Використання асинхронних двигунів з короткозамкненим ротором для насосів малої та середньої потужності, а також векторно-керованих двигунів для більш потужних насосів, забезпечить оптимальний баланс між продуктивністю та енергоспоживанням.

Отже, для успішної реалізації проєкту електрифікації та автоматизації насосних установок у електроцеху ПАТ «Сумхімпром» необхідно впровадити сучасні технології управління, забезпечити енергоефективність, надійність та безпеку, а також підготувати персонал до роботи з новими системами. Це дозволить не лише досягти високої продуктивності, але й сприятиме формуванню енергоощадливої поведінки в суспільстві.

3. РОЗРАХУНОК І ВИБІР СИЛОВОГО ЕЛЕКТРООБЛАДНАННЯ ПАТ «СУМИХІМПРОМ»

3.1. Вибір силового електрообладнання для стандартного технологічного обладнання електроцеху

Визначення потужності насоса для електродвигуна одинарної насосної установки виконується за допомогою формули:

$$P = \frac{\rho g Q H}{\eta_{\max}}, \quad (3.1)$$

де ρ – густина рідини, яка перекачується, в даному випадку це – вода;

g – прискорення вільного падіння;

Q – продуктивність насоса;

H – напір;

η_{\max} – максимальне значення ККД.

Використовуючи програму для підбору насосного обладнання *Vogel Select*, ми вибираємо насос моделі **P253/1-SA111**, підставляючи в неї значення вихідної робочої точки для одиночного насоса. Крім того, у програмі доступні характеристики насоса та графік його ефективності (коефіцієнт корисної дії).

$$Q = 120 \text{ м}^3 / \text{год}; H=225 \text{ м.}; n=2900 \text{ об/хв); } \eta_{\max}=62,9\%.$$

За формулою (2.1) отримаємо:

$$P = \frac{\rho g Q H}{\eta_{\max}} = \frac{1000 \cdot 9.81 \cdot 225 \cdot 120}{3600 \cdot 0.629} = 164 \text{ кВт.} \quad (3.2)$$

Згідно з отриманим значенням обираємо асинхронний двигун з короткозамкненим ротором типу **4A315M4Y3**, який має наступні паспортні дані:

Таблиця 3.1. – Паспортні дані асинхронного двигуна типу 4А315М4У3

Потужність на виході	$P_{2H} = 200 \text{кВт}$
Лінійна напруга статора	$U_{1ЛН} = 380 \text{В}$
Кількість пар полюсів	$p_n = 1$
Інерційний момент	$J_\delta = 3.6 \text{кг} \cdot \text{м}^2$
ККД (коефіцієнт корисної дії)	$\eta = 0.94$
Коефіцієнт активної потужності	$\cos(\varphi) = 0.92$
Здатність до перевантаження	$\lambda = 2.2$
Ковзання на номінальному режимі	$s_H = 0.013$
Максимальне ковзання	$s_k = 0.05$
Частота напруги статора на номіналі	$f = 50 \text{Гц}$
Параметри Г-схеми заміщення (в відносних одиницях)	
Індуктивність розсіювання статора	$\bar{x}'_1 = 0.086 \text{ Ом}$
Опір статора	$\bar{R}'_1 = 0.014 \text{ Ом}$
Приведена індуктивність розсіювання ротора	$\bar{x}''_2 = 0.12 \text{ Ом}$
Приведений опір ротора	$\bar{R}''_2 = 0.014 \text{ Ом}$
Індуктивність намагнічуючого контуру	$\bar{x}_\mu = 4.1 \text{ м}$

3.2. Розрахунок потужності насосу для електроцеху ПАТ «Сумихімпром» та вибір приводного асинхронного двигуна

Використовуючи вище наведену програму, по вибору насосів, *Vogel Select*, побудуємо статичні характеристики обраного насосу. Побудова характеристик робиться наступним чином: для вибраної швидкості обертання приводного асинхронного двигуна записується масив робочих точок H, Q, η від Q_{\max} до Q_{\min} . Далі швидкість зменшується і знову записуються дані. Чим більше робочих точок знімається, тим точніше будуються статичні характеристики. Графіки статичних характеристик представлені на рис. 3.1.:

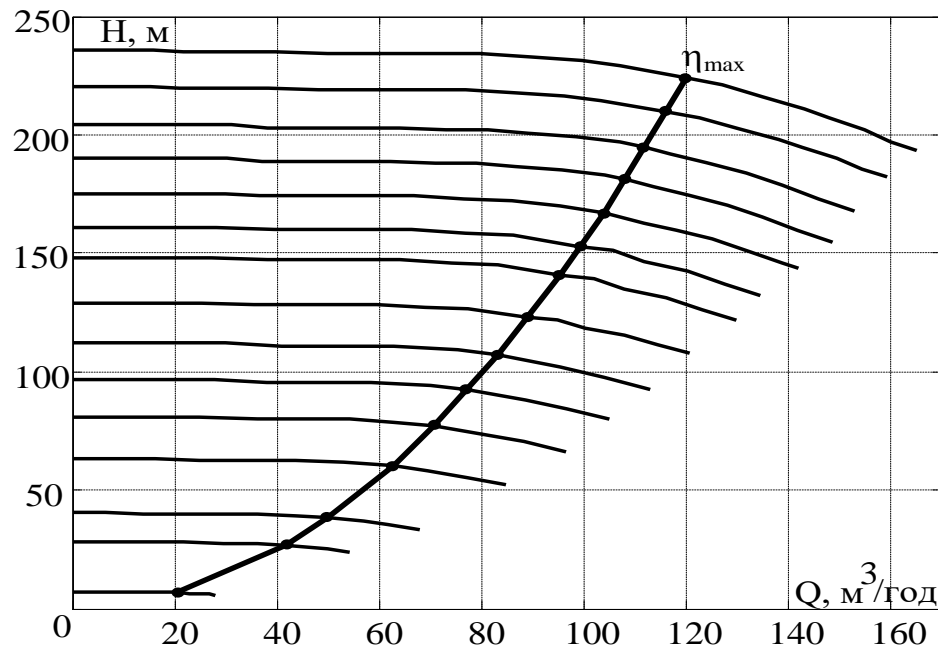


Рисунок 3.1. – Статичні характеристики насосу потужністю 164 кВт

Розрахунок номінальних даних двигуна

Маючи паспортні данні двигуна, наведені у таблиці 3.1, розрахуємо параметри номінального режиму двигуна.

1. Кутова частота напруги статора:

$$\omega_{0n} = 2\pi f = 2 \cdot 3.14 \cdot 50 = 314.159 \text{ рад} / \text{с} \quad (3.3)$$

2. Швидкість ідеального холостого ходу двигуна:

$$\omega_{x.x.} = \frac{\omega_{0n}}{p_n} = \frac{314.159}{1} = 314.159 \text{ рад} / \text{с} \quad (3.4)$$

3. Номінальна швидкість двигуна:

$$\omega_H = \omega_{x.x.} (1 - s_H) = 314.159 \cdot (1 - 0.013) = 310.074 \text{ рад} / \text{с} \quad (3.5)$$

4. Номінальний момент двигуна:

$$M_H = \frac{P_{2H}}{\omega_H} 10^3 = \frac{200}{310.074} 10^3 = 645.007 \text{ Н} \cdot \text{м} \quad (3.6)$$

5. Критичний момент двигуна (по перевантажувальній здатності λ з каталогу):

$$M_K = \lambda \cdot M_H = 645.007 \cdot 2.2 = 1419.01 \text{ Н} \cdot \text{м} \quad (3.7)$$

6. Номінальні діючі значення фазної напруги та струму статора:

$$U_n = \frac{U_{1n}}{\sqrt{3}} = \frac{380}{\sqrt{3}} = 219.393 \text{ В} \quad (3.8)$$

$$I_n = \frac{P_{2H} \cdot 10^3}{3 \cdot U_n \cdot \eta \cdot \cos(\varphi)} = \frac{200 \cdot 10^3}{3 \cdot 219.393 \cdot 0.94 \cdot 0.92} = 351.374 \text{ А} \quad (3.9)$$

7. Амплітудні значення фазної напруги і струму статора:

$$U_{na} = \sqrt{2} \cdot U_n = \sqrt{2} \cdot 219.393 = 310.269 \text{ В} \quad (3.10)$$

$$I_{na} = \sqrt{2} \cdot I_n = \sqrt{2} \cdot 351.374 = 496.917 \text{ А} \quad (3.11)$$

8. Амплітудне значення потокозчеплення статора в режимі холостого ходу при $R_1=0$:

$$\psi_{1XX} = U_{na} / \omega_{0n} = 310.269 / 314.159 = 0.988 \text{ Вб} \quad (3.12)$$

Розрахунок параметрів Т-подібної схеми заміщення

Математична модель асинхронного двигуна (АД), що була отримана для Т-подібної схеми заміщення, представлена на рисунку А.1 в Додатку А. Водночас, приведені параметри в таблиці 3.1 відповідають Г-подібній схемі заміщення, яка зображена на рисунку А.2. Для перетворення параметрів з Г-подібної схеми в Т-подібну застосовується методика, викладена у формулі (3.13).

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

$$c_1 = \frac{\bar{x}_\mu + \sqrt{\bar{x}_\mu^2 + 4\bar{x}'_\mu \bar{x}'_1}}{2x_\mu} = \frac{4.1 + \sqrt{4.1^2 + 4 \cdot 0.086 \cdot 4.1}}{2 \cdot 4.1} = 1.021 \quad (3.13)$$

Далі розрахунок параметрів Т-подібної схеми заміщення подано так, як це наведено у таблиці 3.1.

1. Параметри Т-подібної схеми заміщення у відносних одиницях:

$$\bar{x}'_1 = \frac{\bar{x}'_1}{c_1} = \frac{0.086}{1.021} = 0.084 \text{ ;}$$

$$\bar{x}'_2 = \frac{\bar{x}_2''}{c_1^2} = \frac{0.12}{1.021^2} = 0.115 ;$$

$$\bar{R}_1 = \frac{\bar{R}_1'}{c_1} = \frac{0.014}{1.021} = 0.014 ;$$

$$\bar{R}_2 = \frac{\bar{R}_2''}{c_1^2} = \frac{0.014}{1.021^2} = 0.013 ;$$

2. Параметри Т-подібної схеми заміщення в абсолютних одиницях:

$$x_1 = \bar{x}_1 \frac{U_n}{I_n} = 0.084 \frac{219.393}{351.374} = 0.053 \text{ Ом} ;$$

$$R_1 = \bar{R}_1 \frac{U_n}{I_n} = 0.014 \frac{219.393}{351.374} = 8.565 \cdot 10^{-3} \text{ Ом} ;$$

$$x'_2 = \bar{x}'_2 \frac{U_n}{I_n} = 0.115 \frac{219.393}{351.374} = 0.072 \text{ Ом} ;$$

$$R_2 = \bar{R}_2 \frac{U_n}{I_n} = 0.013 \frac{219.393}{351.374} = 8.393 \cdot 10^{-3} \text{ Ом} ;$$

$$x_\mu = \bar{x}_\mu \frac{U_n}{I_n} = 4.1 \frac{219.393}{351.374} = 2.56 \text{ Ом} .$$

3. Індуктивності розсіювання статора і ротора:

$$L_{1\sigma} = \frac{x_1}{\omega_{0n}} = \frac{0.053}{2 \cdot \pi \cdot 50} = 1.675 \cdot 10^{-4} \text{ Гн} ;$$

$$L_{2\sigma} = \frac{x'_2}{\omega_{0n}} = \frac{0.072}{2 \cdot \pi \cdot 50} = 2.29 \cdot 10^{-4} \text{ Гн} .$$

4. Індуктивність намагнічуючого контуру:

$$L_m = \frac{x_\mu}{2 \cdot \pi \cdot f} = \frac{2.56}{2 \cdot \pi \cdot 50} = 8.149 \cdot 10^{-3} \text{ Гн}$$

5. Індуктивності статора і ротора:

$$L_1 = L_m + L_{1\sigma} = 1.675 \cdot 10^{-4} + 8.149 \cdot 10^{-3} = 8.316 \cdot 10^{-3} \text{ Гн}$$

$$L_2 = L_m + L_{2\sigma} = 2.29 \cdot 10^{-4} + 8.149 \cdot 10^{-3} = 8.378 \cdot 10^{-3}$$

3.3. Вибір технологічного обладнання та його опис

Вибір перетворювача частоти

Вибір частотного перетворювача проводиться на основі електричної потужності обраного асинхронного двигуна, яка розраховується за формулою:

$$P_{el} = \frac{P_{мех}}{\eta_{об}} = \frac{200 \cdot 10^3}{0.94} = 212.76 \text{ кВт.} \quad (3.14)$$

Згідно з отриманим значенням електричної потужності, ми обираємо частотний перетворювач моделі АВВ АСS550-02-368А-4 з номінальною потужністю 220 кВт, паспортні дані якого наведені в таблиці 3.2.

Таблиця 3.2. – Паспортні дані перетворювача частоти

Потужність на номінальному рівні	$P_{2H} = 220 \text{ кВт}$
Лінійна напруга статора на номіналі	$U_{1ЛH} = 380 \text{ В}$
Кількість фаз / вхідна напруга	3-ф/380 В
Кількість фаз / вихідна напруга	3-ф/380 В
ККД (коефіцієнт корисного дії)	$\eta = 0.94$
Коефіцієнт активної потужності	$\cos(\varphi) = 0.92$

Вибір датчика напору та вибір датчика продуктивності

Датчик тиску підбирається відповідно до максимального значення напору насоса $H_{max} = 250 \text{ м}$, що дорівнює 25 бар. Таким чином, обираємо датчик типу SEN-3276 3 з діапазоном вимірювання тиску 25 бар, який має такі паспортні дані:

Таблиця 3.3. – Паспортні дані датчика напору

Версія датчика напору	З внутрішньою мембраною
Вид тиску	Відносний
Рівень точності	$\pm 0.5\%$
Діапазон температур	$-30..+100 \text{ }^\circ\text{C}$
Склад матеріалу корпусу	Нержавіюча сталь
Сигнал на виході	4 – 20 мА

Витратомір, що вимірює продуктивність, підбирається на основі максимальної продуктивності насоса $Q_{\max}=120 \text{ м}^3/\text{год}$. В результаті, ми обираємо датчик моделі DPL, який має діапазон вимірювання від 0,0015 до 1,5 $\text{м}^3/\text{год}$. Цей датчик має такі паспортні характеристики:

Таблиця 3.4. – Паспортні дані датчика продуктивності

Загальний спектр вимірювань	0,0015..1,5 $\text{м}^3/\text{год}$
Рівень захисту	IP 65
Категорія точності	$\pm 2.5\%$
Найвища температура	-70 $^{\circ}\text{C}$
Склад матеріалу оболонки	Поліпропілен
Сигнал на виході	4 – 20mA

3.4. Висновки та пропозиції

У процесі розрахунку та вибору силового електрообладнання для автоматизованої системи керування насосами в електроцеху ПАТ «Суміхімпром» було проведено детальний аналіз технічних характеристик, що дозволяє забезпечити стабільну і ефективну роботу системи. Вибір насоса типу P253/1-SA111, що має максимальний ККД 62,9%, дозволяє оптимізувати енергоспоживання, що є критично важливим у сучасних умовах зростання цін на енергетичні ресурси.

Розрахунок потужності насоса, виконаний за формулою, що враховує густину рідини, прискорення вільного падіння, продуктивність та напір, дав змогу визначити необхідну потужність асинхронного двигуна. Вибраний двигун типу 4A315M4Y3 відповідає вимогам проекту, має номінальну потужність, що забезпечує надійну роботу насоса в заданих режимах.

Для забезпечення ефективного управління насосом було обрано перетворювач частоти типу ABB ACS550-02-368A-4 з номінальною потужністю 220 кВт. Це обладнання дозволяє регулювати швидкість обертання двигуна, що сприяє оптимізації витрат електроенергії та підвищенню загальної ефективності системи.

Вибір датчиків напору та продуктивності також був виконаний відповідно до технічних характеристик насоса. Датчик напору типу SEN-3276 3, що має межу вимірюваного тиску 25 бар, та витратомір типу DPL з діапазоном вимірювань до 1,5 м³/год, забезпечують точність вимірювань, що є критично важливим для автоматизованого контролю процесів водопостачання.

Отже, проведені розрахунки та вибір обладнання забезпечують надійну, ефективну та безпечну роботу електромеханічної системи автоматичного керування насосами в електроцеху ПАТ «Сумхімпром». Впровадження даної системи не лише підвищить продуктивність, але й сприятиме зменшенню витрат на енергоресурси, що є важливим аспектом у контексті сучасних вимог до енергоефективності та екологічної безпеки.

4. РОЗРОБКА АВТОМАТИЗОВАНОЇ СИСТЕМИ КЕРУВАННЯ ВОДОПОСТАЧАННЯМ В ЕЛЕКТРОЦЕХУ

4.1. Складання технологічних вимог до системи автоматизації водопостачання

Автоматизація виробничих установок водопостачання дозволяє більш швидко і точно відтворювати технологічний процес, що, в свою чергу, сприяє підвищенню ефективності роботи систем, зменшуючи витрати на енергоресурси та матеріали. Завдяки впровадженню сучасних технологій, таких як системи автоматичного контролю та моніторингу, можна здійснювати оперативний аналіз параметрів водопостачання, виявляти аномалії та вчасно реагувати на зміни в умовах експлуатації.

Автоматизація також забезпечує інтеграцію з іншими системами управління, що дозволяє оптимізувати весь процес постачання води – від джерела до споживача. Використання датчиків і сенсорів для збору даних про тиск, витрату, якість води та інші параметри дозволяє створити єдину інформаційну базу, яка забезпечує високий рівень контролю та управління.

Крім того, автоматизація сприяє реалізації концепції «розумних» водопостачальних систем, де алгоритми машинного навчання можуть прогнозувати потреби в воді на основі історичних даних, що дозволяє ефективно планувати ресурси.

Визначимо вимоги до автоматизованої системи управління водопостачанням:

- надійність та безвідмовність – система повинна забезпечувати безперервну роботу без збоїв, що є критично важливим для забезпечення стабільного водопостачання;

- моніторинг в реальному часі – необхідно забезпечити можливість постійного контролю за параметрами системи, такими як тиск, витрата, якість води та інші важливі показники;

– автоматизація процесів – система повинна автоматично регулювати роботу насосів, клапанів та інших елементів на основі даних з сенсорів, що дозволяє оптимізувати витрати енергії та ресурсів;

– прогнозування та аналіз даних – використання алгоритмів для аналізу історичних даних і прогнозування потреб у воді, що дозволяє ефективно планувати ресурси та уникати наднормових витрат;

– інтеграція з іншими системами – система повинна мати можливість інтеграції з іншими управлінськими та інформаційними системами, такими як системи диспетчеризації, управління енергетичними ресурсами тощо;

– гнучкість та масштабованість – система повинна бути здатна адаптуватися до змін в умовах експлуатації та бути готовою до розширення в майбутньому;

– безпека даних – необхідно забезпечити захист даних від несанкціонованого доступу та втрат, а також забезпечити резервне копіювання інформації;

– простота у використанні – інтерфейс користувача повинен бути інтуїтивно зрозумілим, що дозволяє операторам легко управляти системою та отримувати необхідну інформацію;

– екологічна відповідальність – система повинна враховувати екологічні аспекти, зокрема зменшення впливу на навколишнє середовище, ефективне використання ресурсів та зниження викидів;

– підтримка та обслуговування – необхідно забезпечити можливість технічної підтримки та обслуговування системи, що дозволяє швидко реагувати на проблеми та підтримувати її у належному стані.

4.2. Складання принципової електричної схеми керування процесом водопостачання у електроцеху

Розробимо електричну принципову схему асинхронного електроприводу, визначимо елементи з яких вона буде складатися.

Сформулюємо електричну принципову схему асинхронного електроприводу та проаналізуємо його складові елементи. Типова електрична принципова схема сучасного електроприводу змінного струму, що базується на використанні перетворювача частоти з постійним струмом, представлена на рисунку Б.1 в Додатку Б.

Асинхронний електропривод є важливим елементом у багатьох промислових застосуваннях, оскільки він забезпечує високу ефективність, надійність та гнучкість у регулюванні швидкості обертання. Основними компонентами цієї схеми є асинхронний електродвигун, перетворювач частоти, який регулює частоту та амплітуду живлення, а також різноманітні допоміжні елементи, такі як контактори, захисні пристрої, датчики та системи управління.

Асинхронний електродвигун, що є серцевиною електроприводу, працює на принципі електромагнітної індукції, де змінний магнітний потік, створений статором, індукує струм у роторі. Це призводить до обертання ротора, яке, у свою чергу, забезпечує механічну потужність для виконання роботи. Перетворювач частоти, що з'єднує двигун з джерелом живлення, виконує функцію перетворення змінного струму з мережі в струм з регульованою частотою, що дозволяє точно налаштувати швидкість обертання двигуна відповідно до потреби в процесі.

Датчики, такі як тахометри та датчики позиції, забезпечують зворотний зв'язок для системи управління, що дозволяє здійснювати адаптивне регулювання роботи електроприводу. Системи автоматизації, вбудовані в електричну схему, забезпечують моніторинг та управління робочими параметрами, дозволяючи виявляти відхилення та вживати заходів для їх усунення.

Розглянемо більш детально призначення основних модулів та елементів, показаних на рис. Б.1:

– Фільтр – зазвичай складається з двох ключових частин: варисторів, які захищають ланку постійного струму від перенапруг, що можуть виникати

через сплески в електромережі, та фільтру радіоперешкод, що запобігає поширенню високочастотних перешкод, які з'являються під час комутації ключів інвертора.

– Випрямляч – перетворює змінну напругу з електромережі на постійну напругу в ланці постійного струму U_{dc} .

– Ємність C – служить фільтром, який згладжує вихідну напругу випрямляча, забезпечуючи стабільність.

– Зарядне коло (резистор R_z та реле $K1$) – відповідає за поступовий заряд ємності фільтра випрямляча C при подачі живлення на перетворювач. Після завершення процесу зарядки контакт реле $K1.1$ замикається.

– Датчик напруги – передає інформацію про напругу в ланці постійного струму U_{dc} до керуючого контролера, де вона використовується для реалізації захисних функцій, контролю заряду ємності фільтра випрямляча та генерації імпульсів для управління ключами інвертора за принципом широтно-імпульсної модуляції (ШІМ).

– Інвертор – перетворює постійну напругу з ланки постійного струму на трифазну напругу на виході перетворювача, забезпечуючи задані параметри, такі як модуль, частота та кутове положення результуючого вектора.

– Датчики струму $ДС1$, $ДС2$ – передають дані про фазні струми двигуна до керуючого контролера, що дозволяє реалізувати захисні функції для інвертора та двигуна, а також забезпечує зворотний зв'язок у системах векторного керування.

– Драйвери – перетворюють параметри імпульсів управління, що надходять від контролера, для надійного відкриття та закриття IGBT ключів. Драйвери також часто забезпечують захист від короткого замикання в інверторі.

– Опторозв'язка – надає гальванічну розв'язку для дискретних сигналів управління, підвищуючи завадостійкість контролера та запобігаючи його виходу з ладу в аварійних ситуаціях у силовій частині. Це може бути

реалізовано за допомогою оптопар або оптоволоконних ліній зв'язку в потужних перетворювачах.

– Керуючий контролер – виконує всі автоматизаційні функції перетворювача, отримує завдання на регульовані координати, розробляє алгоритми управління двигуном, генерує імпульси управління ключами, реалізує захисні функції та забезпечує зв'язок з системами верхнього рівня.

– Схеми узгодження рівнів сигналів та фільтрації – необхідні для приведення рівнів сигналів від датчиків струму та напруги до допустимих значень для аналого-цифрового перетворювача контролера. Фільтрація також може використовуватися для підвищення завадостійкості системи управління.

– Блок живлення – пристрій, що забезпечує енергетичні потреби перетворювача, зокрема живлення контролера, драйверів, а також зовнішніх напруг +10 В та +24 В, живлення датчиків тощо. У сучасних перетворювачах вхідна напруга для блоку живлення береться з ланки постійного струму, що гарантує безпечну зупинку системи при відключенні електромережі.

– Зовнішні клеми – використовуються для підключення до перетворювача дискретних входів/виходів (наприклад, сигналів управління перетворювачем «Пуск», «Стоп», «Реверс» та інших), аналогових входів/виходів (наприклад, для задання швидкості, зворотного зв'язку за технологічним параметром та інших).

– Панель користувача – призначена для налаштування параметрів системи, подачі команд перетворювача та задання регульованої величини в ручному режимі, а також для спостереження за контрольними величинами та діагностики.

– Додаткові входи та виходи – використовуються для управління додатковими системами, наприклад, для активації вентиляторів системи охолодження, контролю спрацювання зарядного реле тощо.

Датчики тиску/продуктивності підключаються до аналогового входу 2 перетворювача частоти. На виході цих датчиків струм становить 4-20 мА,

що відповідає нульовому та максимальному значенню технологічного параметру. Некерований двигун підключається до мережі за допомогою силового контактора. У разі надмірного тиску в системі цей двигун може бути відключений.

4.3. Складання електричної схеми керування процесом водопостачання у електроцеху

Математична модель двох послідовно з'єднаних насосів будується на основі еквівалентної схеми заміщення, що зображена на рис. 4.1.

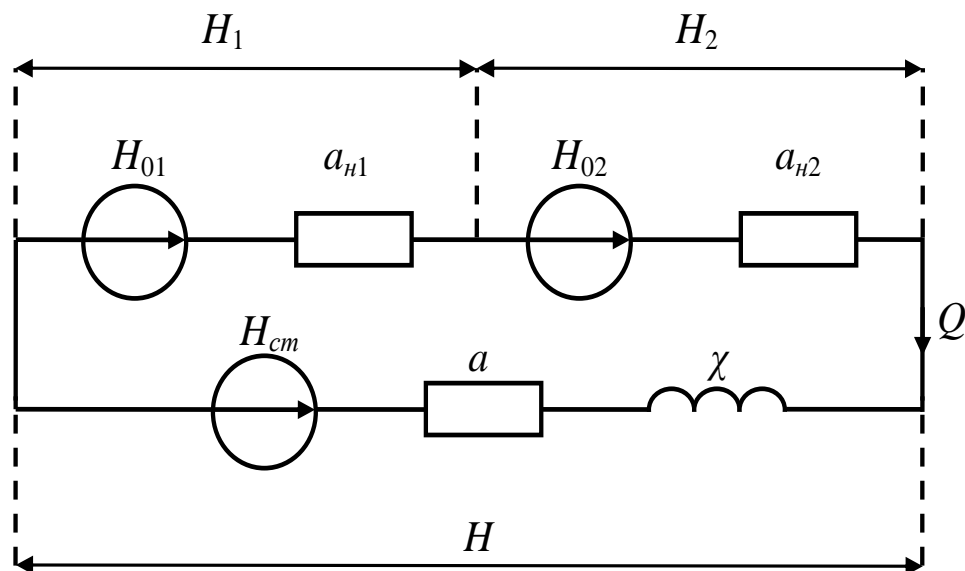


Рисунок 4.1. – Еквівалентна схема заміщення двох послідовно працюючих насосів

На рис. 4.1 введені наступні позначення:

H_{01} , H_{02} – напори при відсутності подачі першого та другого насосів;

$a_{н1}$, $a_{н2}$ – номінальні гідравлічні опори першого та другого насосів відповідно;

Q – продуктивність насосів;

H_1 , H_2 – напори першого та другого насосів відповідно.

Виходячи зі схеми заміщення, представлено на рисунку 4.1, ми отримаємо математичну модель двох насосів, з'єднаних послідовно, разом із гідравлічною мережею, яка виглядає наступним чином:

$$\frac{dQ}{dt} = \frac{H_{01H}}{\chi \omega_{H1}^2} \omega_1^2 + \frac{H_{02H}}{\chi \omega_{H2}^2} \omega_2^2 - \frac{H_{cm}}{\chi} - \frac{1}{\chi} (a_{H1} + a_{H2} + a) Q^2 \quad (4.1)$$

$$H_1 = \frac{H_{01H}}{\omega_{H1}^2} \omega_1^2 - a_{H1} Q^2 \quad (4.2)$$

$$H_2 = \frac{H_{02H}}{\omega_{H2}^2} \omega_2^2 - a_{H2} Q^2 \quad (4.3)$$

$$M_{c1} = \frac{\rho g Q H_1}{\eta_{нас1} \omega_1} \quad (4.4)$$

$$M_{c2} = \frac{\rho g Q H_2}{\eta_{нас2} \omega_2} \quad (4.5)$$

$$H = H_1 + H_2, \quad (4.6)$$

Q – продуктивність насосів;

H_1 та H_2 – номінальні напори при відсутності подачі для першого та другого насосів при номінальних швидкостях відповідно;

ω_1 та ω_2 – кутові швидкості обертання першого та другого насосів відповідно;

ω_{1H} та ω_{2H} – номінальні кутові швидкості обертання першого та другого насосів відповідно;

C – стале інтегрування;

M_1 та M_2 – моменти навантаження на валах двигунів першого та другого насосів відповідно;

η_1 та η_2 – ККД першого та другого насосів відповідно;

$H_{сум}$ – загальний напір першого та другого насосів.

Структурна схема двох послідовно з'єднаних насосів, побудована на основі рівнянь (4.1) – (4.6), зображена на рис. В.1 Додатку В.

Математична модель асинхронного двигуна

Математична модель асинхронного двигуна виводиться наступним чином:

Нехай задані вектори:

$$\vec{i}_1 = (i_{1a}, i_{1b})^T \quad (4.7)$$

$$\vec{\psi}_2 = (\psi_{2a}, \psi_{2b})^T, \quad (4.8)$$

де \vec{i}_1 – вектор струму статора;

$\vec{\psi}_2$ – вектор потокозчеплення ротора;

i_{1a}, i_{1b} – проекції вектора струму статора на вісі системи координат (a-b);

ψ_{2a}, ψ_{2b} – проекції вектора потокозчеплення ротора на вісі системи координат (a-b).

Запишемо рівняння електричної рівноваги:

$$u_1 = R_1 i_1 + \frac{d\psi_1}{dt} + \omega_k J \psi_1 \quad (4.9)$$

$$u_2 = R_2 i_2 + \frac{d\psi_2}{dt} + (\omega_k - \omega) J \psi_2, \quad (4.10)$$

де u_1 та u_2 – напруга статора та ротора відповідно;

R_1, R_2 – активні опори обмоток статора та ротора відповідно;

ω – кутова швидкість двигуна;

ψ_1 – потокозчеплення статора;

i_2 – струм ротора.

$$J = \begin{bmatrix} 0 & -1 \\ 1 & 0 \end{bmatrix}$$

Рівняння для потокозчеплення статора і ротора:

$$\psi_1 = L_1 i_1 + L_m i_2 \quad (4.11)$$

$$\psi_2 = L_m i_1 + L_2 i_2, \quad (4.12)$$

де L_1 та L_2 – індуктивності обмоток статора і ротора відповідно

L_m – взаємна індуктивність між обмотками статора і ротора

Виразимо із рівнянь (4.11)-(4.12) струм i_2 :

$$\vec{i}_2 = L_2^{-1}(\psi_2 - L_m \vec{i}_1) \quad (4.13)$$

Підставимо рівняння (4.13) у рівняння (4.10) і отримаємо:

$$\dot{\psi}_2 = -\alpha\psi_2 + \omega J\psi_2 + \alpha L_m \vec{i}_1, \quad (4.14)$$

де $\alpha = \frac{R_2}{L_2} = T_R^{-1}$,

T_R^{-1} – стала часу роторного кола.

Після підстановки виразу для ψ_1 з (4.12) у рівняння (4.10), а також після перетворень з урахуванням (4.13), отримаємо рівняння динаміки струму статора:

$$\dot{i}_1 = -\frac{R_1}{\sigma} i_1 - \beta \psi_2 + \frac{1}{\sigma} u_1, \quad (4.15)$$

де $\sigma = L_1 \left(1 - \frac{L_m^2}{L_1 L_2}\right)$,

$\beta = \frac{L_m}{L_2 \sigma}$ – введені змінні для спрощення вигляду

З урахуванням (4.13) рівняння моменту асинхронного двигуна набуває вигляду:

$$M = \frac{3}{2} \frac{L_m}{L_2} i_1^T J \psi_2 \quad (4.16)$$

При розгляді узагальненої електричної машини приймається, що кількість пар полюсів дорівнює одиниці ($p_n = 1$). Якщо машина має кількість пар полюсів $p_n \neq 1$ тоді складова $\omega J \psi_2$ в (4.14) масштабуються множителем p_n .

Поєднуючи (4.14), (4.15), (4.16) з рівняннями руху механічної частини з моментом інерції J , математична модель АД запишеться у наступному вигляді:

$$\begin{aligned} \dot{\theta} &= \omega \\ \dot{\omega} &= \frac{1}{J}(M - M_c), M = \frac{3 L_m}{2 L_2} p_n (\psi_{2a} i_{1b} - \psi_{2b} i_{1a}) \\ i_{1a} &= -\gamma i_{1a} + \alpha \beta \psi_{2a} + \beta p_n \omega \psi_{2b} + \frac{1}{\sigma} u_{1a} \\ i_{1b} &= -\gamma i_{1b} + \alpha \beta \psi_{2b} - \beta p_n \omega \psi_{2a} + \frac{1}{\sigma} u_{1b} \\ \dot{\psi}_{2a} &= -\alpha \psi_{2a} - p_n \omega \psi_{2b} + \alpha L_m i_{1a} \\ \dot{\psi}_{2b} &= -\alpha \psi_{2b} - p_n \omega \psi_{2a} + \alpha L_m i_{1b} \end{aligned} \tag{4.17}$$

де $\gamma = \frac{R_1}{\sigma} + \alpha L_m \beta, \beta = \frac{L_m}{L_2 \sigma}$.

Отримана динамічна модель асинхронного двигуна у координатах статора (a-b). За системою (4.17), будемо структурну схему зображену на рис. В.2.

На основі математичної моделі насосу та асинхронного двигуна, структурна схема системи стабілізації тиску зображена на рис. Г.1.

На основі математичної моделі насосу та асинхронного двигуна, для системи стабілізації продуктивності, структурна схема буде мати вигляд:

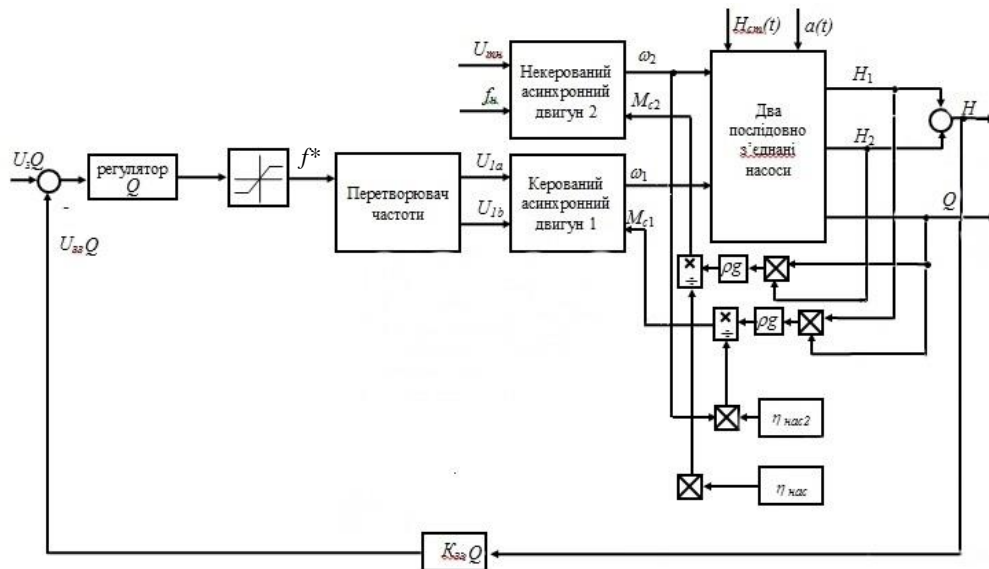


Рисунок 4.2. – Структурна схема послідовного з'єднання насосів для системи стабілізації продуктивності

4.4. Складання специфікації на матеріали та обладнання установки

Таблиця 4.1. – Специфікація на матеріали та обладнання установки автоматизованої системи керування водопостачанням

№	Найменування обладнання/ матеріалів	Опис/характеристики	Кількість	Одиниця виміру	Примітки
1	Насос типу P253/1-SA111	Продуктивність: до 120 м ³ /год, ККД: 62,9%	2	шт.	Для системи водопостачання
2	Асинхронний двигун 4A315M4Y3	Номінальна потужність: 164 кВт	2	шт.	З короткозамкненим ротором
3	Перетворювач частоти АВВ ACS550-02-368A-4	Номінальна потужність: 220 кВт	1	шт.	Для регулювання швидкості
4	Датчик напору типу SEN-3276 3	Межа вимірювання: 25 бар, точність: 0,5%	1	шт.	Для контролю тиску
5	Датчик продуктивності типу DPL	Межа вимірювання: 0,0015..1,5 м ³ /год	1	шт.	Для контролю витрат
6	Фільтр для захисту від перенапруг	Включає варистори та фільтр радіоперешкод	1	шт.	Для захисту системи
7	Випрямляч	Перетворює змінну напругу в постійну	1	шт.	Частина перетворювача
8	Ємність фільтру випрямляча	Для згладжування випрямленої напруги	1	шт.	Частина перетворювача
9	Датчики струму ДС1, ДС2	Для контролю фазних струмів	2	шт.	Для захисту двигуна
10	Драйвери	Для керування IGBT ключами	2	шт.	Підсилюють сигнали
11	Опторозв'язка	Гальванічна розв'язка сигналів	1	шт.	Для підвищення заводозахисності
12	Керуючий контролер	Базується на цифровому сигнальному процесорі	1	шт.	Для автоматизації
13	Блок живлення	Для живлення контролера та датчиків	1	шт.	Забезпечує живлення
14	Панель оператора	Для налаштування параметрів системи	1	шт.	Для ручного управління
15	Зовнішні термінали	Для підключення дискретних/аналогових сигналів	1	шт.	Для сигналів управління
16	Додаткові входи/виходи	Для керування додатковими системами	1	шт.	Включає вентилятори охолодження

Продовження табл. 4.1

№	Найменування обладнання/ матеріалів	Опис/характеристики	Кількість	Одиниця виміру	Примітки
17	Кабелі та з'єднувачі	Для електричних з'єднань	1	комплект	Для підключення обладнання
18	Заземлення	Для безпеки системи	1	комплект	Для захисту від короткого замикання

4.5. Висновки та пропозиції

Розробка автоматизованої системи керування водопостачанням в електроцеху є важливим етапом у забезпеченні ефективності та надійності технологічних процесів. Визначені технологічні вимоги до системи автоматизації, такі як плавний пуск насосного агрегату, стабілізація напору рідини, автоматичне повторне включення насосів після зникнення напруги, а також захист від теплових перевантажень, створюють основу для успішної реалізації автоматизації. Ці вимоги дозволяють знизити ризики, пов'язані з ручним управлінням, і забезпечити високу точність у контролі технологічних параметрів.

Електрична принципова схема керування, побудована на основі асинхронного електроприводу, демонструє інтеграцію сучасних технологій, таких як перетворювачі частоти, які забезпечують регулювання швидкості обертання насосів.

Специфікація на матеріали та обладнання, що включає насосні агрегати, асинхронні двигуни, перетворювачі частоти та різноманітні датчики, відображає комплексний підхід до вибору компонентів системи. Це забезпечує не лише досягнення технічних характеристик, але й відповідність сучасним вимогам безпеки та надійності.

У цілому, реалізація автоматизованої системи керування водопостачанням в електроцеху дозволить підвищити ефективність виробничих процесів, зменшити витрати на енергію та забезпечити безпеку

працівників. Необхідно продовжити моніторинг роботи системи після її впровадження для виявлення можливих недоліків і їх оперативного усунення, що сприятиме подальшій оптимізації та вдосконаленню автоматизації водопостачання. Таким чином, даний проєкт є важливим кроком у напрямку модернізації виробництва та підвищення його конкурентоспроможності на ПАТ «Сумхімпром».

5. ПРОЄКТУВАННЯ ЕЛЕКТРИЧНОГО ОСВІТЛЕННЯ ЕЛЕКТРОЦЕХУ

5.1. Вибір системи та виду освітлення в електроцеху

Існує три системи освітлення: система загального освітлення; система місцевого освітлення; система комбінованого освітлення [2].

Система загального освітлення забезпечує рівномірне освітлення всього простору, що дозволяє створити комфортні умови для перебування людей у приміщенні або на відкритій території. Основна мета цієї системи полягає в тому, щоб уникнути тіней і забезпечити достатній рівень освітленості для виконання різних завдань. Загальне освітлення, як правило, досягається за допомогою стельових світильників, люстр або світильників, розташованих на стінах.

Система місцевого освітлення, в свою чергу, фокусується на освітленні конкретних ділянок або об'єктів. Це може включати настільні лампи, підсвічування робочих зон, а також освітлення для художніх робіт або декоративних елементів. Місцеве освітлення служить для підвищення функціональності та естетики певних зон, забезпечуючи акцент на деталях і покращуючи видимість у специфічних областях.

Комбінована система освітлення поєднує в собі елементи загального та місцевого освітлення, що дозволяє досягти максимальної гнучкості та ефективності. За допомогою комбінованої системи можна адаптувати освітлення до різних потреб і активностей, змінюючи інтенсивність і напрямок світла в залежності від ситуації. Це особливо актуально в багатофункціональних приміщеннях, де можуть проводитися різні заходи, такі як зустрічі, навчання або відпочинок.

Вибір системи освітлення залежить від багатьох факторів, включаючи призначення приміщення, його розміри, архітектурні особливості та потреби користувачів. Правильно спроектоване освітлення не тільки покращує

видимість, але й впливає на настрій, продуктивність та загальний комфорт людей у просторі. Таким чином, ефективне використання освітлення стає важливим аспектом сучасного дизайну інтер'єру та архітектури.

За призначенням освітлення ділиться на наступні види:

– Природне освітлення – використовує природні джерела світла, такі як сонце. Воно може бути прямим (безпосереднє сонячне світло) або розсіяним (світло, що проходить через хмари або відбивається від поверхонь).

– Штучне освітлення – створюється за допомогою електричних джерел світла. Штучне освітлення можна поділити на кілька підкатегорій:

– загальне освітлення – забезпечує рівномірне освітлення всього приміщення (наприклад, стельові світильники);

– робоче освітлення – забезпечує достатнє освітлення для виконання конкретних завдань (наприклад, настільні лампи, підсвічування робочих поверхонь);

– акцентне освітлення – використовується для підкреслення певних об'єктів або зон (наприклад, світильники для картин, точкові світильники).

– Спеціалізоване освітлення – використовується для конкретних потреб або в особливих умовах, таких як:

– безпечне освітлення – використовується в аварійних ситуаціях (наприклад, аварійні ліхтарі, освітлення евакуаційних шляхів);

– декоративне освітлення – використовується для створення естетичного ефекту (наприклад, освітлення ландшафтів, архітектурні світлові рішення);

– освітлення для промислових об'єктів – спеціально розроблене для виробничих приміщень і складів, забезпечуючи достатнє освітлення для роботи з машинами та обладнанням.

Беручи до уваги наявні системи та типи освітлення, а також їх функціональне призначення, в рамках цього проєкту ми обираємо систему загального освітлення, а також види освітлення, що включають робоче

освітлення та освітлення для спостереження, яке використовується в черговому режимі.

5.2. Вибір нормованої освітленості для приміщень електроцеху

Величину норми освітленості для приміщень споруд, залежно від типу прийнятого джерела світла вибирають з ДБН В.2.5-28-2018 «Природне і штучне освітлення».

Таблиця 5.1. – Вибір нормованої освітленості електроцеху

№ з\п	Назва приміщення	Нормована освітленість E_n , Лк
1	Кімната керівництва	5
2	Приміщення для обслуговування електрообладнання	15
3	Щитова	50
4	Склад запасних частин	5
5	Приміщення для контролю якості продукції	150
6	Кімната для персоналу	150
7	Тамбур для входу в електроцех	7

5.3. Розрахунок освітлення приміщень електроцеху

При проектуванні електроосвітлення слід дотримуватися таких вимог:

1. Відповідність нормам і стандартам – освітлення повинно відповідати діючим нормативним документам і стандартам, які регулюють рівні освітленості, безпеки та енергоефективності.

2. Економічність – використання енергоефективних джерел світла та систем управління освітленням, що дозволяють знизити витрати на електроенергію.

3. Комфорт і безпека – забезпечення комфортних умов для користувачів, включаючи належний рівень освітленості, відсутність сліпучих ефектів і забезпечення безпеки в приміщеннях та на території.

4. Функціональність – освітлення повинно бути адаптоване до специфіки приміщень і діяльності, що в них проводиться, з урахуванням робочих зон та зон відпочинку.

5. Естетика – дизайн освітлювальних приладів і їх розташування мають гармонійно вписуватися в інтер'єр та архітектуру будівлі.

6. Гнучкість – система освітлення повинна мати можливість адаптації до змін у використанні приміщень та потребах користувачів.

7. Доступність обслуговування – забезпечення простоти доступу до освітлювальних приладів для їх обслуговування та заміни.

8. Використання сучасних технологій – інтеграція новітніх технологій, таких як автоматизація, сенсори руху та системи управління освітленням, для підвищення ефективності та зручності використання.

Дотримання цих вимог дозволить створити ефективну, безпечну та комфортну систему електроосвітлення.

При установці світильників необхідно враховувати архітектурні характеристики приміщення, розташування вікон, конструкцій будівлі та технологічного обладнання. Світильники з точковими джерелами світла розміщуються в кутах квадратів або прямокутників, а також можуть бути розташовані в шаховому порядку для досягнення рівномірного освітлення. У випадку використання світильників з діодними лампами, їх слід встановлювати у вигляді рядів, що забезпечує ефективний розподіл світла.

Крім того, важливо враховувати призначення приміщення, оскільки різні зони можуть вимагати різних рівнів освітленості. Наприклад, в робочих зонах, де проводяться точні роботи, необхідно забезпечити вищий рівень освітлення, тоді як в зонах відпочинку достатньо м'якого освітлення для створення комфортної атмосфери.

Також доцільно використовувати системи автоматизації, які дозволяють регулювати яскравість світильників залежно від часу доби або присутності людей у приміщенні.

Освітлення приміщень електроцеху буде мати наступні параметри:

- Вид освітлення – робоче;
- Система освітлення – загальна рівномірна;
- Тип світильника – ЛПО 1x9, крива сили світла – Д-1, IP53;
- Нормована освітленість – $E_n = 5$ лк;
- Площина нормування та рівень розрахункової поверхні – Г-0,0.

Розрахунок проводимо точковим методом лінійних ізолюкс.

1) Розрахункова висота:

$$H_{\text{розр}} = 4 - 0,2 = 3,8 \text{ м}; \quad (5.1)$$

Світлотехнічна найбільш вигідна відносна відстань $\lambda_{\text{св}} = 1,2 \dots 2,1$ [1];

2) Рекомендована відстань між світильниками:

$$L_B = (1,2 \div 2,1) \cdot 3,8 = 4,56 \dots 7,89 \text{ м}; \quad (5.2)$$

Приймаємо $L_B = 6$ м.

3) Відстань від стіни, до найближчого ряду:

$$l_B = (0,3 \dots 0,5) \cdot 6 = 1,8 \dots 3 \text{ м}; \quad (5.3)$$

Приймаємо $l_B = 1,8$ м.

4) Кількість рядів світильників:

$$N_B = \frac{26,4 - 2 \cdot 1,8}{6} + 1 = 3,8; \quad (5.4)$$

Приймаємо $N_B = 4$ ряди.

5) Визначаємо довжину півряду L:

$$L = \frac{A}{2}; \quad (5.5)$$

$$L = \frac{30}{2} = 15.$$

6) Визначаємо відстань p від розрахункової точки до світлового ряду. Розрахункову точку вибираємо посередині приміщення між рядами.

$$P = L_b/2; \quad (5.6)$$

$$p^1 = \frac{6}{2} = 3; \quad p^2 = \frac{18}{2} = 9.$$

7) Визначаємо відношення p^* :

$$p^* = p / H_p; \quad (5.7)$$

$$p^{*1} = \frac{3}{3,8} = 0,78; \quad p^{*2} = \frac{9}{3,8} = 2,38;$$

8) Визначаємо відношення L^* :

$$L^* = L / H_p; \quad (5.8)$$

$$L^* = \frac{15}{3,8} = 3,95.$$

9) Визначаємо умовну освітленість e по графікам лінійних ізолюкс:

Таблиця 5.2. – Розрахунок умовної освітленості

Напівряд	L,м	p,м	L*	p*	E,лк	ΣE ,лк
1,2,7,8	15	9	3,95	2,37	10	40
3,4,5,6	15	3	3,95	0,78	60	240

5.4. Вибір та розрахунок освітлювальної мережі електроцеху

Для живлення електроприймачів у системі електроосвітлення обираємо напругу 380/220 В з нейтраллю, що заземлена глухо, та частотою 50 Гц. Проводимо розмітку для укладання проводів, кабелів і труб. Відкриті електропроводки, включаючи проводи, труби та кабелі, розміщуються паралельно архітектурним лініям приміщення, що дозволяє оптимізувати технологічні процеси та зменшити витрати електроенергії на освітлення [4].

Таблиця 5.3. – Розділення освітлювального навантаження на групи

Номер групи	Система групи	Номер приміщення на плані	Потужність, Вт	Примітка
1	A+N	1,2,3,4	479	-
2	B+N	5	728	-
3	C+N	6,7	540	-
4		Чергове	148	

1) Розрахункові струми груп визначаємо за формулою:

$$I_{gp} = \frac{P_{лл}}{U_{\phi} \cdot \cos \varphi} + \frac{P_{лр}}{U_{\phi}}, \quad (5.9)$$

де $P_{лл}$ – потужність люмінесцентних ламп групи, Вт ; $P_{лр}$ – потужність ламп розжарювання групи, Вт.

$$I_{gp1} = \frac{479}{220} = 2,17 A; \quad (5.10)$$

$$I_{gp2} = \frac{728}{220} = 3,30 A; \quad (5.11)$$

$$I_{gp3} = \frac{540}{220} = 2,45 A; \quad (5.12)$$

$$I_{gp4} = \frac{56}{220} = 0,67 A. \quad (5.13)$$

5.5. Складання специфікації на матеріали та обладнання

Таблиця 5.3. – Специфікація на матеріали та обладнання для електрифікації електроцеху

Позн.	Найменування	Кількість, шт.
A2	Щит освітлювальний ЯРУ 8501-4712 ТУ16-656-092-85	1
A1	Ввідний щит ПР11-3047-54У3	1
	Світильники ГОСТ 17677-82 :	
	ЛСП18	16
	ПВЛМ	1
	ЛСП02	17
	ЛПО	21
	НСП-01	8
	Лампи світлодіодні ГОСТ Р 54815-2011:	
	1LED-T8-060M-0930-01	21
	1LED-T8-120M-1830-01	16
	1LED-T8-150M-2860-1	2
	1LED-T8-150M-2840-1	46
	Вимикач однополюсний ГОСТ Р 50031-99	4

5.6. Висновки та пропозиції

У процесі проектування електричного освітлення електроцеху було враховано основні принципи, що забезпечують ефективність, безпеку та комфортність умов праці. Вибір системи загального освітлення, а також робочого та чергового освітлення, відповідає сучасним вимогам до освітленості виробничих приміщень, що підтверджується нормами, викладеними в ДБН В.2.5-28-2018 «Природне і штучне освітлення».

Розрахунок нормованої освітленості для різних приміщень електроцеху показав, що для забезпечення належних умов праці необхідно дотримуватись рекомендованих значень, що варіюються від 5 до 150 люкс в залежності від призначення приміщення. Це дозволяє створити оптимальні умови для виконання технологічних процесів та підвищує продуктивність праці.

В ході розрахунків освітлення було застосовано точковий метод лінійних ізолюкс, що забезпечує точність у визначенні освітленості в різних точках приміщення. Результати розрахунків свідчать про доцільність

використання світильників з діодними лампами, що не лише забезпечують необхідну освітленість, але й сприяють енергозбереженню.

При виборі та розрахунку освітлювальної мережі електроцеху було обрано систему напруги 380/220 В з глухо заземленою нейтраллю, що відповідає вимогам безпеки та надійності. Розподіл освітлювального навантаження на групи дозволяє оптимізувати електроспоживання та забезпечити рівномірне навантаження на електричну мережу.

Специфікація на матеріали та обладнання для електрифікації електроцеху містить всі необхідні компоненти, включаючи щити, світильники та лампи, що відповідають сучасним стандартам якості. Вона також передбачає використання енергоефективних технологій, що дозволить зменшити витрати на електроенергію.

Узагальнюючи, можна стверджувати, що розроблена система освітлення електроцеху відповідає всім необхідним вимогам і нормам, що забезпечить комфортні та безпечні умови праці для персоналу. Рекомендується продовжити моніторинг ефективності освітлювальної системи після її впровадження та в разі необхідності внести корективи для покращення умов праці. Також важливо забезпечити регулярне обслуговування та перевірку освітлювального обладнання для підтримання його ефективності та безпеки.

6. ПРОЄКТУВАННЯ ПИТАНЬ З ОХОРОНИ ПРАЦІ

Умови праці на робочому місці формуються під впливом різноманітних виробничих чинників, які можуть істотно впливати на здоров'я та безпеку працівників. Згідно з ДСТУ-Н Б А.3.2-1:2007 «Система стандартів безпеки праці», всі ці чинники класифікуються на небезпечні та шкідливі [12].

Небезпечні фактори – це ті, які можуть призвести до травм або аварій, наприклад, механічні, електричні, хімічні чи термічні впливи. Вони можуть викликати миттєві або відкладені наслідки для здоров'я, тому їх ідентифікація та контроль є критично важливими для забезпечення безпеки на робочому місці.

Шкідливі фактори, в свою чергу, можуть не викликати негайної небезпеки, але мають потенціал для негативного впливу на здоров'я працівників при тривалому або систематичному впливі.

Для забезпечення безпечних умов праці важливо проводити регулярні оцінки ризиків, що дозволяє виявити небезпечні та шкідливі фактори, а також розробити ефективні заходи щодо їх усунення або зменшення впливу.

Під час експлуатації електрообладнання важливо зосередити увагу на запобіганні впливу електричного струму на працівників, які його обслуговують.

Для досягнення цього необхідно впроваджувати комплекс заходів, спрямованих на забезпечення безпеки:

- слід дотримуватись вимог технічної документації та стандартів безпеки, які регламентують правила експлуатації електрообладнання;
- важливо забезпечити належне заземлення та захист електричних установок, що дозволяє знизити ризик ураження струмом;
- необхідно організувати навчання для обслуговуючого персоналу, яке охоплює основи електробезпеки, правила роботи з електрообладнанням та дії у разі виникнення аварійних ситуацій. Працівники повинні бути ознайомлені з потенційними небезпеками та знати, як правильно реагувати на них;

– важливим є забезпечення відповідного інструменту та засобів індивідуального захисту, які допомагають знизити ризики при роботі з електричними установками.

Тип приміщення електроцеху, що характеризується підвищеним ризиком ураження електричним струмом, вимагає особливих заходів безпеки та організації робочого простору. У таких приміщеннях існує велика ймовірність виникнення небезпечних ситуацій, пов'язаних з електричними установками, тому важливо дотримуватися специфічних норм і стандартів, що регламентують експлуатацію електрообладнання.

Основні причини травматизму в електроустановках можна згрупувати за такими групами [17]:

– недостатня кваліфікація персоналу. Багато нещасних випадків трапляються через відсутність знань та навичок у працівників, які обслуговують електрообладнання. Неправильне виконання робіт, нехтування правилами безпеки, а також відсутність навчання з електробезпеки можуть призвести до серйозних травм;

– порушення правил експлуатації. Невиконання встановлених норм і правил, що регламентують експлуатацію електрообладнання, може стати причиною короткого замикання, перевантаження системи або інших аварійних ситуацій;

– недостатнє технічне обслуговування – регулярне обслуговування та перевірка електрообладнання є критично важливими для запобігання аваріям. Відсутність планових перевірок і ремонту може призвести до зносу ізоляції, виходу з ладу електричних компонентів та інших проблем, що підвищують ризик ураження електричним струмом;

– неправильне використання засобів індивідуального захисту (ЗІЗ) – ігнорування використання ЗІЗ, таких як ізольовані рукавички, захисні окуляри та спеціальне взуття, може значно підвищити ризик травм. Працівники повинні бути навчені правильному використанню та догляду за ЗІЗ;

- небезпечні умови праці – наявність вологи, пилу, агресивних хімічних речовин або інших факторів, що можуть вплинути на безпеку, є серйозною загрозою в електроцехах. Такі умови можуть призвести до зниження ефективності ізоляції та збільшення ризику короткого замикання;

- відсутність системи контролю та моніторингу – недостатня організація контролю за виконанням правил безпеки та моніторингом стану електрообладнання можуть призвести до непередбачуваних ситуацій. Впровадження системи управління безпекою на виробництві допомагає знизити ймовірність травматизму;

- аварійні ситуації – несподівані події, такі як короткі замикання, пожежі або інші аварії, можуть стати причинами травматизму. Важливо мати план дій у надзвичайних ситуаціях та навчити працівників, як реагувати на такі ситуації.

Небезпечний вплив електричного струму на людину проявляється через електротравми. Згідно зі статистикою, електротравми складають 10% від загальної кількості нещасних випадків у машинобудівній галузі. Однак у приміщеннях, які класифікуються як особливо небезпечні в контексті ризику ураження електричним струмом, ці показники майже втричі вищі.

Порівняно з іншими видами травматизму травматизм в електроустановках має такі особливості [3]:

- непередбачуваність – електротравми можуть статися раптово і без попереджувальних ознак, що ускладнює їх прогнозування та запобігання;

- висока небезпека ураження – вплив електричного струму може призвести до серйозних наслідків, включаючи опіки, зупинку серця або навіть смерть;

- широкий спектр травм – електротравми можуть проявлятися в різних формах, від легких опіків до важких уражень внутрішніх органів;

- залежність від умов праці – ризик електротравм значно зростає в умовах підвищеної вологості, наявності агресивних хімічних речовин або поганого освітлення;

- вплив на психоемоційний стан – електротравми можуть викликати не лише фізичні ушкодження, але й психологічні травми, такі як страх або тривога, пов'язані з роботою з електрикою;

- потреба в спеціалізованій підготовці – працівники, які працюють з електрообладнанням, повинні проходити спеціальне навчання з електробезпеки, що є критично важливим для запобігання травмам;

- високі витрати на лікування та відновлення – лікування електротравм може бути дорогим і тривалим, що накладає додатковий тягар на систему охорони здоров'я та працівників.

Електротравма – це ушкодження, яке виникає внаслідок впливу електричного струму на організм людини. Такі травми можуть проявлятися в різних формах, включаючи:

- опіки – виникають внаслідок проходження струму через шкіру, що може призводити до термічних ушкоджень;

- ураження внутрішніх органів – електричний струм може пошкоджувати серце, легені, нервову систему та інші органи, викликаючи серйозні наслідки, такі як аритмія або зупинка серця;

- випадкові травми – вплив електричного струму може призвести до м'язових спазмів, які можуть викликати падіння або інші травми;

- психологічні наслідки – люди, які пережили електротравму, можуть відчувати страх або тривогу, пов'язані з роботою з електричними пристроями.

Умовно всі електротравми можна звести до таких видів:

- контактні електротравми – виникають при безпосередньому контакті людини з електричним джерелом, коли струм проходить через тіло;

- дуга електричного розряду – виникає, коли електричний струм проходить через повітря між провідниками, викликаючи опіки на шкірі та пошкодження органів зору через яскраве світло;

- струмові травми – виникають внаслідок проходження електричного струму через тіло, що може призвести до серйозних уражень, таких як зупинка серця, ураження нервової системи або м'язів;

- електричні опіки – виникають внаслідок теплового впливу електричного струму на шкіру, що може призводити до термічних ушкоджень;

- непрямі електротравми – виникають внаслідок вторинних наслідків електричного ураження, таких як падіння або травми, викликані м'язовими спазмами;

- психологічні травми – в результаті пережитої електротравми люди можуть відчувати психологічний дискомфорт, страх або тривогу, пов'язані з роботою з електрикою.

Установка є постійним робочим місцем, тому потрібно забезпечувати відповідні санітарно-гігієнічні умови роботи.

При роботі з електричними насосами можливий вплив на людину наступних шкідливих виробничих факторів:

- Електричний струм – неправильне використання або пошкодження обладнання може призвести до електротравм, таких як удари струмом або опіки.

- Вібрація – довготривала робота з насосами може викликати вібраційні травми, які впливають на суглоби, м'язи та нерви, особливо в руках і зап'ястях.

- Шум – робота насосів зазвичай супроводжується високим рівнем шуму, що може призвести до порушень слуху та стресу.

- Хімічні речовини – якщо насос використовується для перекачування небезпечних рідин (наприклад, хімікатів або нафти), можливий контакт з токсичними або корозійними речовинами, що може викликати отруєння або шкірні захворювання.

– Температурні умови – робота в умовах високих або низьких температур може призвести до термічних травм, таких як опіки або обмороження.

– Механічні ризики – неправильна експлуатація насосів може призвести до механічних травм, таких як порізи або удари від рухомих частин.

– Психоемоційний стрес – робота в умовах підвищеної відповідальності та ризику може викликати стрес, тривогу та інші психологічні розлади.

– Небезпечні умови праці – погане освітлення, недостатня вентиляція або скупченість на робочому місці можуть підвищити ризик травм.

Основні нормативні документи з електробезпеки, що регулюють безпечну експлуатацію електроустановок, є критично важливими для забезпечення охорони праці та запобігання електротравмам. Серед них особливе місце займають «Правила влаштування електроустановок» (ПВЕ), «Правила технічної експлуатації електроустановок споживачів» (ПТЕ) та «Правила техніки безпеки при експлуатації електроустановок споживачів» (ПТБ).

Правила влаштування електроустановок (ПВЕ) встановлюють загальні вимоги до проектування, монтажу та введення в експлуатацію електричних установок. Вони охоплюють аспекти, пов'язані з вибором обладнання, матеріалів, схемами електропостачання, а також вимоги до заземлення, захисту від короткого замикання та електричних ударів. ПВЕ визначають основні принципи, які мають дотримуватися під час влаштування електромереж, щоб забезпечити безпеку людей, збереження майна та надійність електропостачання.

Правила технічної експлуатації електроустановок споживачів (ПТЕ) регламентують процеси, пов'язані з експлуатацією електроустановок, що належать споживачам. Вони містять вимоги щодо технічного обслуговування, ремонту, контролю та моніторингу стану обладнання. ПТЕ

акцентують увагу на необхідності проведення планових перевірок, своєчасного усунення дефектів та аварійних ситуацій, а також на навчанні персоналу, що відповідає за експлуатацію електроустановок. Ці правила сприяють підвищенню безпеки в експлуатації електричних систем та зменшенню ризиків виникнення аварій.

Правила техніки безпеки при експлуатації електроустановок споживачів (ПТБ) є документом, що регламентує безпечні методи роботи з електричними установками. Вони охоплюють вимоги до організації робочих місць, використання засобів індивідуального захисту, а також правила поведінки під час виконання робіт в електричних установках. ПТБ визначають обов'язки працівників і керівництва, а також порядок проведення інструктажів з безпеки. Дотримання цих правил є критично важливим для запобігання електротравмам та забезпечення безпечних умов праці.

Нижче наведемо основні правила, які слід дотримуватися при експлуатації електричних насосів водопостачання:

1. Загальні вимоги:

– Перед початком роботи з електричними насосами необхідно пройти інструктаж з охорони праці та ознайомитися з правилами безпеки.

– Переконайтеся в наявності та справності засобів індивідуального захисту (ЗІЗ), таких як рукавички, захисні окуляри та каски.

2. Підготовка до роботи:

– Перед початком робіт перевірити технічний стан електричного насоса та його електричних з'єднань.

– У разі виявлення несправностей (пошкоджені кабелі, протікання, корозія) роботи з насосом слід призупинити до усунення дефектів.

– Переконайтеся, що насос відключено від електромережі перед проведенням будь-яких ремонтних або обслуговуючих робіт.

3. Експлуатація електричних насосів:

– Дотримуватися інструкцій виробника щодо експлуатації та обслуговування насосів.

- Не перевантажувати насос, дотримуючись розрахункових параметрів роботи.

- У разі виникнення аварійних ситуацій (наприклад, перегрів, шум, вібрація) негайно зупинити насос і вжити заходів для усунення проблеми.

4. Безпека при виконанні робіт:

- Під час роботи з насосами не допускати скупчення води та інших рідин у зоні роботи, щоб уникнути ковзання.

- Не торкатися до електричних частин насоса в умовах підвищеної вологості.

- Використовувати тільки справні інструменти та обладнання, що відповідають вимогам безпеки.

5. Порядок дій у разі аварії:

- У разі виникнення електротравми або іншої аварійної ситуації негайно викликати медичну допомогу та повідомити керівництво.

- Знати порядок дій у разі короткого замикання або пожежі, включаючи використання вогнегасників та евакуацію з небезпечної зони.

6. Після закінчення роботи:

- Після завершення робіт з насосом переконатися, що він вимкнений і відключений від електромережі.

- Провести огляд робочого місця, прибрати інструменти та матеріали, перевірити, що немає небезпечних залишків (води, олії тощо).

7. Регулярне навчання та перевірки:

- Регулярно проходити навчання з охорони праці та техніки безпеки.

- Проводити планові перевірки стану електричних насосів та їх обладнання відповідно до вимог ПТЕ.

Дотримання цих правил охорони праці при роботі з електричними насосами водопостачання є запорукою безпеки працівників, збереження їхнього здоров'я та запобігання аварійним ситуаціям.

7. ТЕХНІКО-ЕКОНОМІЧНІ РОЗРАХУНКИ ТА ПОКАЗНИКИ ПРОЄКТУ

На основі специфікації, наведеної у таблиці 4.1, складемо таблицю 7.1 вартості обладнання автоматизованої системи керування водопостачанням в електроцеху.

Таблиця 7.1. – Вартість обладнання автоматизованої системи керування водопостачанням в електроцеху

№	Найменування обладнання/матеріалів	Кількість	Ціна за одиницю (грн)	Загальна вартість (грн)	Примітки
1	Насос типу P253/1-SA111	2	40,000	80,000	Для системи водопостачання
2	Асинхронний двигун 4А315М4У3	2	50,000	100,000	З короткозамкненим ротором
3	Перетворювач частоти АBB ACS550-02-368А-4	1	120,000	120,000	Для регулювання швидкості
4	Датчик напору типу SEN-3276 3	1	15,000	15,000	Для контролю тиску
5	Датчик продуктивності типу DPL	1	10,000	10,000	Для контролю витрат
6	Фільтр для захисту від перенапруг	1	5,000	5,000	Для захисту системи
7	Випрямляч	1	20,000	20,000	Частина перетворювача
8	Ємність фільтру випрямляча	1	10,000	10,000	Частина перетворювача
9	Датчики струму ДС1, ДС2	2	7,000	14,000	Для захисту двигуна
10	Драйвери	2	4,000	8,000	Підсилюють сигнали
11	Опторозв'язка	1	3,000	3,000	Для підвищення заводозахисності
12	Керуючий контролер	1	25,000	25,000	Для автоматизації
13	Блок живлення	1	6,000	6,000	Забезпечує живлення
14	Панель оператора	1	8,000	8,000	Для ручного управління
15	Зовнішні термінали	1	2,000	2,000	Для сигналів управління
16	Додаткові входи/виходи	1	2,500	2,500	Включає вентилятори охолодження
17	Кабелі та з'єднувачі	1	1,000	1,000	Для підключення обладнання

Продовження табл. 7.1

№	Найменування обладнання/матеріалів	Кількість	Ціна за одиницю (грн)	Загальна вартість (грн)	Примітки
18	Заземлення	1	1,500	1,500	Для захисту від короткого замикання
Разом				398,000	

Експлуатаційні витрати.

Експлуатаційні витрати включають витрати на електроенергію, обслуговування та ремонт обладнання.

1. Витрати на електроенергію

Припустимо, що система працює 24 години на добу, 30 днів на місяць.

Номінальна потужність насосів: 2 насоси по 164 кВт = 328 кВт.

ККД насосів: 62,9% (0,629).

Фактична споживана потужність:

Фактична потужність = 328 кВт * 0,629 \approx 521,3 кВт

Споживана енергія за місяць:

Споживана енергія = 521,3 * кВт * 24 год * 30 днів \approx 374000 кВт\год

Вартість електроенергії:

Витрати на електроенергію = 374000 кВт\год * 2 грн/кВт = 748000 грн/міс

Витрати на обслуговування та ремонт.

Припустимо, що витрати на обслуговування становлять 5% від вартості обладнання на рік.

Річні витрати на обслуговування = 398 грн * 0,05 = 19900 грн/рік

Місячні витрати на обслуговування = 12 * 19900 грн \approx 1658,33 грн/міс.

Загальні експлуатаційні витрати на місяць.

Загальні експлуатаційні витрати = Витрати на електроенергію + Витрати на обслуговування

Загальні експлуатаційні витрати = 748000 грн +
1658,33 грн \approx 749658 грн/міс

Економічна ефективність.

Припустимо, що система дозволяє зекономити 20% витрат на водопостачання, які до впровадження системи становили 1000000 грн на місяць.

Економія = 1000000 грн * 0,20 = 200000 грн/міс

Чистий дохід = Економія – Загальні експлуатаційні витрати

Чистий дохід = 200000 грн * 12 – 749658 грн = 1650342 грн/міс.

Основні показники ефективності проекту наведено у табл. 7.2.

Таблиця 7.2. – Основні показники ефективності проекту автоматизованої системи керування водопостачанням в електроцеху

№	Показник	Значення (грн)
1	Загальна вартість обладнання	398000
2	Витрати на електроенергію	748000
3	Витрати на обслуговування	1658,33
4	Загальні експлуатаційні витрати	749658
5	Економія від впровадження системи	200000
6	Чистий дохід	1650342

Отже, результати, представлені в таблиці, свідчать про те, що автоматизована система керування водопостачанням в електроцеху має потенціал для значного зниження експлуатаційних витрат і підвищення ефективності використання ресурсів, що робить її економічно доцільною для впровадження. Важливо продовжувати моніторинг та аналіз цих показників у процесі експлуатації системи для виявлення можливостей подальшого вдосконалення та оптимізації витрат.

ВИСНОВКИ

Розробка електромеханічної системи автоматичного керування двома послідовно з'єднаними насосами в електроцеху ПАТ «Сумихімпром» є важливим кроком у забезпеченні ефективності та надійності водопостачання на підприємстві. У процесі аналізу сучасних електромеханічних систем автоматичного керування насосними установками було виявлено, що існує кілька підходів до автоматизації, які можуть бути адаптовані до специфіки даного проєкту.

У процесі розрахунку та вибору силового електрообладнання для автоматизованої системи керування насосами в електроцеху ПАТ «Сумихімпром» було проведено детальний аналіз технічних характеристик, що дозволяє забезпечити стабільну і ефективну роботу системи. Вибір насоса типу P253/1-SA111, що має максимальний ККД 62,9%, дозволяє оптимізувати енергоспоживання, що є критично важливим у сучасних умовах зростання цін на енергетичні ресурси.

Розрахунок потужності насоса, виконаний за формулою, що враховує густину рідини, прискорення вільного падіння, продуктивність та напір, дав змогу визначити необхідну потужність асинхронного двигуна. Вибраний двигун типу 4A315M4Y3 відповідає вимогам проєкту, має номінальну потужність, що забезпечує надійну роботу насоса в заданих режимах.

Для забезпечення ефективного управління насосом було обрано перетворювач частоти типу АВВ ACS550-02-368А-4 з номінальною потужністю 220 кВт. Це обладнання дозволяє регулювати швидкість обертання двигуна, що сприяє оптимізації витрат електроенергії та підвищенню загальної ефективності системи.

Вибір датчиків напору та продуктивності також був виконаний відповідно до технічних характеристик насоса. Датчик напору типу SEN-3276 3, що має межу вимірюваного тиску 25 бар, та витратомір типу DPL з діапазоном вимірювань до 1,5 м³/год, забезпечують точність вимірювань, що

є критично важливим для автоматизованого контролю процесів водопостачання.

Отже, проведені розрахунки та вибір обладнання забезпечують надійну, ефективну та безпечну роботу електромеханічної системи автоматичного керування насосами в електроцеху ПАТ «Суміхіпром». Впровадження даної системи не лише підвищить продуктивність, але й сприятиме зменшенню витрат на енергоресурси, що є важливим аспектом у контексті сучасних вимог до енергоефективності та екологічної безпеки.

Розробка автоматизованої системи керування водопостачанням в електроцеху є важливим етапом у забезпеченні ефективності та надійності технологічних процесів. Визначені технологічні вимоги до системи автоматизації, такі як плавний пуск насосного агрегату, стабілізація напору рідини, автоматичне повторне включення насосів після зникнення напруги, а також захист від теплових перевантажень, створюють основу для успішної реалізації автоматизації. Ці вимоги дозволяють знизити ризики, пов'язані з ручним управлінням, і забезпечити високу точність у контролі технологічних параметрів.

Електрична принципова схема керування, побудована на основі асинхронного електроприводу, демонструє інтеграцію сучасних технологій, таких як перетворювачі частоти, які забезпечують регулювання швидкості обертання насосів.

Специфікація на матеріали та обладнання, що включає насосні агрегати, асинхронні двигуни, перетворювачі частоти та різноманітні датчики, відображає комплексний підхід до вибору компонентів системи. Це забезпечує не лише досягнення технічних характеристик, але й відповідність сучасним вимогам безпеки та надійності.

У цілому, реалізація автоматизованої системи керування водопостачанням в електроцеху дозволить підвищити ефективність виробничих процесів, зменшити витрати на енергію та забезпечити безпеку працівників. Необхідно продовжити моніторинг роботи системи після її

впровадження для виявлення можливих недоліків і їх оперативного усунення, що сприятиме подальшій оптимізації та вдосконаленню автоматизації водопостачання. Таким чином, даний проєкт є важливим кроком у напрямку модернізації виробництва та підвищення його конкурентоспроможності на ПАТ «Сумхімпром».

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Вибір електричних апаратів захисту в мережах до 1000 В: Навчально-методичний посібник до практичних занять та самостійної роботи з дисципліни «Електричні апарати» (для студентів 3-4 курсів денної та заочної форм навчання спеціальності 6.090603 «Електротехнічні системи електроспоживання»). Укл.: В.М.Буряк, Н.А. Дейнеко. Харків: ХНАМГ, 2007. 62 с.
2. Гончаров В.Ф. Электрообладнання і автоматизація сільськогосподарських агрегатів і установок. К.: Вища шк., 1985. 207 с.
3. Енергозбереження та екологічні проблеми енергетики. Вісник Національної академії наук України. 2006. 2. С. 24-32;
4. Єрмілов С. Ф. Проблеми та шляхи удосконалення державної політики України у галузі енергозбереження. Економіка України. 2006. № 9. С. 4-11.
5. Кіселичник О.І. Дослідження екстремальної енергозберігаючої нейронної системи автоматичного керування насосом водопостачання. Вісник Кременчуцького державного політехнічного університету: Наукові праці КДПУ. Кременчук: КДПУ, 2003. Вип. 2(19). Т.1. С. 78-82.
6. Maat, A.P., van Thiel, R.J., Dalinghaus, M., & Bogers, A.J. (2008). Connecting the Centrimag Levitronix pump to Berlin Heart Excor cannulae; a new approach to bridge to bridge. *The Journal of heart and lung transplantation : the official publication of the International Society for Heart Transplantation*, 27 1, 112-5 . <https://doi.org/10.1016/j.healun.2007.10.010>
7. (2020). Direct conductor seal for the electrical connector of a submersible pump. *Sealing Technology*. [https://doi.org/10.1016/S1350-4789\(20\)30062-3](https://doi.org/10.1016/S1350-4789(20)30062-3)
8. Kolahi, M.R., Chambers, J., Mennel, S., & Patel, M.K. (2025). Reducing Pumping Energy in Thermal Grids: A Study on Hydraulic Modeling and Design Approaches. *Energy*. <https://doi.org/10.1016/j.energy.2025.136410>

9. Юрченко, О. Ю., & Барсукова, Г. В. (2021). Використання частотного перетворювача – дієвий та зручний спосіб регулювання швидкості насосного агрегату. *Вісник Сумського національного аграрного університету. Серія: Механізація та автоматизація виробничих процесів*, (3 (45)), 57-63. <https://doi.org/10.32845/msnau.2021.3.8>
10. Pavlenko, I.; Ciszak, O.; Kondus, V.; Ratushnyi, O.; Ivchenko, O.; Kolisnichenko, E.; Kulikov, O.; Ivanov, V. An Increase in the Energy Efficiency of a New Design of Pumps for Nuclear Power Plants. *Energies* 2023, 16, 2929. <https://doi.org/10.3390/en16062929>
11. Sotnyk, M. I., Moskalenko, V. V., Strokin, O. O., Antonenko, S. S., & Sapozhnikov, S. V. (2021). Influence of construction and operating pump parameters on pressure pulsations amplitude. In *Journal of Physics: Conference Series* (Vol. 1741, No. 1, p. 012010). IOP Publishing.
12. Mandryka, A. S., Majid, A. P., Ratushnyi, O. V., Kulikov, O. A., & Sukhostavets, D. I. (2022). Ways for improvement of reverse axial pumps.
13. Huang, S., Song, Y., Yin, J., Xu, R., & Wang, D. (2022). Research on pressure pulsation characteristics of a reactor coolant pump in hump region. *Available at SSRN 4055804*.
14. Panchenko, A., Voloshina, A., Titova, O., & Panchenko, I. (2021). The influence of the design parameters of the rotors of the planetary hydraulic motor on the change in the output characteristics of the mechatronic system. In *Journal of Physics: Conference Series* (Vol. 1741, No. 1, p. 012027). IOP Publishing.
15. Fang, Y., Liu, X., Luo, X., Qiao, L., Wang, C., & Sun, H. (2019, September). Study on the configuration of feed water pump for floating nuclear power plant. In *AIP Conference Proceedings* (Vol. 2154, No. 1). AIP Publishing.
16. Kondus, V., & Kotenko, A. (2017). Investigation of the impact of the geometric dimensions of the impeller on the torque flow pump characteristics. *Восточно-Европейский журнал передовых технологий*, (4 (1)), 25-31.

17. Ratushnyi, A. V., Sokhan, A. O., Kovaliov, I. A., Mandryka, A. S., & Ignatiev, A. S. (2021). Modernization of centrifugal impeller blades. In *Journal of Physics: Conference Series* (Vol. 1741, No. 1, p. 012009). IOP Publishing.

18. Kondus, V. Y., Puzik, R. V., German, V. F., Panchenko, V. O., & Yakhnenko, S. M. (2021). Improving the efficiency of the operating process of high specific speed torque-flow pumps by upgrading the flowing part design. In *Journal of Physics: Conference Series* (Vol. 1741, No. 1, p. 012023). IOP Publishing.

19. Cheng, K., Wang, C., Fang, Y., & Wang, J. (2020, July). Calculation and analysis of stable operation of feed water pumps for floating nuclear power stations under marine conditions. In *Journal of Physics: Conference Series* (Vol. 1600, No. 1, p. 012077). IOP Publishing.

20. Cheng, K., Wang, C., Fang, Y., & Wang, J. (2020, July). Calculation and analysis of stable operation of feed water pumps for floating nuclear power stations under marine conditions. In *Journal of Physics: Conference Series* (Vol. 1600, No. 1, p. 012077). IOP Publishing.

21. ПУЕ Правила улаштування електроустановок (перше переглянуте, перероблене, доповнене та адаптоване до умов України видання). 21.08.2017. Міністерство енергетики та вугільної промисловості України

22. НПАОП 40.1-1.21-98. Правила безпечної експлуатації електроустановок споживачів (2029). Державний нормативний акт про охорону праці

23. СНиП III-4-80* Правила виробництва і приймання робіт. Техніка безпеки в будівництві (НПАОП 45.2-7.02-80)

ДОДАТКИ

Додаток А

Схеми заміщення асинхронного двигуна

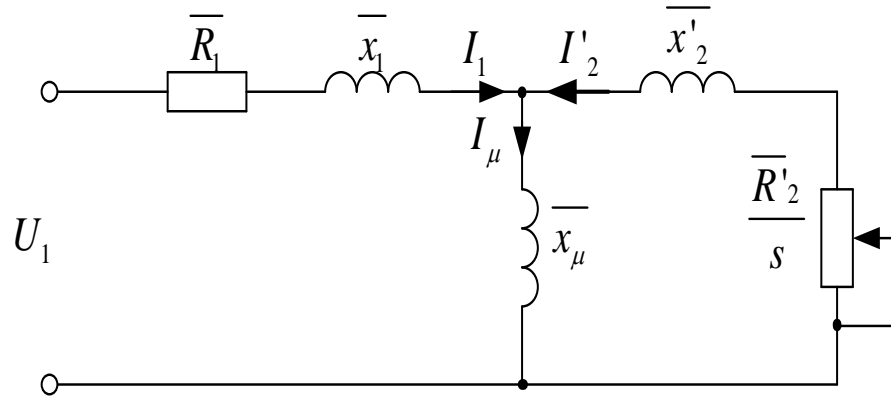


Рисунок А.1. – Т-подібна схема заміщення асинхронного двигуна

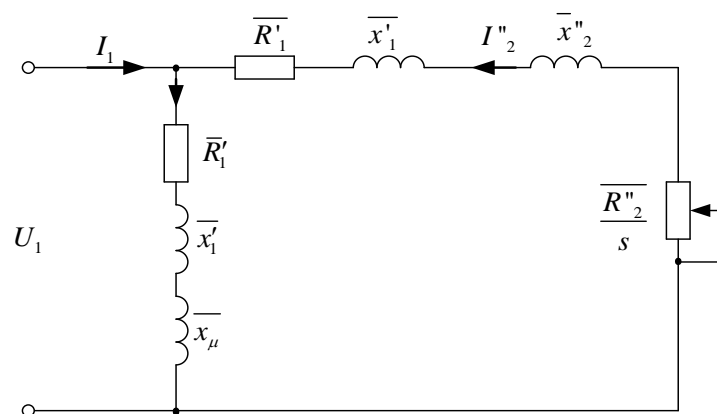


Рисунок А.2. – Г-подібна схема заміщення асинхронного двигуна

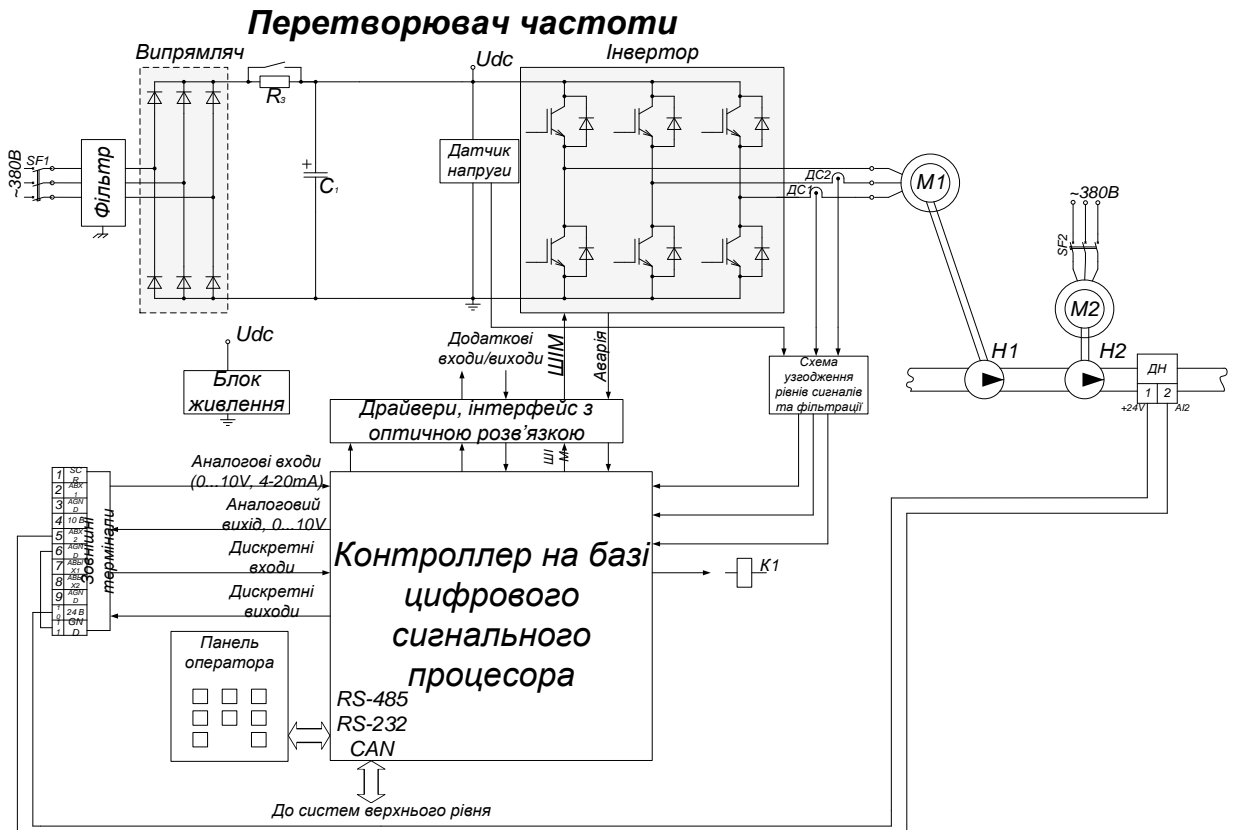


Рисунок Б.1. – Схема електрична принципова

Додаток В

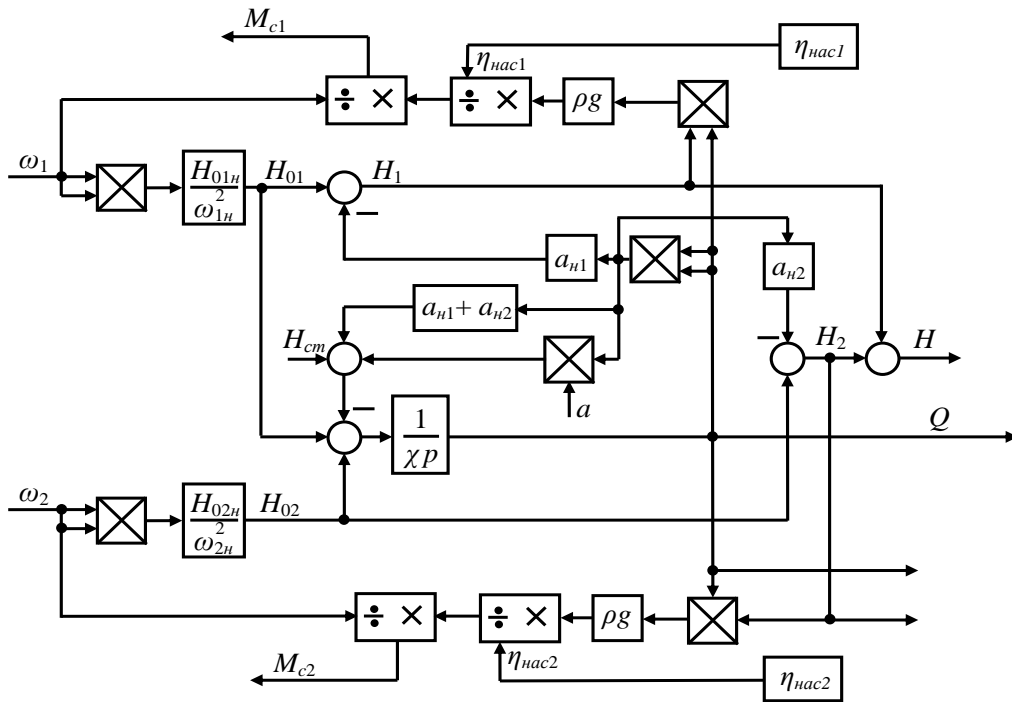


Рисунок В.1. – Структурна схема двох послідовно працюючих насосів

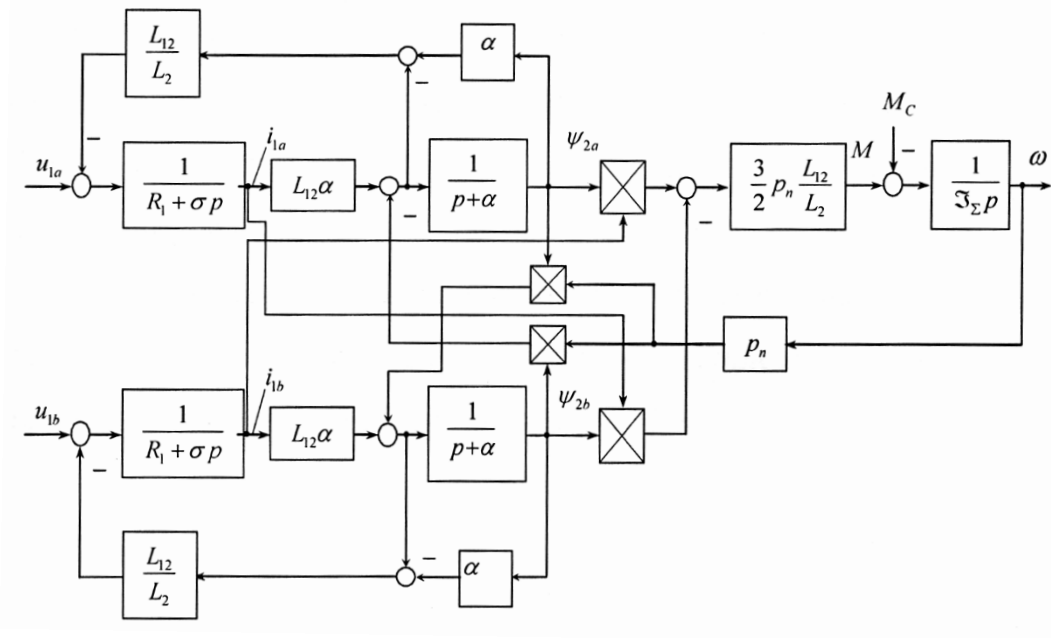


Рисунок В.2. – Структурна схема динамічної моделі асинхронного двигуна

Додаток Г

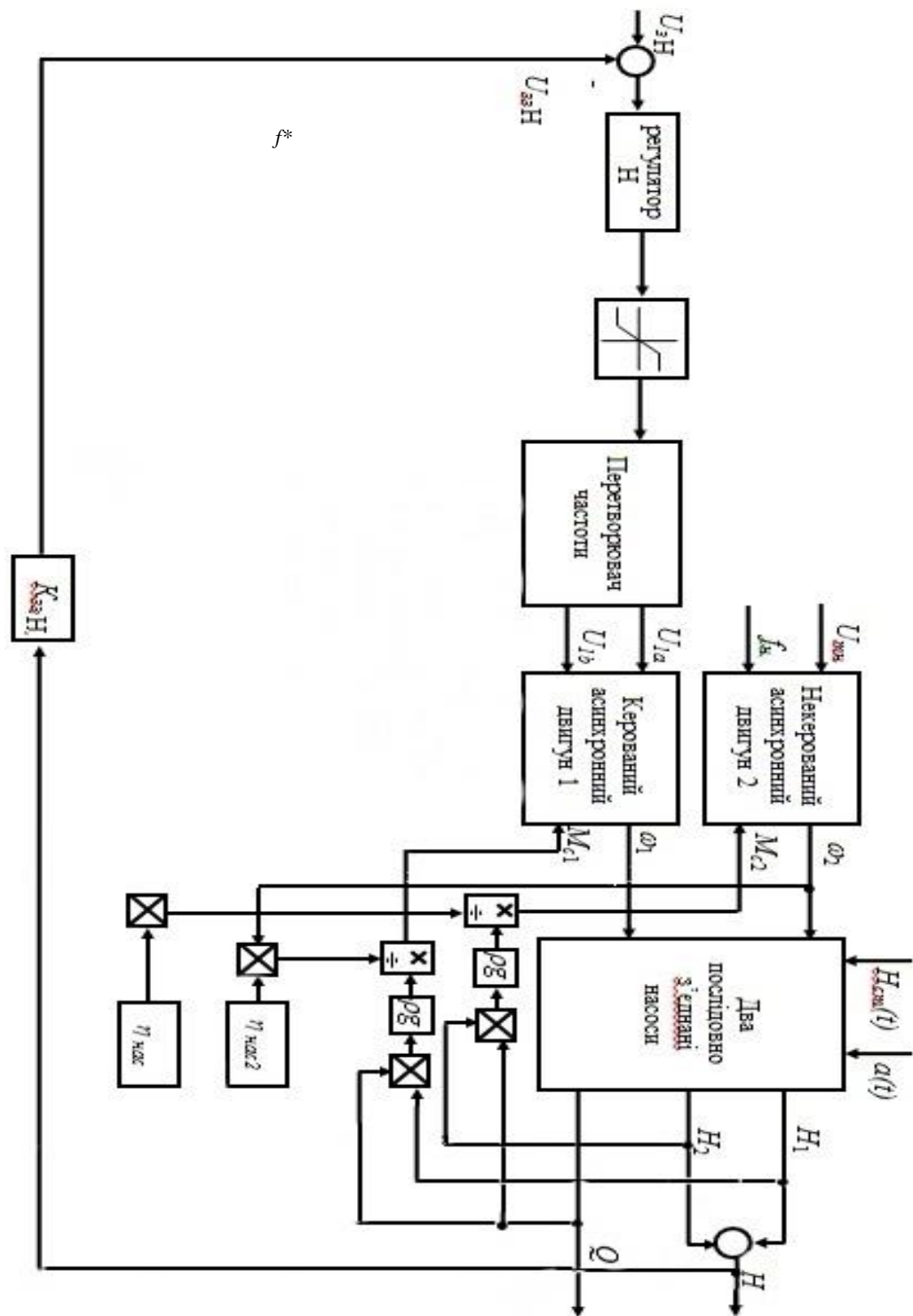


Рисунок Г.1. – Структурна схема послідовного з'єднання насосів для системи стабілізації тиску

№ рядка	Формат	Позначення	Найменування			К-ть листів	Номер листа	Примітки		
1	A4	КП.06.8.003.ПЗ	Реконструкція системи			74	74			
2			електрифікації електроцеху							
3			ПАТ «Сумихімпром»							
4			м. Суми з розробкою							
5			автоматизованої системи							
6			водопостачання							
7										
8			Кваліфікаційний проєкт.							
9			Пояснювальна записка.							
10	A4	КП.6.08.001.E3	Схеми заміщення ЕД			1	1			
11			Схема електрична принципова							
12	A4	КП.6.08.002.E3	Електропривід насосів			1	2			
13			Схема електрична принципова							
14	A4	КП.6.08.003.E1	Схема двох послідовно працюючих насосів			1	3			
15			Схема електрична структурна							
16	A4	КП.6.08.004.E1	Схема динамічної моделі асинхронного двигуна			1	4			
17			Схема електрична структурна							
18	A4	КП.6.08.005.E1	Схема послідовного з'єднання насосів			1	5			
19			Схема електрична структурна							
20										
21										
22										
23										
24										
25										
26										
27										
28										
29										
30										
			КП.06.8.003.ТП							
Зм.	Лист	№ документа	Підпис	Дата	Відомість проєкту			Літ	Лист	Листів
Розробив	Приходько							i	74	74
Перевірив	Юрченко									
Н.контр.	Чепіжний							СНАУ, 2025		
Затверд.	Чепіжний									