

Вінницький національний технічний університет
Факультет електроенергетики та електромеханіки
Кафедра електромеханічних систем автоматизації в промисловості і на
транспорті

Пояснювальна записка

до магістерської кваліфікаційної роботи

магістр

(освітньо-кваліфікаційний рівень)

на тему: «Оптимізація процесу транспортування стічних вод засобами
електропривода в системах водовідведення великих міст»

Виконав: студент 2 курсу, групи ЕПА-18м
спеціальності 141 – Електроенергетика,
електротехніка та електромеханіка
освітня програма – Електромеханічні системи
автоматизації та електропривод

Гуцько Максим Сергійович

(прізвище та ініціали)

Керівник к.т.н., доц. Мошноріз М. М.

(прізвище та ініціали)

Рецензент _____

(прізвище та ініціали)

Вінниця – 2019 року

Факультет _____ електроенергетики та електромеханіки
Кафедра Електромеханічних систем автоматизації в промисловості і на транспорті
Освітньо-кваліфікаційний рівень _____ магістр
Спеціальність 141 – Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка
Освітня програма – Електромеханічні системи автоматизації та електропривод

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри д.т.н., проф.

В. М. Кутін
“ ____ ” _____ 20__ року

З А В Д А Н Н Я НА МАГІСТЕРСЬКУ КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ СТУДЕНТУ

Гуцьку Максиму Сергійовичу

(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема роботи: Оптимізація процесу транспортування стічних вод засобами електропривода в системах водовідведення великих міст

керівник роботи _____ Мошноріз Микола Миколайович, к.т.н.

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

затверджені наказом вищого навчального закладу від “ ____ ” _____ 20__ року № ____

2. Строк подання студентом роботи _____

Строк подання студентом роботи _____

3. Вихідні дані до роботи: кількість насосів – 2 шт.; продуктивність насосної станції – 1500 м³/год; геодезична висота підйому відходів – 46 м.в.ст.; час розгону і сповільнення привода насосів – до 2 с; орієнтовний ККД насоса – 71%.

4. Зміст розрахунково-пояснювальної записки (перелік питань, які потрібно розробити): Огляд інформаційних джерел про об'єкт дослідження. Розрахунок насосної станції водовідведення. Оптимізація процесу транспортування стічних вод великих міст засобами електропривода. Алгоритм роботи системи водовідведення великого міста. Комп'ютерне моделювання роботи каналізаційної насосної станції. Економічна частина. Охорона праці і безпека в надзвичайних ситуаціях.

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

Мета та завдання дослідження. Загальні відомості про каналізаційні насосні станції. Схема електрична структурна. електропривода насоса каналізаційної насосної станції. Схема електрична функціональна каналізаційної насосної станції. Модель системи транспортування стічних вод. Критерій оптимальності. Оптимізація процесу транспортування стічних вод засобами електропривода каналізаційних насосних станцій. Динамічні характеристики насосного агрегату каналізаційної насосної станції. Розрахунок ефективності впровадження системи оптимального керування каналізаційними насосними станціями. Висновки за результатами виконання роботи. Наукова новизна та практичне значення роботи. Апробація та публікації за темою роботи

6. Консультанти розділів роботи

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	завдання прийняв
Спеціальна частина	к. т. н., доцент, Мошноріз М.М.		
Економічна частина	к. е. н., доцент, Мельничук Л. М.		
Охорона праці та безпека в надзвичайних ситуаціях	Зав. каф. БЖДПБ, д.пед.н., проф. Кобилянський О. В.		

7. Дата видачі завдання _____

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва етапів МКР	Строк виконання етапів роботи	Примітка
1	Формування та затвердження теми магістерської кваліфікаційної роботи (МКР)		
2	Виконання спеціальної частини МКР. Перший рубіжний контроль виконання МКР		
3	Виконання спеціальної частини МКР. Другий рубіжний контроль виконання МКР		
4	Виконання розділу «Економічна частина»		
5	Виконання розділу «Охорона праці та безпека в надзвичайних ситуаціях»		
6	Попередній захист МКР		
7	Нормоконтроль МКР		
8	Рецензування МКР		
	Захист МКР		

Студент _____
(підпис)

Гуцько М. С.
(прізвище та ініціали)

Керівник роботи _____
(підпис)

М. М. Мошноріз
(прізвище та ініціали)

АНОТАЦІЯ

Гуцько М. С. Оптимізація процесу транспортування стічних вод засобами електропривода в системах водовідведення великих міст. Магістерська кваліфікаційна робота. – Вінниця: ВНТУ, 2019. – 145 с. Бібліогр.: 22. Іл.: 16. Табл.: 27.

В магістерській кваліфікаційній роботі було розроблено систему електропривода та систему керування електроприводами каналізаційної насосної станції. У якості силового перетворювача обрано перетворювач частоти. Розраховано приводні двигуни, виконано їх перевірку на перевантаження і можливість пуску. Розроблено структурну схему електропривода та функціональну схему роботи станції. Розроблено математичну модель системи транспортування стічних вод. Розроблено алгоритм оптимального розподілу потоків каналізаційних стоків між насосними станціями. Розроблено програму роботи системи керування. Шляхом комп'ютерного моделювання перевірено працездатність насосної станції та оптимізаційного алгоритму.

Ключові слова: електропривод, каналізаційна насосна станція, перетворювач частоти, критерій оптимальності, енергетична ефективність, комп'ютерне моделювання.

АНОТАЦИЯ

Гуцько М. С. Оптимизация процесса транспортировки сточных вод средствами электропривода в системах водоотведения крупных городов. Магистерская квалификационная работа. - Винница: ВНТУ, 2019. - 145 с. Ист.: 22. Рис.: 16. Табл. : 27.

В магистерской квалификационной работе была разработана система электропривода и систему управления электроприводами канализационной насосной станции. В качестве силового преобразователя выбрана преобразователь частоты. Рассчитано приводные двигатели, выполнено их проверку на перегрузку и возможностью пуска. Разработана структурная схема электропривода и функциональную схему работы станции. Разработана математическая модель системы транспортировки сточных вод. Разработан алгоритм оптимального распределения потоков канализационных стоков между насосными станциями. Разработана программа работы системы управления. Путем компьютерного моделирования проверено работоспособность насосной станции и оптимизационного алгоритма.

Ключевые слова: электропривод, канализационная насосная станция, преобразователь частоты, критерий оптимальности, энергетическая эффективность, компьютерное моделирование.

THE SUMMARY

Gutsko M. Optimization of wastewater transportation by means of electric drive in large cities drainage systems. Master's qualification work. - Vinnitsa: VNTU, 2019. - 145 p. Bibliogr.: 22. Ill.: 16. Tabl.: 27.

In the master's qualification work the system of electric drive and control system of electric drives of the sewage pumping station was developed. The frequency converter is selected as the power converter. Driving motors have been calculated, their overload check and start capability tested. The structural scheme of the electric drive and the functional scheme of the work of the station have been developed. A mathematical model of the wastewater transportation system has been developed. An algorithm for optimal distribution of sewage flows between pumping stations has been developed. The program of control system operation is developed. Computer simulation tested the efficiency of the pumping station and the optimization algorithm.

Keywords: electric drive, sewage pumping station, frequency converter, optimality criterion, energy efficiency, computer simulation.

ЗМІСТ

ВСТУП.....	6
1 ОГЛЯД ІНФОРМАЦІЙНИХ ДЖЕРЕЛ ПРО ОБ’ЄКТ ДОСЛІДЖЕННЯ	10
1.1 Загальні відомості про системи транспортування стічних вод	10
1.2 Загальні відомості та класифікація каналізаційних насосних станцій	14
2 РОЗРАХУНОК НАСОСНОЇ СТАНЦІЇ ВОДОВІДВЕДЕННЯ.....	28
2.1 Розрахунок потужності двигунів.....	28
2.2 Техніко-економічне обґрунтування вибору системи електропривода насосів.....	32
2.3 Вибір та перевірка приводних електродвигунів.....	44
2.4 Розрахунок силової частини електропривода та вибір її елементів.....	51
2.4.1 Розробка структурної схеми електропривода	51
2.4.2 Розрахунок і вибір автоматичного вимикача	53
2.4.3 Розрахунок і вибір транзисторів.....	55
2.5 Розрахунок параметрів об’єкта керування	57
2.6 Розробка та розрахунок системи керування електроприводами	60
2.6.1 Розробка функціональної схеми насосної станції	60
2.6.2 Розрахунок і вибір сенсора.....	63
2.6.3 Розрахунок регуляторів системи керування електроприводом.....	64
3 ОПТИМІЗАЦІЯ ПРОЦЕСУ ТРАНСПОРТУВАННЯ СТИЧНИХ ВОД ВЕЛИКИХ МІСТ ЗАСОБАМИ ЕЛЕКТРОПРИВОДА	66
4 АЛГОРИТМ РОБОТИ СИСТЕМИ ВОДОВІДВЕДЕННЯ ВЕЛИКОГО МІСТА.....	82

5	КОМП'ЮТЕРНЕ	МОДЕЛЮВАННЯ	РОБОТИ	
	КАНАЛІЗАЦІЙНОЇ НАСОСНОЇ СТАНЦІЇ.....			85
5.1	Моделювання розімкнутої системи електропривода.....			85
5.2	Моделювання роботи замкненої системи електропривода			90
5.3	Моделювання роботи СТСВ			93
5.4	Дослідження електропривода на стійність керування			96
5.5	Комп'ютерне моделювання роботи системи керування каналізаційної насосної станції.....			99
6	ЕКОНОМІЧНА ЧАСТИНА.....			103
6.1	Визначення капітальних вкладень			104
6.2	Розрахунок основного фонду заробітної плати.....			105
6.2.1	Визначення чисельності персоналу			105
6.2.2	Розрахунок заробітної плати			105
6.3	Розрахунок експлуатаційних затрат.....			108
6.4	Розрахунок економічної ефективності.....			113
7	ОХОРОНА ПРАЦІ ТА БЕЗПЕКА В НАДЗВИЧАЙНИХ СИТУАЦІЯХ			114
7.1	Технічні рішення щодо безпечної експлуатації об'єкта			115
7.1.1	Заходи по забезпеченню електробезпеки.....			115
7.1.2	Технічні рішення щодо безпечної організації робочого місця.....			119
7.2	Технічні рішення з гігієни праці та виробничої санітарії			124
7.2.1	Мікроклімат			124
7.2.2	Склад повітря робочої зони.....			124
7.2.3	Виробниче освітлення			126
7.2.4	Виробничий шум			127
7.2.5	Виробничі вібрації			129
7.2.6	Виробничі випромінювання			130
7.2.7	Психофізіологічні фактори.....			130

7.3 Дослідження стійкості роботи системи керування каналізаційною насосною станцією в умовах дії загрозливих чинників надзвичайних ситуацій.....	133
7.3.1 Дослідження стійкості роботи системи керування каналізаційною насосною станцією в умовах дії іонізуючих випромінювань	133
7.3.2 Дослідження стійкості роботи системи керування каналізаційною насосною станцією в умовах електромагнітного імпульсу .	135
7.4 Розробка превентивних заходів для підвищення стійкості роботи системи керування каналізаційною станцією.....	138
ВИСНОВКИ.....	141
ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ.....	143
Додаток А. Технічне завдання	146
Додаток Б. Розрахунок регулятора струму	150
Додаток В. Ілюстративні матеріали.....	151

ВСТУП

Актуальність. Екологічна та санітарно-гігієнічна обстановка великих міст багато в чому визначається надійною роботою систем водовідведення. Збільшення водоспоживання як у промисловій, так і побутовій сферах, призводить до того, що системи водовідведення багатьох міст працюють в напружених навантажувальних режимах, близьких до граничних за пропускну здатністю. Можливості оперативного управління такими системами, засновані на евристичних уявленнях і досвіді обслуговуючого персоналу, в багатьох випадках виявляються практично вичерпаними [1].

Напірно-самопливні системи водовідведення населених пунктів, як правило, є великими споживачами електроенергії, що витрачається каналізаційними насосними станціями під час транспортування стічних вод. Загроза енергетичної кризи в країні висуває в даний час розробку і впровадження енергозберігаючих технологій, в тому числі – в системі комунального господарства. Це стає одним з найбільш актуальних і пріоритетних завдань.

Система водовідведення великого міста динамічна, вона постійно розвивається. У міру зростання міської території, будівництва нових і реконструкції старих районів виникає потреба в прокладанні додаткових каналів, будівництва насосних станцій і т.д. Це призводить до структурних змін системи водовідведення. Рішення про необхідність яких приймаються експертами з будівництва та експлуатації. Математичне моделювання мережі дозволяє попередньо проаналізувати ці рішення, обґрунтовано порівняти можливі варіанти і вибрати найкращий (управління на стадії проектування).

Оптимальне оперативне управління системами водовідведення великих міст, потребує застосування математичного моделювання і ЕОМ. Це дозволяє максимально використовувати реальну пропускну здатність систем, підвищити експлуатаційну надійність і поліпшити показники якості їх

функціонування (зниження питомих енерговитрат на транспортування стічних вод), а також істотно полегшити і раціоналізувати роботу обслуговуючого персоналу.

Метою роботи є підвищення енергоефективності роботи системи транспортування стічних води за рахунок розробки науково-методичних основ оптимального оперативного управління напірно-самопливними системами водовідведення великих міст як в нормальних, так і в аварійних режимах експлуатації, що досягається злагодженим керуванням електроприводами насосних станцій.

Мета досягається шляхом вирішення наступних **завдань**:

1. Аналіз літературних джерел по темі роботи.
2. Розробка системи автоматизованої роботи електроприводів насосної станції.
3. Вибір критерію і розробка алгоритму оптимального оперативного управління системою водовідведення в нормальних експлуатаційних режимах на базі аналізу експлуатаційних економічних показників.
4. Розробка математичної моделі роботи системи транспортування стічних вод.
5. Моделювання роботи системи транспортування стічних вод відповідно до розроблено критерію.
6. Моделювання роботи насосної станції як одного з виконавчих елементів системи транспортування стічних вод.

Методи дослідження. У роботі використані методи теорії ймовірностей, математичної статистики (статистична лінеаризація, обробка результатів експерименту, перевірка статистичних гіпотез), дослідження операцій (математичне програмування, теорія графів), теорія автоматичного управління, теорії звичайних диференціальних рівнянь, теорії планування експерименту, моделювання на ЕОМ.

Наукова новизна магістерської роботи полягає у наступному:

1. Отримав подальший розвиток підхід до оперативного управління міською системою водовідведення шляхом цілеспрямованого перерозподілу потоків стічних вод по транспортних магістралях мережі за рахунок узгодження роботи насосних станцій між собою. На відміну від відомих підходів пропонується як цільову функцію оптимізації обрати енергозатрати всіх насосних станцій і ввести «коефіцієнт збитковості» кожного з маршрутів транспортування, що дозволить виконати більш точніший підбір оптимальних маршрутів транспортування води і зменшити споживання електроенергії.

2. Отримала подальший розвиток математична модель системи транспортування стічних вод, що на відміну від відомих дозволяє описати залежність енергетичних затрат цілої системи від продуктивностей кожної насосної станції з врахуванням коефіцієнта ефективності роботи всіх насосних станцій та «коефіцієнта збитковості» маршрутів транспортування.

Практичне значення одержаних результатів:

1. Розроблено алгоритм оптимального функціонування системи водовідведення великого міста в нормальних умовах експлуатації, при якому забезпечується мінімальне споживання електроенергії насосними станціями.

2. Розроблено алгоритм роботи системи керування каналізаційної насосної станції, що складається з двох насосних агрегатів і сенсорів рівня водоприймального резервуару.

3. Розроблено програмне забезпечення для роботи системи керування каналізаційної насосної станції, що складається з двох насосних агрегатів і сенсорів рівня водоприймального резервуару, на базі обладнання Siemens.

Достовірність теоретичних положень магістерської кваліфікаційної роботи підтверджується строгістю постановки задач, коректним застосуванням математичних методів під час доведення наукових положень, строгим виведенням аналітичних співвідношень, порівнянням результатів, отриманих за допомогою розроблених у роботі методів, з відомими, та

збіжністю результатів математичного моделювання з результатами, що отримані під час впровадження розроблених програмних і апаратних засобів.

Особистий внесок здобувача. Автором самостійно розроблено та доповнено математичну модель об'єкта дослідження та алгоритм роботи системи керування.

Апробація результатів роботи. Основні результати роботи апробовані на всеукраїнській науково-технічній конференції «IV всеукраїнська науково-практична конференція "Енергоефективність: наука, технології, застосування"». 27 листопада 2019 р. м. Київ: НПУ імені М. П. Драгоманова з доповіддю «Оптимізація процесу транспортування стічних вод засобами електропривода в системах водовідведення великих міст»

Публікації. За тематикою роботи опубліковано тези доповідей на двох науково-технічних конференціях, а саме:

1. Мошноріз М. М. Оптимізація процесу транспортування стічних вод засобами електропривода в системх водовідведення великих міст: тези доповідей [текст] / М. М. Мошноріз, М. С. Гуцько // Матеріали IV всеукраїнської науково-практичної конференції "Енергоефективність: наука, технології, застосування". Частина I. Київ, 27 листопада 2019 р. - Київ: НПУ імені М. П. Драгоманова, 2019. - С. 45- 50.

2. Мошноріз М. М. Оптимізація процесу транспортування стічних вод засобами електропривода в системах водовідведення великих міст [електронний ресурс] / М. М. Мошноріз, М. С. Гуцько // Матеріали регіональної науково-практичної Інтернет-конференції студентів, аспірантів та молодих науковців "Молодь в науці: дослідження, проблеми, перспективи (МН-2020). Електроенергетика та електромеханіка», Вінниця, ВНТУ, 01.05.2020 – 05.05.2020. Режим доступу: <https://conferences.vntu.edu.ua/index.php/mn/mn2020/paper/view/8449>.

1 ОГЛЯД ІНФОРМАЦІЙНИХ ДЖЕРЕЛ ПРО ОБ'ЄКТ ДОСЛІДЖЕННЯ

1.1 Загальні відомості про системи транспортування стічних вод

Предметом розгляду магістерської роботи є розгалужена система транспортування стічних вод (СТСВ) - мережа конструктивно і технологічно взаємопов'язаних підземних каналів і колекторів та каналізаційних насосних станцій (КНС). Призначена вона для збору і відведення стічних вод до пристроїв очищення, що мають гідравлічні зв'язки між окремими басейнами каналізування [1].

За принципом побудови система водовідведення великого міста є ієрархічною структурою. Володіючи всіма характерними класифікаційними ознаками, СТСВ може бути віднесена до так званих великих (або "складних") систем, особливістю яких є наявність яскраво вираженої системної мети. Системна мета функціонування СТСВ полягає в транспортуванні стічних вод від місць їх утворення до очисних споруд. Ця мета досягається шляхом реалізації різних стратегій управління, наприклад, за рахунок різної завантаження споруд мережі. Кожна стратегія характеризується величиною показника якості функціонування, чисельне значення якого відображає уявлення про "добру" і "погану" роботу мережі в заздалегідь обумовленому режимі роботи.

В процесі експлуатації системи водовідведення нею необхідно керувати. Тобто в залежності від обсягів стічних вод, що надходять в мережу, треба приймати рішення щодо цілеспрямованого перерозподілу їх потоків по транспортних магістралях і реалізовувати. Це можна реалізувати шляхом перемикання запірно-регулюючих пристроїв та управляючи насосними агрегатами системи. При цьому неприпустимі навантаження понад пропускну

здатність якоїсь споруди, оскільки це пов'язано з виливанням води на поверхню, що може призвести до значних екологічних і матеріальних збитків.

В умовах складної, територіально розосередженої системи водовідведення великого міста і обсягів прийнятих стічних вол, що постійно змінюються, завдання оперативного управління мережею є досить непротим. Процес управління особливо ускладнюються, якщо на мережі виникає аварійна ситуація, при якій будь-яка споруда частково або повністю виходить з ладу. У цьому випадку за мінімальний час необхідно визначити і здійснити такий перерозподіл потоків стічних вод, який би дозволив розвантажити аварійну споруду. Може виникнути ситуація, коли аварія призводить до того, що пропускної здатності мережі в цілому стає недостатньо для транспортування обсягів стічних вод, що надходять в мережу. В цих умовах відбуваються вимушені скиди з мережі неочищеної стічної води через аварійні пристрої випуску води. Необхідно, щоб такі скиди були строго контрольовані, а обсяг води, що скидається по можливості мінімальним. Ефективне вирішення завдань з оперативного управління системою водовідведення може бити реалізоване лише на основі алгоритмів, що базуються на математичних методах управління з широким використанням обчислювальної техніки.

В даний час мережі великих міст розбиті на експлуатаційні ділянки. Незважаючи на те, що адміністративно ділянки підпорядковані єдиному центру і їх системні цілі такі ж, як і для всієї мережі (транспортування стічної води через ділянку), найкращі способи досягнення цих цілей визначаються експлуатаційним персоналом кожної ділянки по своєму. В результаті можливі ситуації, коли сума найкращих показників функціонування ділянок не оптимізує показник мережі в цілому, тобто приватні критерії якості в певному сенсі входять в протиріччя з системним.

У магістерській роботі робиться висновок про те, що управління системою водовідведення слід проводити відповідно до концепції системного

підходу, при якому такі протиріччя виключаються самою постановкою завдання.

За економічно обґрунтований показник ефективності функціонування СТСВ прийняті сумарні витрати електроенергії всіма КНС мережі, а управління об'єктом (перерозподіл потоків стічних вод) пропонується проводити таким чином, щоб ці витрати були мінімальні (оптимальне управління). Це означає, що такий спосіб управління мережею призведе до зниження експлуатаційних витрат на водовідведення.

Працездатність алгоритму управління значною мірою залежить від простоти і точності математичної моделі об'єкта, що використовується для розрахунку оптимальних потоків стічних вод. Ступінь складності математичного опису та алгоритм управління визначають вимоги до інформаційного забезпечення, перелік, обсяги, періодичність оновлення оперативної і нормативно-довідкової інформації. Це, в свою чергу, обумовлює структуру, склад, вартість комплексу технічних засобів, що реалізують алгоритм управління. Тому математичний опис має відображати тільки істотні залежності і характеристики СТСВ, повинен бути гранично простим, але забезпечувати достатню точність розрахунків. Зайва деталізація моделі вимагає контролю змінних і керуючих дій на органи управління, що не роблять істотного впливу на процес водовідведення.

Характерною особливістю СТСВ є мінливість, мінливість деяких параметрів і характеристик споруд. Ці зміни породжуються великим числом причин; врахувати їх в рамках детермінованої моделі практично неможливо. Ця обставина багато в чому визначило методологію дослідження СТСВ як об'єкта управління, яку іноді називають «принципом практичної достатності». При складанні та аналізі математичних моделей як окремих елементів, так і системи і в цілому, дослідження часто обмежується рівнем, на якому отримані результати можуть бути безпосередньо використані.

Принцип практичної достатності зумовив широке застосування методів математичної статистики при складанні моделей споруд і системи в цілому. При цьому використовуються дані, одержані в нормальних експлуатаційних умовах. Адекватність моделей підтверджується методами перевірки статистичних гіпотез і результатами проведених експериментів.

Таким чином, розгляд структури розгалуженої напірно-самопливної системи водовідведення великого міста і критичний аналіз традиційно сформованих способів управління нею, дозволяють зробити наступні висновки:

- за територіальною розосередженістю, кількістю складових елементів, їх взаємодією між собою, а також з навколишнім середовищем, ієрархічністю структури, СТСВ відноситься до класу об'єктів, які в даний час прийнято визначати як "великі" або "складні" системи. Об'єкт характеризується яскраво вираженою системною метою (транспортування стічних вод до очисних споруд міста), ефективне досягнення якої можливо лише при управлінні мережею по алгоритмам, розробленим на основі математичного моделювання та застосування обчислювальної техніки;

- аналіз експлуатаційних витрат на транспортування стічних вод показує обґрунтованість та економічну ефективність управління СТСВ за критерієм мінімуму сумарних витрат електроенергії всіма насосними станціями мережі. Таке управління фізично і технологічно можна здійснити шляхом цілеспрямованого перерозподілу потоків стічних вод по транспортним магістралям розгалуженої мережі. Що має гідравлічні зв'язки між окремими басейнами каналізування, і має різні витрати електроенергії при транспортуванні води до очисних споруд різними маршрутами;

- математичне моделювання об'єкта, необхідне для розробки алгоритму управління СТСВ, базується на застосуванні фізичних законів і співвідношень. Воно ускладнене з одного боку складністю процесів, що відбуваються в окремих структурних елементах мережі, а з іншого -

складністю проведення спеціальних "активних" експериментів для визначення їх параметрів і характеристик. Вимушено впливає звідси основний методологічний прийом моделювання, який полягає в максимальному використанні статистичних експлуатаційних даних, отриманих в умовах реального функціонування об'єкта, висунення гіпотез щодо виду моделей з подальшою перевіркою їх адекватності методами математичної статистики.

Система водовідведення великого міста динамічна, вона постійно розвивається. У міру зростання міської території, будівництва нових і реконструкції старих районів виникає потреба в прокладанні додаткових каналів, будівництва насосних станцій і т.п. Це призводить до структурних змін системи водовідведення. Рішення про необхідність яких приймаються експертами з будівництва та експлуатації. Математичне моделювання мережі дозволяє попередньо проаналізувати ці рішення, обґрунтовано порівняти можливі варіанти і вибрати найкращий (управління па стадії проектування).

1.2 Загальні відомості та класифікація каналізаційних насосних станцій

КНС – каналізаційна насосна станція або комплексна гідротехнічна конструкція зі спеціальним обладнанням для підйому та перекачування ґрунтових, виробничих, побутових, та зливових вод. КНС використовуються, коли вільне транспортування рідини самопливом неможливе [2 – 8].

Сьогодні класичні КНС широко розповсюджені по всьому світу для облаштування водовідводу від різноманітних споруд та будівель. Найтипівіший – конструкція вертикального розташування. Вона легко піднімає рідину із точки, яка знаходиться нижче геодезичної відмітки колектора, а також дозволяє перекачувати її на великі відстані.

Конструктивно каналізаційна насосна станція представляє собою циліндричний, зазвичай поліетиленовий бак (рис. 1.1), у якому змонтовані трубопроводи, підключені насоси, патрубки та запірно-регулювальна арматура. У якості фільтру використовується корзина, яка затримує сміття. Конструкція з'єднується з зовнішньою комунальною мережею, системами контролю рівня рідини, очисними спорудами тощо [2].

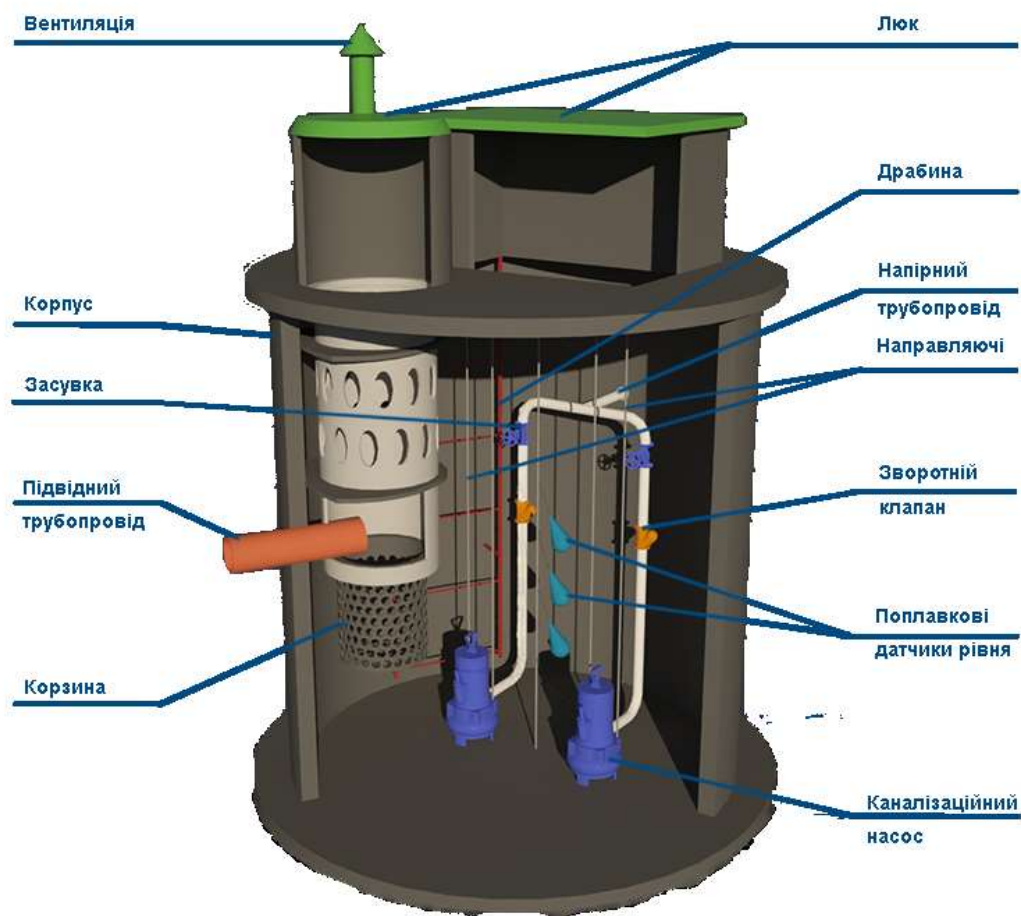


Рисунок 1.1 – Зовнішній вигляд каналізаційної насосної станції вертикального типу

По суті, КНС є герметичною зливний ямою, обладнаною одним або декількома спеціальними насосами, завдяки яким відбувається

транспортування стічних вод в пункт їх призначення. Можна виділити такі основні елементи КНС [3]:

1. Накопичувальний резервуар – це ємність для збору відходів людської життєдіяльності. Цей накопичувальний резервуар може бути виготовлений як з пластика, так і з бетону і навіть металу.

2. Фекальний насос. Як правило, КНС передбачає установку двох таких агрегатів – один робочий, другий резервний. Ці насоси практично не створюють тиску. Вони призначені для підйому стічних вод на певний рівень. Далі фекалії йдуть самопливом, як і в звичайній каналізаційній системі.

3. Система трубопроводів. Вона об'єднує обидва насоса в єдину систему і відправляє стічні води до очисних споруд або в центральну каналізацію. Як правило, система трубопроводів обладнується спеціальними засувками, що дозволяють управляти роботою насосів.

4. Поплавкові вимикачі. Використовуються, як правило, кілька штук (три, або чотири). Вони призначені для увімкнення і вимкнення насосів в автоматичному режимі. Принцип роботи їх такий – коли рівень стічних вод у каналізаційній насосній станції підвищується до певного рівня, поплавок піднімається вгору, натяг троса слабшає, в результаті чого спрацьовує вимикач, і насос включається. Розпочинається перекачування рідини, що скупчилася в резервуарі. Коли рівень падає до заданої відмітки, трос знову натягується і вимикач відключає насос. Три або чотири поплавка потрібні для повного контролю роботи КНС. У випадку виходу з ладу першого поплавка, спрацьовує другий. У випадку невключення самого насоса, третій і четвертий поплавки включають резервний агрегат.

Крім перелічених елементів практично всі побутові каналізаційні насосні станції обладнуються сходами для її обслуговування, спеціальною кришкою з оглядовими і ревізійними отворами та електричною щитовою, яка призначена для контролю над подачею електричної енергії до обладнання КНС.

Для КНС використовуються, як правило, заглибні насосні агрегати. Вони монтуються або на вертикальних направляючих, або просто кріпляться на ланцюгах. Це дозволяє виконувати швидко і просто заміну насосів у разі їх поломки. Якщо мова йде про заміну одного насоса, то в процесі проведення цих робіт комплектна каналізаційна насосна станція продовжує працювати, і її не зупиняють [3].

Дуже важливим моментом є вентиляція каналізаційної насосної станції. Вона встановлюється на кришці має вигляд двох патрубків, що встановлюються в кришці, один з яких відповідає за приплив свіжого повітря в КНС, а інший за видалення забрудненого.

Як правило, в серйозних станціях видаляючий патрубок обладнується системою фільтрації. Крім того, на кришці КНС встановлюється додатковий патрубок, опущений практично на дно накопичувального резервуара. З його допомогою здійснюється аварійне видалення стічних вод з накопичувальної ємності [3].

Для обслуговування станція оснащена герметичним люком, що запобігає просоченню неприємних запахів, та шафою автоматичного управління із необхідним програмним забезпеченням для контролю та налаштування роботи станції. Додатково можуть встановлюватися сходи та майданчик всередині ємності КНС для обслуговування станції [2].

Насосні станції можуть мати додаткову горизонтальну порожнину для поширення осаду на більшій площі, що дозволяє рідше проводити очистку від мулу. Приклад КНС горизонтального типу зображено на рис. 1.2 [8].



Рисунок 1.2 – Зовнішній вигляд каналізаційної насосної станції горизонтального типу

КНС використовується переважно при таких випадках [8]:

- 1) геодезичний рівень ємностей і трубопроводів, з яких відводяться стоки, розташований нижче каналізаційного колектора або вигрібної ями;
- 2) коли відсутня фізична можливість організувати прямолінійні самопливні відведення стоків;
- 3) коли нахил каналізаційної труби занадто малий, що загрожує регулярним її засміченням;
- 4) далеке розташування вигрібної ями або центрального колектора від джерела стічних вод.

Обладнуються КНС котеджні селища, заміські будинки, а також промислові об'єкти, розташовані далеко за містом і віддалені від централізованої каналізаційної мережі.

Принцип роботи сучасної КНС наступний:

- 1) стічні води примусово або вільно надходять до станції;

2) при заданому рівні наповнення спрацьовують датчики та поплавки, що запускають занурювальні насоси;

3) насоси подрібнюють тверді залишки і виштовхують стічний потік по трубопроводу [2].

Каналізаційні насосні станції побутового використання зазвичай повністю автономні. Вони можуть використовуватися у будь-яких кліматичних умовах.

Переваги використання каналізаційних насосних установок [2]:

1. Екологічність. Використання станції дозволяє максимально швидко та з мінімальною шкодою транспортувати стічні, відпрацьовані чи забруднені води.

2. Компактність. Сучасні моделі – відносно невеликі, не потребують значної площі для монтажу, не передбачають окремо-стоячих вентиляційних камер чи залізобетонних резервуарів.

3. Економія. Автономні насосні станції включаються автоматично лише при наповненні до заданого рівня, отримуючи сигнал від датчика. Тож витрати її роботу на експлуатацію – мінімальні.

4. Простота використання. КНС не потребують складного обслуговування. Вони максимально автоматизовані і у разі виникнення несправності сигнал одразу надходить до диспетчера.

5. Нові КНС відрізняються мінімальним рівнем шуму та вібрацій при значно вищій ефективності.

6. Ще одна перевага сучасних каналізаційних насосних станцій – ціна, що повністю окупується протягом експлуатації системи.

Пешре за чим можна класифікувати КНС це розміри цистерни, у яку збираються відходи. Розміри побутових каналізаційних насосних станцій можуть бути самими різними. Вони можуть розміщуватися безпосередньо за унітазом і відразу з нього перекачувати стоки в необхідному напрямку, а

можуть мати вигляд вкопаних в землю горизонтальних цистерн об'ємом в десятки кубометрів [8].

Але не тільки розмірами відрізняються КНС. Нижче наведені класифікації насосних станцій для каналізації за різними параметрами [8].

За типом установки КНС бувають вертикальними, горизонтальними та зі самовсмоктуючими насосами.

Останній тип КНС передбачає примусове закачування стічних вод в корпус станції, і їх видалення з нього після очищення.

За типом розташування відносно землі КНС бувають заглиблені, наземні та частково заглибленими.

У частково заглиблених КНС резервуар КНС з датчиками, насосами і запірною арматурою може перебувати в землі, а система автоматичного управління – на поверхні.

За схемою управління обладнанням КНС бувають з ручним керуванням, автоматичним керуванням та дистанційним керуванням [8].

Увімкнення і вимкнення модулів обладнання КНС з ручним керуванням відбувається в міру необхідності обслуговуючим персоналом, який самостійно перевіряє наповненість каналізаційного резервуара. КНС з ручним керуванням є найдешевшими, але вимагають особистої участі людини. Вони використовуються в основному в замських дачних будиночках і котеджах з невеликою кількістю витрати води.

У дистанційних КНС використовується система моніторингу стану резервуара, дані якого виводяться на віддалений керуючий пульт. Увімкнення та вимкнення станції відбувається обслуговуючим персоналом, який керується інформацією про стан наповнення резервуарів, що передається дистанційно. Тобто, на відміну від ручного керування дистанційне передбачає керування роботою станції на відстані.

У автоматичних КНС управління проводиться автоматично за допомогою датчиків і реле, розташованих безпосередньо в корпусі насосної станції або поруч з нею.

За характером каналізаційних стоків КНС класифікуються на такі:

1. Для господарсько-побутових стоків.
2. Для промислових цілей. Виготовляються з матеріалів з підвищеною стійкістю до хімічно агресивних середовищ і термічного впливу.
3. Для зливових мереж. Обладнуються додатковими системами очищення.
4. Для осадових стічних вод. Використовуються найчастіше в промислових очисних спорудах. Оснащуються додатковими пристроями для обробки осадових відкладень.

Як правило, для управління механізмами КНС достатньо двох режимів управління: місцевого (у межах прямої видимості механізму); автоматичного [7].

Дистанційний режим рекомендується застосовувати тільки за неможливості або недоцільності встановлення електроустаткування в прямій видимості механізму з місця управління. При дистанційному керуванні слід передбачати попереджувальний і/або світловий сигнал і вимикач безпеки, що встановлюється в безпосередній близькості від механізму (для запобігання раптового запуску цього механізму) [7].

Вибір режиму управління повинен здійснюватися з шафи управління механізму [7].

Механізми з електродвигуном потужністю до 15 кВт слід включати прямим пуском, якщо за технологією не потрібне регулювання числа обертів цього механізму, а режим його роботи тривалий. Механізми потужністю більше ніж 15 кВт, як правило, повинні розганятися пристроями плавного пуску, якщо число пусків за годину не перевищує дозволеного числа пусків за годину для вибраного пристрою плавного пуску [7].

Параметр, за яким працюватиме електропривод механізму, повинен призначатися сумісно з технологіями і забезпечувати найбільшу енергоефективність роботи механізму. Слід забезпечувати експлуатаційні вимоги виробника до насосного обладнання [7].

При виборі варіанту регулювання головних насосних агрегатів слід розглядати можливість скорочення числа резервних і робочих агрегатів (зі збільшенням одиничної потужності регульованих агрегатів) і відповідно підвищення енергоефективності станції за рахунок скорочення будівельного об'єму, що обігрівається, вентиляваного і освітлюваного об'єму будівлі, а також вищого коефіцієнта корисної дії агрегатів. Після визначення числа основних насосних агрегатів рекомендується прийняти один із можливих варіантів регулювання [7]:

- один із насосних агрегатів працює з перетворювачем частоти, інші працюють безпосередньо від мережі або через пристрій плавного пуску;

- кожний насосний агрегат у міру наростання потоку по черзі розганяється за допомогою пристрою плавного пуску і при виході на мережну частоту перемикається на мережу;

- кожний насосний агрегат працює через свій перетворювач частоти.

При виборі варіанту слід враховувати: енергоефективність, надійність, капіталовкладення і експлуатаційні витрати.

Кожний об'єкт системи каналізації повинен бути обладнаний щитом сигналізації, на якому слід відображати [7]:

- оперативну інформацію про кожний механізм технологічного процесу (наприклад, "включений", "вимкнений", "відкрито", "закрито" тощо);

- аварійну інформацію ("аварійний рівень", "тиск нижче допустимого", "немає напруги на введенні 1" тощо).

Робочі і резервні агрегати слід приєднувати до різних джерел електроенергії [7].

Електроустаткування всіх механізмів повинно мати інтерфейсний вихід (вихід) для зв'язку з АСУ ТП [7].

При проектуванні систем АСУ ТП і диспетчеризації слід враховувати вимоги Правил технічної експлуатації систем водопостачання та каналізації населених пунктів України [7].

АСУ ТП і диспетчеризація об'єктів каналізації – це трирівнева система реального часу (ДБН В.2.5-75:2013 141). Задачі кожного рівня АСУ ТП і диспетчеризації наступні:

– нижній рівень об'єднує в собі системи локальної автоматики окремих одиниць устаткування або їх поєднання (шафи, щити, пульти, блоки управління), а також системи контролю технологічних і або електричних параметрів (датчики і контрольно-вимірювальні прилади). Нижній рівень АСУ ТП здійснює стовідсоткову автоматизацію за технологічним параметром (тиск, витрата, рівень тощо);

– середній рівень (місцевий диспетчерський пункт) – приладовий контроль за якістю стоку на ділянках технологічного процесу, оперативна і аварійна сигналізація з усіх ділянок. При насосних і повітродувних агрегатах великої потужності - можливість управління цими агрегатами. З місцевого диспетчерського пункту може здійснюватися локалізація аварії шляхом припинення подачі стічних вод або управління аварійним скиданням, а також ретрансляція інформації на верхній рівень;

– верхній рівень (диспетчерський пункт) – приймання, оброблення і представлення аварійної і оперативної інформації по всіх спорудах системи каналізації з можливістю оперативного втручання при виникненні аварійної ситуації і неможливості її локалізації засобами місцевого диспетчерського пункту. Диспетчерське управління повинно передбачатися, як правило, одноступінчасте з одним диспетчерським пунктом. Для найскладніших систем з великими відстанями між об'єктами можна проектувати двоступінчасте управління з центральним і місцевим диспетчерськими

пунктами. З контрольованих споруд на диспетчерський пункт повинні передаватися тільки ті сигнали вимірювання, без яких не можуть бути забезпечені оперативне управління і контроль роботи споруд, швидка ліквідація і локалізація аварії.

АСУ ТП в свою чергу ділиться на чотири рівні [7]:

- рівень технологічного процесу (польовий рівень);
- рівень контролю і управління технологічним процесом (контролерний рівень);
- рівень магістральної мережі (мережний рівень);
- рівень людино-машинного інтерфейсу.

Автоматизована каналізаційна насосна станція (насоси в сухому машинному залі) наведена на рис. 1.3 [6].

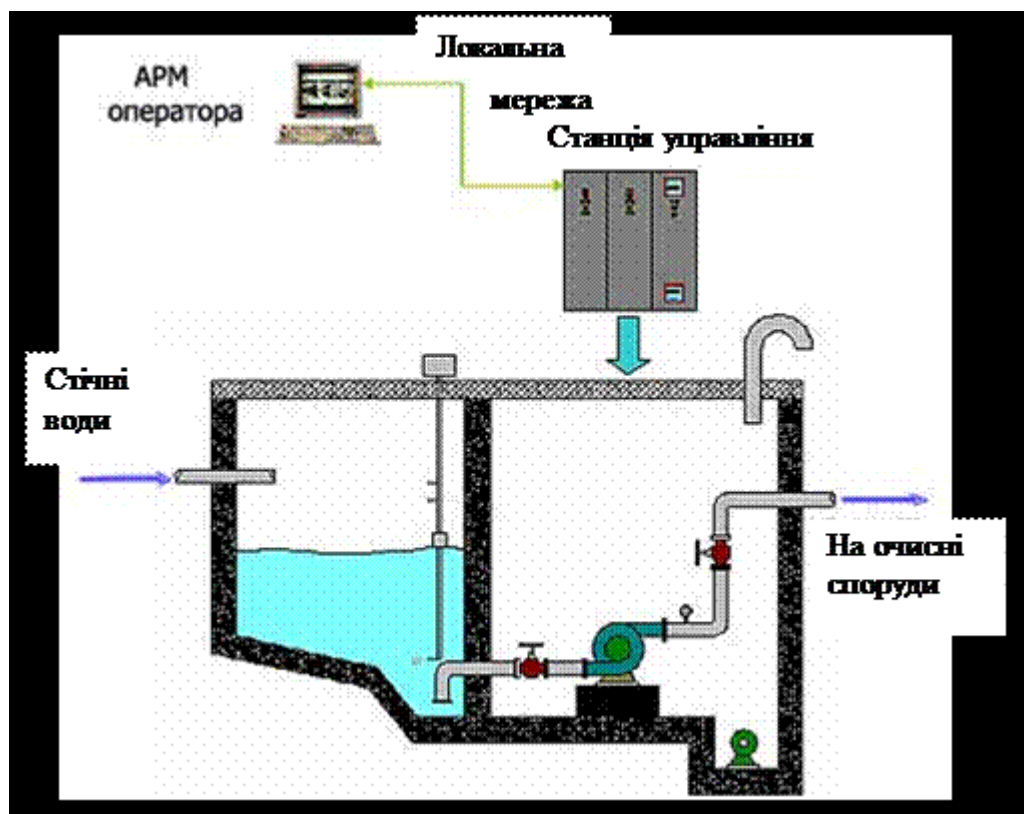


Рисунок 1.3 – Функціональна схема автоматизованої насосної станції водовідведення з насосами «сухого» типу

Основні функції системи керування станції управління такі [6]:

1. Не допустити переповнення приймального резервуару вище заданого рівня (підтримка заданого значення рівня стоків в приймальному колодязі).
2. Контроль над роботою насосів і перемикання на резервний насос при аварії робочого.
3. Підключення додаткових насосів коли потужності станції недостатньо для відкачування стоків.
4. Контроль над рівнем води в дренажному приямку.
5. Контроль над роботою дренажних насосів.
6. Контроль над роботою перетворювача частоти (ПЧ).

Економічний ефект від впровадження станцій управління, оснащених перетворювачами частоти, пристроями плавного пуску, а також об'єднання станцій управління в єдину систему АСУТП заснований на наступних чинниках [6]:

1. Пряма економія від зниження споживання електроенергії при регулюванні продуктивності насосних агрегатів (для різних об'єктів від 25 до 50%).
2. Пряма економія за рахунок зниження непродуктивних витоків води при оптимізації тиску в напірному трубопроводі (не менше 25 – 30 % від загального об'єму витоків).
3. Економія фонду заробітної плати скорочуваного чергового персоналу.
4. Різкого зниження аварійності на мережах (не менше, ніж в 5 ... 10 разів).
5. Збільшення не менше ніж в 3 рази ресурсу і міжремонтних термінів насосів, електродвигунів, комутаційного устаткування.

6. Різкого збільшення надійності системи в цілому, за рахунок усунення "людського чинника" і автоматичної діагностики системою всіх її елементів і своєчасного усунення можливих аварійних ситуацій.

Насосна станція надає можливості [6]:

- автоматичного чергування насосів, що працюють від ПЧ, через задані інтервали часу для забезпечення рівномірного завантаження насосів;
- дистанційного контролю і управління станцією з АРМ оператора;
- запуску і зупинки кожного насоса кнопками в ручному режимі з панелі управління прямим пуском;
- занесення в журнал подій всіх технологічних параметрів і аварійних ситуації з подальшою видачею звіту за поточний період; а також можливість занесення в журнал подій усіх дій оператора.

Схема надходження сигналів у такій насосній станції наведена на рис. 1.4 [6].

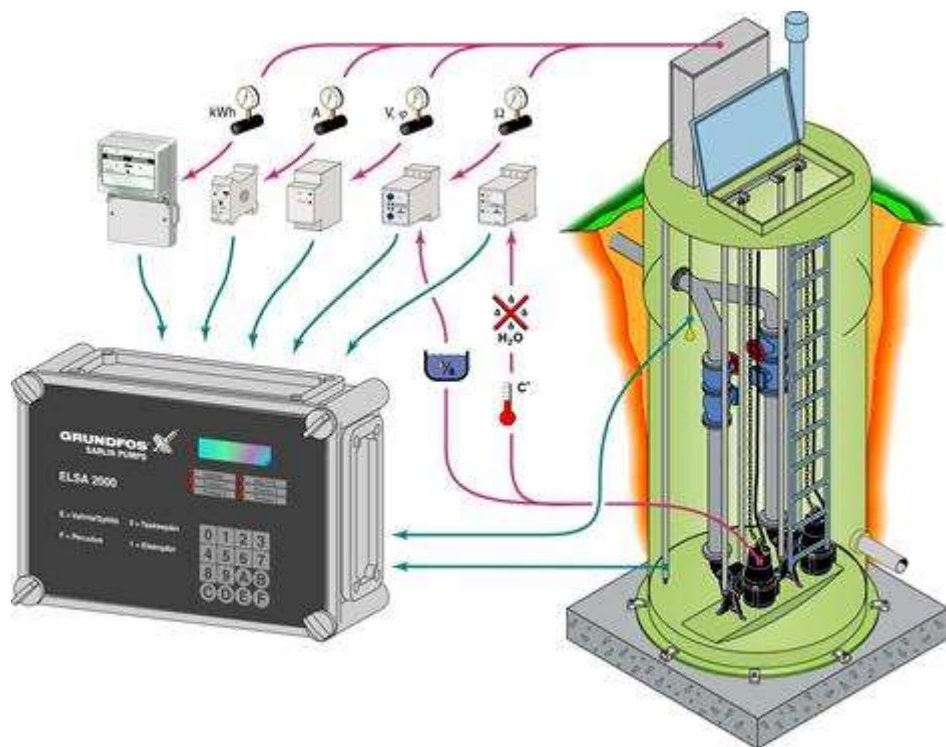


Рисунок 1.4 – Схема надходження сигналів у сучасній КНС

На рисунку зображено насосну станцію з зануреними двома насосами. Каналізаційна насосна станція оснащена різноманітними сенсорами. Сигнали від них надходять на перетворювачі сигналів, які їх перетворюють до форми, зручної для роботи блоку керування. Блок керування збирає інформацію з сенсорів, опрацьовує її і видає керуючі дії.

2 РОЗРАХУНОК НАСОСНОЇ СТАНЦІЇ ВОДОВІДВЕДЕННЯ

2.1 Розрахунок потужності двигунів

Розрахунок каналізаційної насосної станції включає в себе [8]:

- підбір насосів,
- точне визначення обсягу резервуарів-приймачів.

Типовий проект каналізаційної насосної станції вимагає досить складних і об'ємних розрахунків, які виконуються в наступному порядку [8]:

1. Визначення витрати води.

- Будується графік припливу стічних вод залежно від часу доби.
- По максимальному надходженню води на годину визначається розрахункова витрата стоків.

- Визначається мінімальний і середній приплив.

2. Визначення напору насосної станції.

3. Підбір по каталогах насосів, найбільш придатних за найвищим притоку і обчисленому напору.

4. Побудова графіка загальної роботи насоса і нагнітального трубопроводу і визначення по ньому спільної точки напір / витрата. Значення функціонального витрати не повинно бути нижче максимального розрахункового значення.

5. Проведення аналізу роботи насоса в екстремальних ситуаціях (при аваріях на нагнітальному трубопроводі).

6. Проведення розрахунку насосної станції при використанні двох груп насосів. Проектування в даному випадку враховує, що одна група насосів, що працює постійно, здійснює виведення побутових стічних вод. Друга - використовується періодично, в основному, для відведення зливових вод.

7. Визначення обсягу приймального резервуара. Для точної установки цієї величини будується інтегральний графік, враховує надходження і відведення стоків одним насосом під час, середнє між мінімальною і максимальною величиною припливу.

Повний напір насосів визначається за формулою [9]:

$$H = H_{\Gamma} + h_{wbc} + h_{wn} + h_{nc}, \quad (2.1)$$

де H_{Γ} – геометрична висота підйому стічної рідини, що перекачується, м (у розглянутому випадку $H_{\Gamma} = 44$ м);

h_{wbc} , h_{wn} – сумарні втрати напору у всмоктувальному і напірному трубопроводах, м ($h_{wbc} = 1$ м., $h_{wn} = 5$ м.);

h_{nc} – втрати напору у внутрішніх комунікаціях станції, м ($h_{nc} = 2$).

Необхідний розрахунковий напір насосів на станції буде рівним

$$H = 44 + 1 + 5 + 2 = 44 \text{ (м)}.$$

Вихідними даними для визначення необхідної потужності насоса й електродвигуна є подача Q , м³/с, і напір H , м.

Потужність на валу насоса визначається за формулою [9]:

$$N = \frac{\rho \cdot q \cdot Q_p \cdot H_p}{1000\eta}, \quad (2.2)$$

де ρ – густина переміщуваної рідини, кг/м³;

q – прискорення вільного падіння, м/с²;

Q_p – розрахункова подача насоса, м³/с;

H_p – розрахунковий напір, що створюється насосом, м;

η – ККД насоса на розрахунковому режимі ($\eta = 0,71$).

Потужність насоса буде дорівнювати

$$N = \frac{1000 \cdot 9,81 \cdot 0,208 \cdot 52}{100 \cdot 0,71} = 149,5 \text{ (кВт)}. \quad (2.3)$$

Потужність двигуна насоса $N_{дв}$, кВт, з врахуванням запасу на випадок перевантажень від неврахованих умов роботи, визначають за формулою [9]:

$$N_{дв} = \frac{kN}{\eta_{пер}}, \quad (2.4)$$

де $\eta_{пер}$ – ККД передачі (при з'єднанні двигуна і насоса за допомогою еластичної муфти $\eta_{пер} = 1,0$);

k – коефіцієнт запасу потужності на перевантаження електродвигуна, прийнятий залежно від потужності насоса (при потужності насоса $N = 50 - 300$ кВт приймається рівним $K = 1,3$).

Потужність двигуна насоса буде дорівнювати

$$N_{дв} = \frac{1,3 \cdot 149,5}{1,0} = 194,4 \text{ (кВт)}. \quad (2.5)$$

При виборі марки насоса важливо встановити основні технічні показники, головним з яких є об'єм рідини за одиницю часу (подача). Другим основним показником роботи насосів є тиск, що розвивається (напір).

За основними розрахунковими параметрами, а саме

– подачі $Q_{макс н} = 208,5$ л/с (750 м³/год),

– напору $H = 52$ м

за допомогою зведеного графіка полів $Q-N$ насосів для стічних рідин підбирають необхідну марку насоса: СМ 250-200-400/4 [9]. Зовнішній вигляд насосного агрегату зображено на рис. 2.1.



Рисунок 2.1 – Зовнішній вигляд фекального насоса СМ 250-200-400/4

Насоси СМ випускають за ТУ 26-06-1490-87, вони призначені для перекачування побутових, промислових стічних вод та інших забруднених рідин з водневим показником рН від 6 до 8,5, кінематичною в'язкістю не більше $1 \cdot 10^{-6} \text{ м}^2$, щільністю до 1050 кг/м^3 , температурою до $80 \text{ }^\circ\text{C}$, з вмістом абразивних часток за обсягом не більше 1%, розміром до 5 мм і мікротвердістю не більше 900 Ппа [9 – 12].

Характеристики насоса СМ 250-200-400/4 подано у табл. 2.1 [9 – 12].

Таблиця 2.1 – Технічна характеристика насоса СМ 250-200-400/4

Марка насоса	СМ 250-200-400/4
Подача Q	
Q , м3/год	750
Q , л/с	208,5
Повний напір Н , м	53,0
Число обертів , об/хв	1450
Потужність N , квт	
На валу насоса	138,28
Електродвигуна	159,02
ККД насосу, %	71
Допустима висота всмоктування Н _{вс} , м	7,5
Діаметр робочого колеса Д, мм	250

2.2 Техніко-економічне обґрунтування вибору системи електропривода насосів

Основні техніко-економічні показники роботи насосної станції [9]:

- η – ККД насосної станції;
- $N_{уд}$ – питома витрата електроенергії (технічна і фактична);
- $\eta_{исп.р.м}$ – коефіцієнт використання робочої потужності.

ККД насосної станції називають відношення корисної енергії, переданої насосами рідини, що перекачується, до енергії, споживаної електродвигунами [9].

За наявності на станції однотипних насосних агрегатів, що працюють в однаковому режимі в перебігу часу t , ККД насосної станції можна визначити за формулою:

$$\eta_{нс} = \eta \cdot \eta_{пр} \cdot \eta_{дв}, \quad (2.6)$$

де η – ККД насоса ($\eta = 0,71$);

$\eta_{\text{пр}}$ – ККД проміжної передачі ($\eta_{\text{пр}} = 1$);

$\eta_{\text{дв}}$ – ККД електродвигуна ($\eta_{\text{дв}} = 0,95$).

ККД насосної станції буде дорівнювати

$$\eta_{\text{нс}} = 0,71 \cdot 0,95 \cdot 1 = 0,67. \quad (2.7)$$

Теоретичну норму витрати електроенергії (витрата електроенергії, кВт·год) на подачу 1000 т рідини, що перекачується, на висоту 1 м при режимі роботи насоса й електродвигуна з максимальним ККД знаходять за формулою:

$$N_{\text{уд}} = \frac{2,72}{\eta_{\text{н}} \cdot \eta_{\text{дв}}}. \quad (2.8)$$

Приймаючи розрахункові значення $\eta_{\text{н}} = 0,71$, $\eta_{\text{дв}} = 0,95$, одержують

$$N_{\text{уд}} = \frac{2,75}{0,71 \cdot 0,95} = 4,06.$$

Фактична питома норма витрати електроенергії може відрізнятися від теоретичної. Фактична питома витрата електроенергії (відношення фактично витраченої кількості електроенергії до корисної роботи, виконаної насосом за той же час. Фактичну питому норму витрати електроенергії визначають в натурних умовах, перед здачею насосної станції в експлуатацію.

Після визначення фактичної норми витрати електроенергії розраховують фактичний (дійсний) ККД насоса:

$$\eta = \frac{2,72}{N_{\text{уд}} \cdot \eta_{\text{дв}}}, \quad (2.9)$$

$$\eta = \frac{2,72}{4,06 \cdot 0,95} = 0,71.$$

Як показують дослідження, ККД електродвигуна практично не змінюється з часом експлуатації, його значення приймають за паспортом. При значному зниженні дійсного ККД насоса в порівнянні з розрахунковим (теоретичним) необхідно зробити ревізію насосного агрегата й встановити причину зменшення його ККД.

Порівняння фактичної питомої витрати електроенергії з теоретичною дозволяє судити про економічний ефект роботи насосного агрегата.

Коефіцієнт використання робочої потужності являє собою відношення фактично витраченої енергії до тієї енергії, яку могли б витратити насосні агрегати при роботі протягом 24 години в оптимальному режимі (при подачі напорі, що відповідають максимальному ККД):

$$\eta_{\text{исп.р.м.}} = \frac{Q \cdot H \cdot \eta_{\text{исп.р.м.}} \cdot t}{Q_p \cdot H_p \cdot \eta_{\text{нс}} \cdot 24}, \quad (2.10)$$

де t – дійсний час роботи насосної станції, год.

Економічне обґрунтування вибору автоматики виконаємо за методом приведених затрат.

Для прикладу виконаємо розрахунок системи перетворювач частоти-асинхронні двигуни.

Капітальні затрати

$$K = D + C, \quad (2.11)$$

де D – вартість двигунів ($D = 166037 + 166037 =$ грн) [13, 14];

C – вартість системи керування.

Вартість системи керування включає вартість силового перетворювача та необхідної для його роботи електротехнічної апаратури (контактори, кнопки, перемикачі, провода, кабелі тощо).

Для приводу насосів часто застосовують систему перетворювач частоти – асинхронний двигун (ПЧ–АД), яка дозволяє досягти високої ефективності роботи насосної установки при мінімальних затратах електроенергії. Проте, перетворювач частоти має відносно високу вартість, особливо для потужних насосних агрегатів (потужністю більше 100 кВт). Тому для потужних насосів, до яких відносяться і насоси, що розглядається в роботі, вдаються до застосування пристроїв плавного пуску (ПЧ). Вони не дозволяють регулювати швидкість двигуна в стаціонарному режимі, але зменшують динамічні навантаження і пускові струми під час пуску агрегатів.

Для порівняння виберемо кілька ПЧ і ПЧ.

Пристрій плавного пуску Lovato electric ADX 250 кВт [15, 16] Використовується для плавного пуску і зупинки трифазних асинхронних двигунів з короткозамкненим ротором. Управління моментом і обмеженням максимального пускового струму. Можливе локальне і дистанційне керування роботою пускача з пульта управління. Параметри конфігурації зберігаються в пам'яті пульта і можуть бути перенесені на інший пускач. Дистанційне керування здійснюється через інтерфейс RS232 / 485, модем або GSM модем. Реалізована функція автоматичного дозвону в разі аварійної ситуації і відправлення SMS повідомлення на мобільний телефон і / або на E-mail.

Технічні характеристики пристрою плавного пуску Lovato electric ADX 250 кВт подано в табл. 2.2 [15, 16].

Таблиця 2.2 – Технічні характеристики пристрою плавного пуску
Lovato electric ADX 250 кВт

Назва параметру	Пристрій плавного пуску ADX 250кВт
Тип	51ADX0470
Опис	для роботи з зовнішнім By-Pass контактом
Ціна	160059 грн.
Потужність	250 кВт
Напруга живлення	208 ... 415В
Вихідний струм	470 А
Габаритні розміри, В x Ш x Г, мм	650 x 790 x 430
Ступінь захисту	IP 00
Каталог	lovato_soft_start.pdf (861 KB)
Температура навколишнього середовища	-10 ... + 45 ° C
Серія	51ADX

Технічні характеристики пристрою плавного Schneider Electric ATS22 подано в табл. 2.3 [17].

Представимо для прикладу розрахунок приведених затрат системи ПЧ-АД. При цьому врахуємо ту особливість, що в роботі постійно знаходиться лише один насосний агрегат, а інший вмикається лише у години максимального припливу стічних вод.

Таблиця 2.3 – Технічні характеристики пристрою плавного Schneider Electric ATS22

Технічний параметр	Значення
Номінальна напруга живлення [Us]	230 ... 440 V - 15 ... 10%
Потужність двигуна кВт	132 кВт 230 V 250 кВт 400 V 250 кВт 440 V
Вартість	87890 грн
Уставка струму за замовчуванням	437 А
Розсіювана потужність в Вт	218 Вт для стандартних застосувань
Категорія застосування	АС-53А
Додаткові функції	Пуск з контролем моменту (обмеження пускового струму до 3.5 In)
Номінальний струм пускача	480 А test value_підключення в коло живлення двигуна для стандартних застосувань
Ступінь захисту IP	IP00
Спосіб збирання	З тепловідним радіатором
Доступна функція	Вбудовані шунтуючі контактори
Межі напруги живлення	195...484 В
Частота мережі живлення	50 ... 60 Гц ± 10%
Допустиме відхилення частоти мережі	45...66 Гц
З'єднання пристрою	У коло живлення двигуна при з'єднанні трикутником обмотки статора
Напруга керуючого кола	230 В (-15 ... 10)% 50/60 Гц
Споживана потужність ланцюгів управління	20 Вт
Число дискретних виходів	2
Тип дискретного виходу	Релейні виходи R1 230 V Робота, помилка, несправність, зупинка, не зупинено, пуск, готовність С / О релейні виходи R2 230 V Робота, помилка, несправність, зупинка, не зупинено, пуск, готовність С / О
Мінімальний струм перемикачання	100 mA 12 V DC релейні виходи

Продовження табл. 2.3

Технічний параметр	Значення
Максимальний струм перемикачання	5 А 250 V AC активну 1 релейні виходи 5 А 30 V DC активну 1 релейні виходи 2 А 250 V AC індуктивне 0.4 20 мс релейні виходи 2 А 30 V DC індуктивне 7 мс релейні виходи
Число дискретних входів	3
Тип дискретного входу	Логічний LI1, LI2, LI3 5 мА 4.3 кОм
Напруга дискретного входу	24 V \leq 30 V
Тип логіки дискретного входу	Позитивна логіка LI1, LI2, LI3 $<5\text{ В і } \leq 2\text{ мА}$ $> 11\text{ В}$ $\geq 5\text{ мА}$
Вихідний струм	(0.4 ... 1) I_{c1} налаштується
Вхід датчика РТС	750 Ом
Протокол порту обміну даними	Modbus
Тип роз'єму	1 RJ45
Канал обміну даними	послідовний
Фізичний інтерфейс	RS485 багатоточечний
Швидкість передачі	4800, 9600 або 19200 біт
Встановлене обладнання	31
Тип захисту	Обрив фази. Тепловий захист двигуна
Маркування	ЄС
Тип охолодження	примусова вентиляція
Робоче положення	Вертикально +/- 10 градусів
Висота	455 мм
Ширина	304 мм
Глибина	339.7 мм
Вага продукту	50 кг
Діапазон потужності двигуна АС-3	110 ... 220 кВт при 200 ... 240 В 3 фази 250 ... 500 кВт при 380 ... 440 В 3 фази
Тип пускача двигуна	М'який стартер

Технічні характеристики перетворювача частоти Schneider Electric ATV 900 подано в табл. 2.4 [18, 19].

Таблиця 2.4 – Технічні характеристики перетворювача частоти
Schneider Electric ATV 900

Технічний параметр	Значення
Прикладна програма	Складні виробничі механізми
Коротке ім'я пристрою	ATV930
Варіант виконання	Без гальмівного модуля Стандартна версія
Вартість	554048 грн
Призначення продукту	Синхронні двигуни Асинхронні двигуни
Спосіб кріплення	встановлюється під підлогою
Фільтр HF	Вбудований відповідно до EN / IEC 61800-3 категорія C3
Ступінь захисту IP	IP21 Відповідно до IEC 61800-5-1 IP21 Відповідно до IEC 60529
Тип охолодження	примусова вентиляція
Частота мережі живлення	50 ... 60 Гц (+/- 5%)
Кількість фаз мережі	3-фазний
Номінальна напруга живлення	380...440 В (- 15...10 %)
Потужність двигуна кВт	250 кВт (нормальний режим роботи) 200 кВт (важкий режим роботи)
Лінійний струм	432 А на 400 В (нормальний режим роботи) 353 А на 400 В (важкий режим роботи) 453 А на 380 В (нормальний режим роботи) 369 А на 380 В (важкий режим роботи)
Повна потужність	299 kVA на 400 В (нормальний режим роботи) 244 kVA для 400 В (heavy duty)
Максимальний струм в сталому режимі	477 А на 2,5 кГц (нормальний режим роботи) 370 А на 2,5 кГц (важкий режим роботи)
Максимальний перехідний струм	555 А протягом 60 с (важкий режим роботи) 572 А during 60 s (normal duty)
Профіль управління асинхронним двигуном	Режим оптимізованого моменту Змінний момент Постійний момент

Продовження таблиці 2.4

Технічний параметр	Значення
Номінальна частота комутації	2,5 кГц
Частота комутації	2 ... 8 kHz настраюється 2,5 ... 8 кГц до коефіцієнта зниження номінальної потужності
Функція захисту	STO (безпечне вимикання моменту) SIL 3
Тип логіки дискретних входів	16 попередньо швидкостей
Протокол порту обміну даними	Ethernet / IP Modbus послідовний Modbus TCP

Таким чином, отримаємо

$$K = 2 \cdot 166037 + 554048 = 886122 \text{ (грн.)}$$

Вартість системи керування РКС включає вартості контакторів та реле, які будуть необхідні для пуску, зупинки та чергування двигунів. Прийmemo її рівною 40% від вартості найдешевшого силового перетворювача. Найдешевшим силовим перетворювачем в нашому випадку буде ПЧ Schneider electric. Таким чином, отримаємо

$$C_1 = 0,4 \cdot 87890 = 35156 \text{ (грн./рік)}.$$

Річні капітальні затрати:

$$K_p = 0,17 \cdot K, \quad (2.12)$$

$$K_p = 0,17 \cdot 886122 = 150641 \text{ (грн./рік)}.$$

Час роботи механізму за рік

$$t_{\text{рік}} = d \cdot t \cdot \text{ТВ}, \quad (2.13)$$

де d – кількість робочих днів ($d = 365$);

t – кількість робочих годин в день ($t = 24$ год.);

ТВ – тривалість увімкнення механізму ($\text{ТВ} = 100\% = 0,5$ в. о.).

За рік отримаємо час роботи:

$$t_{\text{рік}} = 365 \cdot 24 \cdot 0,5 = 4380 \text{ (год./рік)}.$$

Знайдемо затрати на електроенергію, яка споживається при роботі зі встановленою потужністю протягом року

$$Z_{\text{вст}} = c \cdot P_{\text{вст}} \cdot t_{\text{рік}}, \quad (2.14)$$

де $P_{\text{вст}}$ – встановлена потужність з врахуванням того, що в роботі знаходиться постійно лише один насос ($P_{\text{вст}} = 250$ кВт);

c – вартість електроенергії ($c = 4$ грн./кВт·год).

Отримаємо

$$Z_{\text{вст}} = 4 \cdot 250 \cdot 4380 = 4380000 \text{ (грн./рік)}.$$

Затрати на електроенергію при роботі двигуна в перехідних режимах роботи приймемо рівними 10% від затрат енергії при роботі зі встановленою потужністю, тобто

$$Z_{\text{перех}} = 0,1 \cdot Z_{\text{вст}}, \quad (2.15)$$

$$Z_{\text{перех}} = 0,1 \cdot 4380000 = 438000 \text{ (грн./рік)}.$$

Затрати на електроенергію, в загальному випадку, можна знайти як суму

$$Z_{\text{ел}} = \frac{1}{\eta_{\text{п}}} (Z_{\text{вст}} + Z_{\text{перех}}), \quad (2.16)$$

де $\eta_{\text{п}}$ – коефіцієнт корисної дії силового перетворювача.

Для систем з силовим перетворювачем затрати в перехідних режимах будуть від'ємними. Це можна пояснити тим, що при роботі від регульованого силового перетворювача будуть відсутні коливання струму та швидкості і двигун буде плавно розганятися. Тому електропривод буде фактично споживати встановлене значення затрат електроенергії. Таким чином затрати на електроенергію, що споживають ПЧ будуть дорівнювати

$$Z_{\text{ел}} = Z_{\text{вст}} = 4380000 \text{ (грн/рік)}. \quad (2.17)$$

Оскільки продуктивність насосної станції потрібно регулювати, то затрати під час регулювання будуть меншими за встановлені затрати. Це матиме місце лише у електроприводі ПЧ-АД. Отже, затрати на електроенергію для ПЧ-АД будуть дорівнювати

$$Z_{\text{ел}} = 4380000 - 438000 = 3942000 \text{ (грн/рік)}. \quad (2.18)$$

Оскільки в РКС електропривод працює зі стрибками струму під час розгонів та сповільнень, то затрати на електроенергію можна розрахувати за виразом:

$$Z_{\text{ел}} = Z_{\text{вст}} + Z_{\text{перех}}, \quad (2.19)$$

$$Z_{\text{ел}} = 4380000 + 438000 = 4818000 \text{ (грн./рік)}.$$

Затрати на амортизацію обладнання можна наближено знайти за виразом

$$Z_a = 0,1K, \quad (2.20)$$

$$Z_a = 0,1 \cdot 886122 = 88612 \text{ (грн./рік)}.$$

Затрати на ремонт обладнання можна наближено знайти за виразом

$$Z_p = 0,02K, \quad (2.21)$$

$$Z_p = 0,02 \cdot 886122 = 17722 \text{ (грн./рік)}.$$

Затрати на обслуговування можна наближено знайти за виразом

$$Z_o = 0,05(Z_{\text{ел}} + Z_a + Z_p), \quad (2.22)$$

$$Z_o = 0,05 \cdot (3942000 + 88612 + 17722) = 202417 \text{ (грн./рік)}.$$

Приведені затрати на спорудження електропривода

$$Z = K_p + Z_{\text{ел}} + Z_a + Z_p + Z_o, \quad (2.23)$$

$$Z = 150641 + 3942000 + 88612 + 17722 + 202417 = 4401392 \text{ (грн./рік)}.$$

Результати розрахунку інших систем електропривода зведено у табл. 2.5.

Таблиця 2.5 – Техніко-економічне співставлення систем електроприводу

	РКС-АД	ППП(Lovato electric)-АД	ППП(Schneider electric)-АД	ПЧ(Schneider electric)-АД
Вартість двигуна, грн.	332074	332074	332074	332074
Вартість сист. керув., грн.	35156	160059	87890	554048
Капітальні затрати, грн.	367230	492133	419964	886122
Річні кап. затрати, грн./рік	62429	83663	71394	150641
Затрати на електроен. грн./рік	4818000	4380000	4380000	3942000
Затрати на амортиз., грн./рік	36723	49213	41996	88612
Затрати на ремонт, грн./рік	7345	9843	8399	17722
Затрати на обслугов., грн./рік	243103	221953	221520	202417
Приведені річні затрати, грн./рік	5167600	4744671	4723309	4401392

Виконавши економічне порівняння розглянутих систем електроприводу, робимо висновок, що краще використовувати систему ПЧ (Schneider electric) – АД, оскільки вона має найменший розмір приведених затрат.

2.3 Вибір та перевірка приводних електродвигунів

Представимо деякі характеристики насосного агрегату СМ 250-200-400/4 [9 – 12]:

- комплектуючий електродвигун найменування – АИР 355 S4;
- потужність – 250 кВт;
- напір $H = 55 - 50 - 40$ м;

- подача $Q = 640 - 800 - 1000 \text{ м}^3/\text{год}$;
- габаритні розміри – $3140 * 720 * 1155 \text{ мм}$;
- маса агрегата (орієнтовна) 2635 кг ;
- виробник – Рибницький насосний завод.

З довідникових даних знайдемо параметри приводного асинхронного двигуна з короткозамкнутим ротором АІР 355 S4 [13, 14]. Зведемо ці параметри у табл. 2.6.

Таблиця 2.6 – Технічні дані приводного асинхронного двигуна з короткозамкнутим ротором АІР 355 S4

Параметр	Значення
Тип (марка)	АІР 355 S4
Потужність, Р	250 кВт
Напруга мережі, U	380/660 В
Частота обертання, n	1490 об / хв
Номінальний струм, I	443 А
Коефіцієнт корисної дії, ККД	95,2%
Коефіцієнт потужності, $\cos\varphi$	0,90
Кратність пускового моменту, $M_{п} / M_{н}$	2,1
Кратність максимального моменту, $M_{\max} / M_{н}$	2,2
Кратність пускового струму, $I_{п} / I_{н}$	6,9
Маса електродвигуна	1700 кг
Момент інерції ротора двигуна	$6,5 \text{ кгм}^2$

Двигуни уніфікованої серії АІР є найпоширенішими в промисловості, за рахунок простоти конструкції і вигідною вартості при високій надійності в експлуатації [14].

Асинхронні електродвигуни АІР, завдяки простоті конструкції, відсутності рухомих контактів, високою ремонтпридатності, невисокою ціною в порівнянні з іншими електричними двигунами застосовуються практично у всіх галузях промисловості і сільського господарства [14].

Використовуються для приводу різних машин і обладнання, робота яких має безперервний характер.

Застосовуються в таких установках, як насоси, вентилятори, компресори, конвеєри, верстатах, та ін.

Загальнопромислові трифазні асинхронні електродвигуни АІР 355 S4 виготовляються за замовчуванням з такими технічними характеристиками:

- на подвійну напругу 380 / 660В (шість клем в коробці висновків).
- Виготовлення електродвигунів на іншу напругу проводиться на замовлення;
- кліматичного виконання У (Температура оточуючого середовища, С ° -20 ... +40);
 - категорії розміщення – 2 (експлуатація під навісом, відсутність прямого впливу опадів і сонячного випромінювання), або 3 (експлуатація в закритих приміщеннях без регулювання кліматичних умов);
 - режим роботи - тривалий, S1. (S1 по ГОСТ 183-74: тривалий при незмінному навантаженні і стабільності);
 - клас F – пікова температура нагріву обмотки до 150 ° С;
 - ступінь захисту IP54;
 - ступінь захисту електродвигуна IP54 – згідно International Protection, 5 – захист від пилу, 4 – захист від попадання води.

Система охолодження двигунів – ІС 041 по ГОСТ 20459 (МЕК 60034-6). Електродвигуни мають станину з зовнішніми поздовжніми охолоджуючими ребрами. Охолодження здійснюється шляхом обдування станини зовнішнім відцентровим вентилятором, розташованим на валу електродвигуна з боку протилежної приводу і закритим захисним кожухом.

Конструктивні виконання і спосіб монтажу виконані по ГОСТ 2479-79. Монтажне виконання двигунів:

- на лапах (ІМ 1081, 1001, 1011);
- фланцеві (ІМ 3081, 3001, 3011) або фланцеві недоступні зі зворотного боку (ІМ 3681);
- комбіновані, лапи + фланець (ІМ 2081, 2001., 2011).

Загальнопромислові електродвигуни серії AIP355S4 мають такі особливості порівняно з двигунами інших серій:

- можливість короткочасних механічних перевантажень;
- простота конструкції;
- простота пуску і легкість його автоматизації;
- переважно постійна швидкість при різних навантаженнях;
- підвищений ККД за рахунок високої точності виготовлення;
- знижений рівень шуму (до 55 дБ) за рахунок застосування високоточних підшипників;
- ступінь захисту IP54 електродвигунів забезпечує підвищену захищеність оболонки електродвигуна від води і пилу;
- знижений рівень реактивних струмів $\cos\phi$ (до 0,86), що призводить до значного зниження ризику перенапруги в мережі;
- висока експлуатаційна надійність електродвигуна при пусках і спонтанно виникають перевантаженнях отримана шляхом значного збільшення кратності пускових моментів;
- корпус відлитий із сірого чавуну.

Для роботи на відкритому повітрі рекомендується оберегти двигун AIP серії за допомогою козирка від безпосереднього попадання дощу, снігу і сонячних променів.

Умовне позначення електродвигуна AIP 355 S 4 У3 IP 54 250кВт, 1500 об / хв, IM1081 розшифровується наступним чином [14]:

- А - асинхронний двигун;
- І - двигун розроблений в рамках Інтерелектро,
- Р - прив'язка потужностей до настановних розмірів відповідно до ГОСТ Р 51689 (С - виготовляються за євростандартом DIN (CENELEK));
- 355 - висота осі обертання (габарит);
- S – настановний розмір по довжині станини;
- 4 – число полюсів;

- У – кліматичне виконання;
- 3 – категорія розміщення;
- IP54 – ступінь захисту електродвигуна;
- 250 – потужність електродвигуна;
- 1500 – обороти електродвигуна;
- ІМ – монтажне виконання по ГОСТ 2479-79.

Приведене значення моменту інерції механізму буде дорівнювати:

$$J = 1,3 \cdot J_d + J_n, \quad (2.24)$$

де J_d – момент інерції ротора двигуна ($J_d = 6,5 \text{ кг}\cdot\text{м}^2$);

J_n – момент інерції робочого колеса насоса

Момент інерції робочого колеса насоса приймемо кратним 1,5 від моменту інерції ротора двигуна:

$$J_n = 1,5 \cdot J_d = 1,5 \cdot 6,5 = 9,75 (\text{кг}\cdot\text{м}^2). \quad (2.25)$$

Сумарний момент інерції системи з врахуванням певного запасу і моменту інерції з'єднувальної муфти буде рівним:

$$J = 1,3 \cdot 6,5 + 9,75 = 18,2 (\text{кг}\cdot\text{м}^2). \quad (2.26)$$

Припустимо, що розгін привода до номінальної швидкості відбувається за $t_r = 2 \text{ с}$, тоді кутове прискорення, приведене до валу двигуна буде дорівнювати:

$$\xi = \frac{\omega_{dn}}{t_p}, \quad (2.27)$$

де ω_{dn} – номінальна швидкість обертання двигуна, с^{-1} ;

t_p – час пуску електропривода насоса ($t_p = 2 \text{ с}$).

Номинальна швидкість обертання двигуна визначається за формулою:

$$\omega_{dn} = \frac{2\pi}{60} \cdot n_{dn}, \quad (2.28)$$

де n_{dn} – номінальна швидкість обертання двигуна ($n_{dn} = 1490$ об/хв).

Отримаємо швидкість двигуна:

$$\omega_{dn} = 0,1047 \cdot 1490 = 156 \text{ (рад/с)}.$$

Кутове прискорення електропривода буде рівним:

$$\xi = \frac{156}{2} = 78 \text{ (рад/с}^2\text{)}.$$

Динамічний момент електропривода розраховується за формулою:

$$M_d = J\xi = 18,2 \cdot 78 = 1420 \text{ (Нм)}. \quad (2.29)$$

Сумарний момент навантаження під час розгону буде дорівнювати:

$$M_p = M_c + M_d, \quad (2.30)$$

де M_c – момент статичного навантаження на електропривод, Нм.

Момент статичного навантаження, яке створюється насосом, можна розрахувати з потужності насоса та його швидкості обертання за формулою:

$$M_c = \frac{N_n}{\omega_{dn}} = \frac{149500}{156} = 958,5 \text{ (Нм)}. \quad (2.31)$$

Пусковий момент електропривода буде рівним:

$$M_p = 958,5 + 1420 = 2378 \text{ (Нм)}.$$

Номінальний момент двигуна визначається за формулою:

$$M_n = 9550 \frac{P_{dn}}{n_{dn}}, \quad (2.32)$$

де P_{dn} – номінальна потужність приводного двигуна насоса ($P_{dn} = 250$ кВт).

Номінальний момент двигуна буде рівним:

$$M_n = 9550 \frac{250}{1490} = 1602 \text{ (Нм)}.$$

Критичний момент двигуна буде дорівнювати:

$$M_k = k_{mk} \cdot M_n = 2,2 \cdot 1602 = 3525 \text{ (Нм)}, \quad (2.33)$$

де k_{mk} – кратність максимального (критичного) моменту ($k_{mk} = 2,2$).

Перевіримо умову на перевантаження:

$$M_k = 3525 > 2378 = M_p. \quad (2.34)$$

Отже, умова перевірки за перевантаженням виконується.

Перевіримо умову за пуском. Пусковий момент двигуна можна знайти за формулою:

$$M_p = k_{mp} M_n = 2,1 \cdot 1602 = 2378 \text{ (Нм)}, \quad (2.35)$$

де k_{mp} – кратність пускового моменту двигуна ($k_{mp} = 2,1$).

Умова перевірки за можливістю пуску при врахуванні можливого просідання напруги живлення двигуна до 0,9 від номінальної, буде мати вигляд:

$$0,8 \cdot M_p = 0,8 \cdot 3365 = 2692 > 2378 = M_p. \quad (2.36)$$

Отже, умова перевірки за можливістю пуску виконується також.

Таким чином, можна зробити висновок, що при заданому часі розгону, двигун задовольняє умовам перегріву, перевантаження і можливості пуску.

2.4 Розрахунок силової частини електропривода та вибір її елементів

2.4.1 Розробка структурної схеми електропривода

За результатами техніко-економічного обґрунтування електропривод виконується за системою ПЧ-АД. Швидкість обертання такого електропривода регулюється шляхом зміни частоти фазної напруги живлення двигуна.

Для забезпечення захисту електропривода від надмірного підвищення струму він повинен бути охоплений зворотним зв'язком за струмом.

На рис. 2.2 побудуємо структурну схему електропривода.

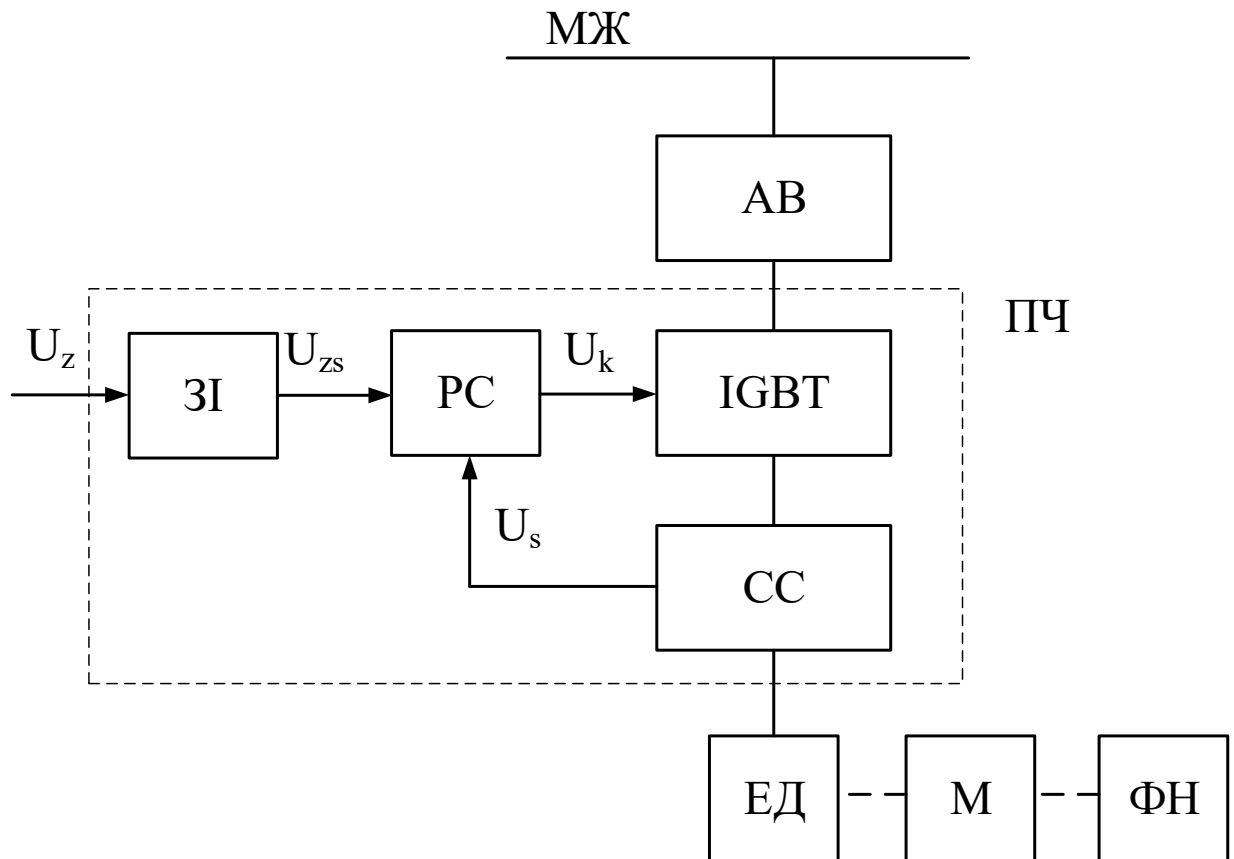


Рисунок 2.2 – Структурна схема електропривода

На структурній схемі позначено:

МЖ – мережа живлення електропривода;

АВ – автоматичний повітряний вимикач;

ПЧ – перетворювач частоти;

ЗІ – задавач інтенсивності;

РС – регулятор струму;

IGBT – IGBT-модуль;

СС – сенсор струму статора двигуна;

ЕД – електричний двигун;

М – муфта;

ФН – фекальний насос;

U_z – напруга задання швидкості насоса;

U_{zs} – напруга задання струму статора двигуна;

U_s – напруга зворотного зв'язку за струмом двигуна;

U_k – напруга керування ПЧ.

АВ в електроприводі використовується для забезпечення захисту від перевантажень і коротких замикань.

ПЧ змінює частоту та напругу живлення приводного двигуна насоса. На вхід ПЧ подається значення інтенсивності зміни напруги та сигнал дозволу роботи.

ЗІ формує лінійно наростаючий сигнал до певного рівня (обмеження). В параметрах ЗІ задається інтенсивність зміни сигналу.

РС забезпечує формування керуючої дії залежно від різниці між сигналом задання та сигналом зворотного зв'язку.

IGBT забезпечує регулювання частоти та фазної напруги, яка прикладається до двигуна шляхом ШІМ сигналу.

СС забезпечує вимірювання струму в усіх фазах двигуна і перетворення вимірюваного сигналу до форми, зручної для роботи РС.

ЕД забезпечує перетворення електричної енергії в механічну і приведення в рух виробничого механізму. У якості приводного двигуна використовується АД з короткозамкнутим ротором.

М забезпечує надійне з'єднання двигуна з насосом.

ФН перетворює швидкість обертання робочого колеса в продуктивність та тиск рідини.

2.4.2 Розрахунок і вибір автоматичного вимикача

Вибір автоматичного вимикача виконується за струмом. Знайдемо струм двигуна в номінальному режимі:

$$I_n = \frac{P_n}{\sqrt{3}U_n \cos \phi_n}, \quad (2.37)$$

де P_n – номінальна потужність двигуна ($P_n = 250$ кВт);

U_n – номінальна лінійна напруга живлення двигуна, В ($U_n = 380$ кВТ);

$\cos\phi_n$ – номінальний коефіцієнт потужності двигуна ($\cos\phi_n = 0,9$ в. од.).

Отже, номінальний струм двигуна

$$I_n = \frac{250000}{\sqrt{3} \cdot 380 \cdot 0,9} = 422 \text{ (A)}.$$

Пусковий струм двигуна

$$I_p = k_{ip} I_n, \quad (2.38)$$

де k_{ip} – кратність пускового струму ($k_{ip} = 6,9$).

Отримаємо пусковий струм

$$I_p = 6,9 \cdot 422 = 2912 \text{ (A)}.$$

Умова вибору автоматичного вимикача для полегшених умов пуску має вигляд

$$I_{avt} \geq 0,4 \cdot I_p = 0,4 \cdot 2912 = 1165 \text{ (A)}.$$

Отже, номінальний струм автоматичного вимикача повинен бути не меншим за 1165 А. Оскільки кратність пускового струму двигуна становить 6,9, то сам автоматичний вимикач повинен мати групу електромагнітного розщиплювача С.

Вибираємо автоматичний вимикач LSIS ABN1203с 1200А, технічні характеристики якого зведемо у табл. 2.7.

Таблиця 2.7 – Технічні характеристики автоматичного вимикача LSIS ABN1203c 1200A

Назва параметру	Значення
Тип	ABN1203c 1200A
Розмір, мм	220*400*105
Відключаюча спроможність, кА	65
Номинальний струм, А	1200

2.4.3 Розрахунок і вибір транзисторів

Нереверсивний перетворювач частоти з трьох груп транзисторів по два транзистори у кожній групі. Транзистори однієї групи вмикаються зустрічно. Всі три групи призначені для формування однієї полярності трифазної напруги.

Розрахунок та вибір транзисторів виконується за наступними параметрами:

- за середнім струмом;
- за максимальним амплітудним значенням напруги на транзисторі;
- за ударним струмом внутрішнього короткого замикання.

Середній струм через транзистор дорівнює [20, 21]

$$I_{ser} = \frac{I_p}{2}, \quad (2.39)$$

$$I_{ser} = \frac{2912}{2} = 1456 \text{ (A)}.$$

Струм, приведений до класифікаційних параметрів транзисторів

$$I_{kl} = k_{zs} k_s k_{oh} I_{ser}, \quad (2.40)$$

де k_{zs} – коефіцієнт запасу за струмом ($k_{zs} = 1,3 \div 1,75$);

k_s – коефіцієнт, що залежить від схеми випрямлення, кута провідності та форми струму ($k_s = 1,1 \div 1,77$);

k_{oh} – коефіцієнт, що враховує умови охолодження транзистора ($k_{oh} = 1 \div 2,5$).

Для $k_{zs} = 1,5$, $k_s = 1,1$, $k_{oh} = 1,75$ отримаємо:

$$I_{kl} = 1,5 \cdot 1,1 \cdot 1,75 \cdot 1456 = 4204 \text{ (A)}.$$

Максимальна напруга, яка прикладається до транзистора під час його закривання розраховується за формулою

$$U_{\max} = k_{zn} \sqrt{2} U_{ln}, \quad (2.41)$$

де k_{zn} – коефіцієнт запасу за напругою, який враховує можливість виникнення перенапруги на транзисторах ($k_{zn} = 1,3 \div 1,5$);

U_{ln} – номінальне значення лінійної напруги живлення ($U_{ln} = 380 \text{ В}$).

Для $k_{zn} = 1,4$ отримаємо

$$U_{\max} = 1,4 \cdot \sqrt{2} \cdot 380 = 752,36 \text{ (В)}.$$

З довідникових даних вибираємо транзистори, для яких виконуються умови:

$$I_{tn} > I_{kl} = 4204 \text{ (A)}, \quad (2.42)$$

$$U_{ztn} > U_{\max} = 752,36 \text{ (В)}. \quad (2.43)$$

Вибираємо транзистор технічні характеристики якого подамо у табл. 2.8.

Таблиця 2.8 – Технічні характеристики IGBT транзистора

Струм провідності, А	5000
Максимальна зворотна напруга, В	200 – 800
Відключаюча спроможність, кА	65
Струм керуючого електрода, мА	200
Падіння напруги на транзисторі, В	0,83
Активний опір транзистора у відкритому стані, мОм	0,04
Час відкривання транзистора, мкс	160 – 200
Час закривання транзистора, мкс	800
Допустима температура нагріву, °С	150

2.5 Розрахунок параметрів об'єкта керування

У якості об'єкта керування виступає електричний двигун, система механічних передач та силовий перетворювач. Під силовим перетворювачем слід розуміти ПЧ. Знайдемо всі можливі параметри об'єкта керування.

Якщо у якості напруги керування ПЧ обрати напругу 10 В, то коефіцієнт підсилення ПЧ буде дорівнювати:

$$k_f = \frac{U_{fn}}{10}, \quad (2.44)$$

де U_{fn} – номінальне значення фазної напруги на виході ПЧ ($U_{fn} = 220$ В).

Отримаємо

$$k_f = \frac{220}{10} = 22.$$

Сталу часу ПЧ можна розрахувати за формулою

$$T_f = \frac{2}{\omega_M}, \quad (2.45)$$

де ω_M – частота коливання фазної напруги мережі живлення, рад/с.

Для промислової мережі живлення частотою 50 Гц отримаємо

$$\omega_M = 2\pi f = 2 \cdot 3,14 \cdot 50 = 314,16 \text{ (рад/с)}.$$

Отже, стала часу буде дорівнювати

$$T_f = \frac{2}{314,16} = 0,0064 \text{ (с)}.$$

Коефіцієнт пропорційності між фазною напругою живлення двигуна і його струмом статора дорівнюватиме

$$k_{UI} = \frac{I_n}{U_{fn}} = \frac{422}{220} = 1,9184 \text{ (А/В)}.$$

Електромагнітна стала часу двигуна визначається за формулою

$$T_e = \frac{1}{\omega_m s_k}, \quad (2.46)$$

де s_k – критичне ковзання двигуна ($s_k = 0,029$ в. од.).

Отже, одержимо

$$T_e = \frac{1}{314,16 \cdot 0,029} = 0,112 \text{ (с)}.$$

Коефіцієнт пропорційності між струмом статора двигуна і його електромагнітним моментом можна визначити за виразом

$$k_{IM} = \frac{M_n}{I_n}, \quad (2.47)$$

де M_n – номінальний момент асинхронного двигуна, Нм.

Номінальний момент двигуна можна визначити за формулою

$$M_n = \frac{P_n}{\omega_n}, \quad (2.48)$$

де ω_n – номінальна швидкість обертання двигуна, рад/с.

Номінальна швидкість АД з ковзання визначається за формулою

$$\omega_n = (1 - s_n)\omega_0, \quad (2.49)$$

де ω_0 – синхронна швидкість обертання двигуна, рад/с.

Синхронна швидкість двигуна визначається за виразом:

$$\omega_0 = \frac{2\pi}{z_p} f_n, \quad (2.50)$$

де z_p – кількість пар полюсів ($z_p = 2$);

f_n – номінальна частота напруги живлення мережі живлення ($f_n = 50$ Гц).

Отже, отримаємо

$$\omega_0 = \frac{2 \cdot 3,14}{2} \cdot 50 = 157,08 \text{ (рад/с);}$$

$$\omega_n = (1 - 0.007) \cdot 157,08 = 156 \text{ (рад/с);}$$

$$M_n = \frac{250000}{156} = 1602 \text{ (Нм);}$$

$$k_{IM} = \frac{1602}{422} = 3.797 \text{ (Нм/А).}$$

2.6 Розробка та розрахунок системи керування електроприводами

2.6.1 Розробка функціональної схеми насосної станції

Функціональна схема відображає функціональні зв'язки всередині системи та функціональне призначення всіх елементів системи.

Порівняно зі структурною схемою на функціональній представляється будова системи керування та силового перетворювача. При цьому, слід врахувати наступне:

- на насосній станції працює два приводних двигуни, один з яких рахується основним, інший резервним;
- система керування може працювати як в автоматичному, так і ручному режимах роботи;
- в автоматичному режимі роботи система керування повинна виконувати чергування основного і резервного насосні агрегати для рівномірного вичерпання моторесурсу;
- насосна станція облаштована щонайменше чотирма сенсорами рівня, за командою яких повинні вмикатися насоси (або вимикатися);
- система керування повинна передбачати можливість зв'язку з диспетчерським пунктом на відстані і видачі сигналу аварії у випадку несправності станції або неспроможності насосів відкачати воду, що прибуває занадто швидко.

Виходячи з перелічених особливостей, насосна станція повинна містити обчислювальний блок або ПЛК, який буде виконувати роботу системи керування.

Зобразимо функціональну схему на рис. 2.3.

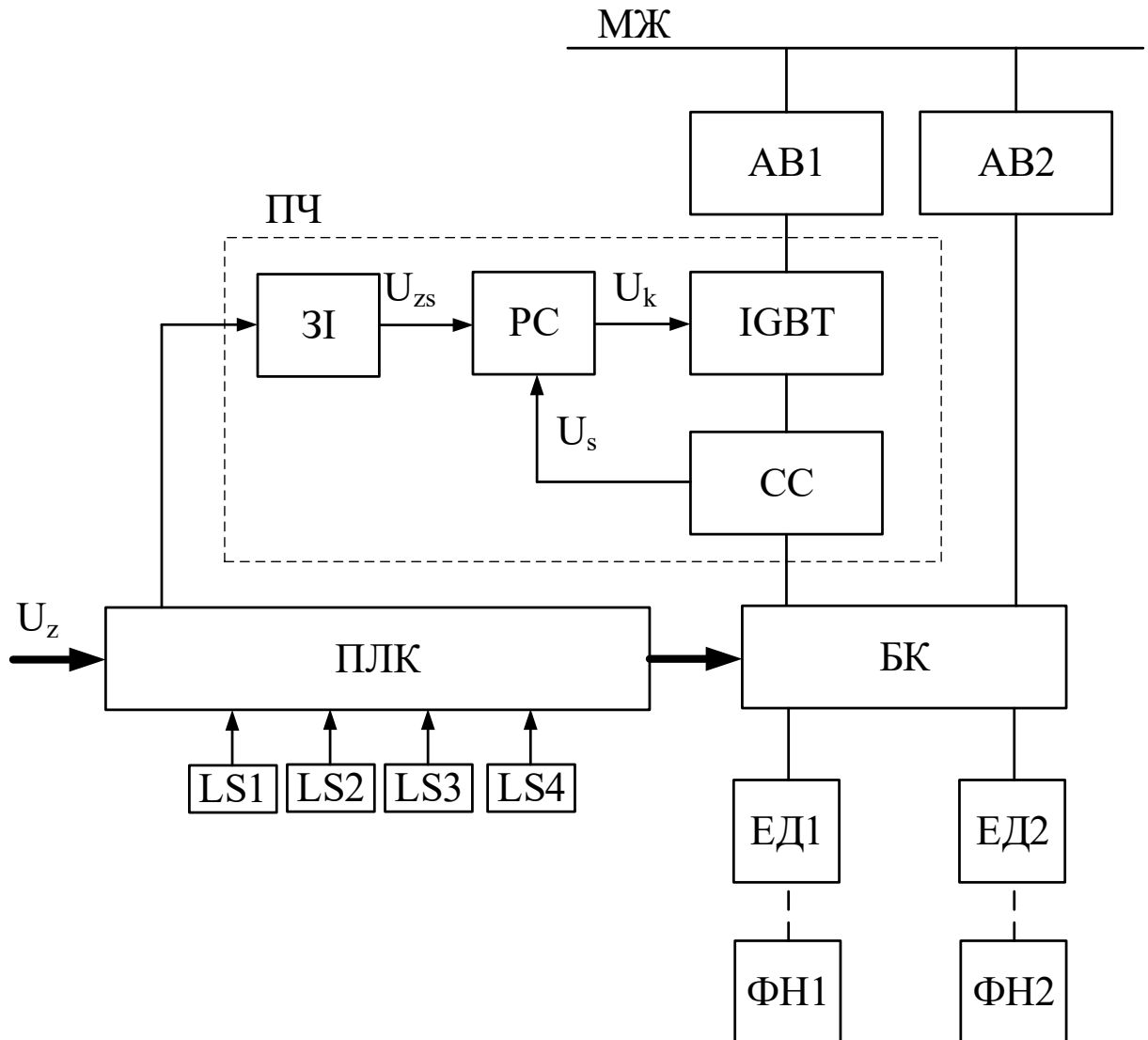


Рисунок 2.3 – Функціональна схема електропривода

На функціональній схемі додатково позначено:

AB1, AB2 – автоматичні вимикачі відповідно основного та резервного насосних агрегатів;

ПЛК – програмований логічний контролер;

БК – блок комутації;

LS1 – 4 – сенсори рівня в накопичувальному резервуарі;

ЕД1, ЕД2 – перший та другий електричні двигуни насосів;

ФН1, ФН2 – відповідно перший та другий насоси.

Блок комутації виконує перемикання ПЧ між двигунами що запускаються. Після розгону електропривода ПЧ відключається від нього, а приводний двигун вмикається контактором напряду до мережі живлення.

ПЛК виконує функцію керування ПЧ та БК. На ПЧ подається сигнал запуску, а на БК – сигнал якого саме двигуна. Після спрацювання сенсора роботи двох насосів БК повинен запустити обидва насосні агрегати. Крім того, ПЛК забезпечує подачу необхідних сигналів про роботу станції чи аварію. Зв'язок з диспетчерським пунктом виконується по протоколу RS485 через ПЧ. На вхід ПЛК подається або команда автоматичного режиму роботи, або команда запуску того чи іншого насосного агрегату в ручному режимі роботи.

Для реалізації автоматичного режиму роботи каналізаційної насосної станції вона, зазвичай [1-15], оснащується чотирма сенсорами рівня. Перший сенсор сигналізує про мінімальний рівень води в резервуарі. Четвертий – про максимальний рівень води. Другий сенсор встановлюється на певному рівні і використовується для запуску основного насосного агрегату. Третій сенсор рівня встановлюється між третім і четвертим і використовується для запуску резервного агрегату.

Принцип автоматизованої роботи каналізаційної насосної станції полягає в наступному:

1. При подачі команди автоматизованої роботи система керування зчитує сигнал з сенсорів рівня і якщо у ємності рівень води нижче за третій сенсор, то нічого не відбувається. При цьому може засвічуватися сигналізація про стан насосної станції.

2. Якщо рівень води в ємності доходить до другого сенсора подається команда на запуск основного насосного агрегату. При цьому у якості

основного обирається той насосний агрегат, який має менший час напрацювання. Це виконується для вирівнювання моторесурсу електроприводів і насосів.

3. Якщо рівень води в ємності падає до рівня спрацювання першого сенсора основний насосний агрегат вимикається.

4. Якщо рівень води, все ж таки, продовжує збільшуватися і досягає рівня установки третього сенсора, то додатково вмикається резервний насосний агрегат.

5. Якщо рівень води в ємності падає до рівня спрацювання першого сенсора насосні агрегати вимикаються.

6. Якщо рівень води продовжує збільшуватися і досягає рівня установки четвертого сенсора, то видається сигнал аварії і насоси продовжують працювати.

У ручному режимі роботи кожен насосний агрегат запускається напряму шляхом вмикання контактора. При цьому черговість запуску визначає сам оператор.

2.6.2 Розрахунок і вибір сенсора

Більшість сучасних ПЧ однією з додаткових функцій мають можливість обмежувати пусковий струм двигуна. Це реалізується або шляхом реалізації струмової відсічки якщо електропривод має додатково зовнішній контур зворотного зв'язку, або шляхом реалізації внутрішнього контуру зворотного зв'язку за струмом двигуна. Для реалізації другого способу необхідно встановити сенсор струму двигуна.

У якості сенсора струму використовується трансформатор струму, який вибирається за значенням струму в одній фазі і за величиною напруги (струму) на його виході. Оскільки пусковий струм двигуна становить 2912 А, то сенсор струму повинен вимірювати струм до 3000 А.

Обираєм трансформаторний сенсор струму. Технічні характеристики сенсора зведемо у табл. 2.9.

Таблиця 2.9 – Технічні характеристики сенсора струму

Параметр	Значення
Вхід змінного струму	
Діапазон вимірювання	3000 А
Максимальне миттєве перевантаження	8000 А
Частота напруги	20 ... 1000 Гц
Ізоляція	1 кВ при вимірюванні струму через дріт без ізоляції
Споживання	<50 мВт
Вихід / Живлення	
Робоча напруга	5 ... 28 В DC (живлення від струмової петлі)
Струмовий вихід	4 ... 20 мА (2-х дротова схема підключення)
Залишкові коливання	<10 μ Arms при 20 мА і 50 Гц
Максимальний струм	<28 мА в умовах перевантаження
Стала часу сенсора	0,02 с.

2.6.3 Розрахунок регуляторів системи керування електроприводом

Для розрахунку параметрів регулятора струму статора двигуна необхідно знайти параметри контуру зворотного зв'язку.

Коефіцієнт підсилення контуру зворотного зв'язку за струмом для десятивольтної шкали кола керування визначається за формулою:

$$k_s = \frac{10}{I_p} = \frac{10}{2912} = 0,00343 \text{ (В/А)}.$$

Стала часу контуру зворотного зв'язку за струмом зазначена в паспортних даних сенсора струму і становитиме

$$T_s = 0,02 \text{ (с)}.$$

Розрахунок регулятора струму виконаємо за модульним критерієм оптимальності. Розрахунок проведено в математичному пакеті Mathcad і представлено в Додатку Б на рис. Б1.

За результатами розрахунку отримаємо пропорційно-інтегрально-диференціальний регулятор виду:

$$W_{rs}(s) = 71,5 + \frac{541}{s} + 1,21s, \quad (2.51)$$

де s – оператор Лапласа.

Відомо, що операції множення на « s » в операторному вигляді відповідає процедура диференціювання в часовому вимірі, а операції ділення на « s » в операторному вигляді – процедура інтегрування (сумування). Таким чином в регуляторі струму є, і підсилення, і інтегрування, і диференціювання.

3 ОПТИМІЗАЦІЯ ПРОЦЕСУ ТРАНСПОРТУВАННЯ СТІЧНИХ ВОД ВЕЛИКИХ МІСТ ЗАСОБАМИ ЕЛЕКТРОПРИВОДА

КНС є найважливішими спорудами напірно-самотічної системи водовідведення. При оцінці якості функціонування системи за витратами електроенергії на транспортування стічних вод саме режими роботи КНС є визначальними.

Неможливо перелічити всіх дослідників, які внесли вклад в розвиток методів і техніки управління насосними агрегатами і насосними станціями. Відзначимо тут роботи Я. Н. Гінзбурга, В. В. Іванова, В. Я. Кареліна, Я. А. Кареліна, А. Л. Кузьміна, Б. С. Лезнова, А. В. Мінаєва, Ю. І. Нефедова, Г. С. Попковіча, В.І.Турка, В. Б.Чебанова, А. В. Чурганова, які займалися і займаються питаннями управління насосами і насосними станціями, що експлуатуються безпосередньо в каналізаційних мережах [1].

У даній роботі насосна станція розглядається не як самостійний об'єкт управління, а лише як точка мережі, проведення стічної води через яку вимагає певних витрат електроенергії. Таким чином, залишаються осторонь питання, пов'язані з оптимізацією роботи кожної конкретної КНС – це завдання локальної автоматизації.

При вирішенні завдань, що становлять предмет дослідження роботи, насосна станція розглядається як елемент, найважливішою характеристикою якого є статична характеристика "ВХІД-ВИХІД" [1]

$$N = N(q), \quad (3.1)$$

де під "ВХОДОМ" q розуміється значення подачі станції, а під "ВИХОДОМ" N -- спожита нею електрична потужність. При цьому виявилось зручним і доцільним відволіктися від конкретного технічного змісту даної КНС і способу управління її подачею і ідентифікувати шукану залежність за

наявними даними, зафіксованим в реальних умовах експлуатації КНС в різних, визначених оперативною ситуацією умовах. Це дає можливість досліджувати об'єкт з позицій однакової методології та уніфікувати процедуру визначення статичних характеристик насосних станцій та мережі. Використовуючи відомі методи математичної статистики В. Б. Давндюк, А. Т. Романовою, В. П. Федянином розроблена методологія ідентифікації енергетичної характеристики КНС за експлуатаційним даними. Зміст такої ідентифікації полягає у визначенні коефіцієнтів аналітичної безперервної залежності $N = N(q)$, вигляд якої формується на підставі фізичних уявлень про об'єкт, або в результаті візуального аналізу дискретної множини значень [1]:

$$\{Q_i; E_i\}, \quad (3.2)$$

зафіксованих в режимах нормального функціонування КНС, де Q_i і E_i -- відповідно, обсяг перекачаної води і витрати електроенергії за певний i -й проміжок часу.

На підставі аналізу реальних експлуатаційних даних відомо про те, що в діапазонах подач залежність $E = f(Q)$ (а відповідно і залежність $N = N(q)$, що отримується перерахунком коефіцієнтів) може розглядатися або як лінійна, або як квадратична функція.

Залежно від рівня деталізації вихідних спостережених даних $\{Q_i; E_i\}$ пропонується розглянути три способи ідентифікації енергетичної характеристики КНС [1]:

1. Визначення питомих витрат КНС за інтегральними експлуатаційними даними. КНС характеризується постійним значенням питомих витрат електроенергії b яке розраховується за формулою:

$$b = \frac{\sum_{i=1}^n E_i}{\sum_{i=1}^n Q_i}, \quad (3.3)$$

$$E = b \cdot Q, \quad (3.4)$$

де n -- кількість зафіксованих значень пар $\{Q_i; E_i\}$;

Як правило, такий спосіб ідентифікації застосовується для порівняно малопотужних КНС, працюють "під замком", коли збір інформації про обсяги перекачки та витратах енергії відбуваються через досить великі інтервали часу (наприклад, через добу).

2. Визначення енергетичної характеристики КНС методом найменших квадратів. В роботі розглядаються випадки, коли названа залежність лінійна

$$E = a_1 + b_1 \cdot Q, \quad (3.5)$$

або квадратична

$$E = a_2 + b_2 \cdot Q + c_2 Q^2, \quad (3.6)$$

де a_1, b_1, a_2, b_2, c_2 – індексні коефіцієнти, що знаходяться в результаті розв'язання відповідних систем рівнянь, отриманих для фіксованих значень $\{Q_i; E_i\}$ в певні моменти часу.

Отримані за методом найменших квадратів залежності можуть перевірятися на адекватність до експериментальних даних за критерієм Фішера.

3. Статистична лінеаризація енергетичної характеристики КНС. Цей спосіб передбачає відомим аналітичний вираз реальної ступінчастої характеристики КНС $N = N(q)$, яка має розриви при значеннях подач, при яких відбувається включення або відключення насосних агрегатів. При цьому враховується випадковий характер припливу води на вхід КНС, що задається

відповідним законом розподілу. Ідентифікація зводиться до заміни реальної характеристики КНС лінійною в робочому діапазоні подач:

$$N = a_1 + b_1 \cdot q, \quad (3.7)$$

де q – миттєве значення продуктивності КНС, що знаходиться в діапазоні

$$q_{\min} \leq q \leq q_{\max};$$

a_1, b_1 – коефіцієнти, що визначаються з умови рівності значення витрат електроенергії, розрахованих за реальною і апроксимуючою характеристиками за досить тривалий інтервал часу.

Таким чином, питомі витрати електроенергії в рамках прийнятої апроксимації характеристики насосної станції, є або величина постійна, або лінійно залежать від об'єму перекачки. Розрахунки, виконані для реальних каналізаційних насосних станцій, показують, що енергетичні характеристики більшості КНС можна прийняти лінійними в робочих діапазонах подач, що, в свою чергу, означає сталість питомих витрат електроенергії.

При оперативному управлінні процесом водовідведення використовується модель сталого поточкорозподілу, яка складається на основі таких припущень:

- мережа є системою взаємодіючих структурних елементів двох типів: активних (КНС спільно з напірними водоводами, очисні споруди і, умовно аварійні, водовипуски) і пасивних (однорідних ділянок каналів і колекторів);
- сумарна кількість стоків, що доходить до виходу СТСВ, дорівнює загальній кількості стічних вод, що надходять в мережу;
- має місце закон збереження потоку (закон Кірхгофа): алгебраїчна сума витрат в будь-якому вузлі мережі, крім входів і виходів, дорівнює нулю.

Найбільш зручним способом опису інженерних мереж є їх представлення у вигляді графів. Такий підхід можна знайти, зокрема, в

роботах А.Г.Евдокімова. В.В. Дубровського. А.Д.Тевяшева. В.Б.Давидюка та інших дослідників.

Відоми спосіб представлення СТСВ як направлено, зв'язного, ациклічного графу. Вершинами такого графу ж споруди мережі каналізації (насосні станції, резервуари, колектори тощо), а дуги вказують напрям передачі води між сусідніми спорудами. На графі виділяються вершини, через які стічна вода надходить у мережу; такі вершини є входами мережі. Витрати води на входах постійно контролюються і вважаються відомими; вони визначають сумарне навантаження на мережу в будь-який поточний момент часу. Всім вершинам графу присвоюються номери. Якщо загальна кількість вершин R , то їх нумерацію зручно виконувати у такому порядку: спочатку від одиниці нумерують K вхідних вершин, а всі інші $(R - K)$ нумеруються починаючи від $K+1$. Від кожного входу стічна вода може транспортуватися до виходів мережі, в загальному випадку, за кількома маршрутами. Під маршрутом розуміється послідовність споруд, через які вода проходить при своєму русі по мережі. Для реальної мережі кількість P таких маршрутів завжди кінцева.

З врахуванням введеної нумерації та позначень граф стану СТСВ можна описати матрицею $[A]$, що має R стрічок (вершин) та P стовпчиків (маршрутів) [1]. Елементи матриці a_{ij} ($i = \overline{1, R}; j = \overline{1, P}$) можуть приймати значення «1» або «0», а саме

$$a_{ij} = \begin{cases} 1, & \text{якщо } i - \text{та вершина належить } j - \text{му маршруту;} \\ 0, & \text{якщо } i - \text{та вершина не належить } j - \text{му маршруту.} \end{cases} \quad (3.8)$$

Для зручності подальшого використання матрицю $[A]$ ($R \times P$) можна подати у блоковому вигляді, розділивши окремо вершини вхідні від всіх інших:

$$[A] = \begin{bmatrix} A_1 \\ \dots \\ A_2 \end{bmatrix}, \quad (3.9)$$

де A_1 – матриця, що має K стрічок і P стовпців (матриця вхідних вершин);

A_2 – матриця, що має $R - K$ стрічок та P стовпців (матриця всіх вершин окрім вхідних).

Введемо до розгляду матрицю-стовпець витрат води за маршрутами

$$[q] = \begin{bmatrix} q_1 \\ q_2 \\ \dots \\ q_p \end{bmatrix}, \quad (3.10)$$

яка має P стрічок і матрицю витрат на входах в мережу

$$[Q] = \begin{bmatrix} Q_1 \\ Q_2 \\ \dots \\ Q_K \end{bmatrix}. \quad (3.11)$$

Тоді можна записати таке матричне рівняння:

$$[A_1][q] = [Q], \quad (3.12)$$

яке фізично показує, що вся стічна вода, що надходить до входів системи, повинна дійти до її виходів.

Кожна споруда СТСВ характеризується своєю пропускнуою здатністю, що можна записати матрицею:

$$[W] = \begin{bmatrix} W_{K+1} \\ W_{K+2} \\ \dots \\ W_R \end{bmatrix}, \quad (3.13)$$

яка має $(R-K)$ рядків. Нумерація елементів матриці пропускних спроможностей $[C]$ повинна відповідати нумерації вершин графа системи водовідведення. Числові значення елементів цієї матриці визначаються конструктивними параметрами споруд [1]. Матрична нерівність

$$[A_2][q] \leq [W], \quad (3.14)$$

враховує вимогу безаварійної роботи кожної споруди, тобто щоб кількість води через неї не перевищувала її пропускну здатність.

При прийнятих припущеннях, а також при очевидній умові

$$q_j \geq 0, \quad (3.15)$$

яка констатує односпрямованість руху води через кожну споруду, система записаних вище рівнянь є математичною моделлю СТСВ. Будь який набір значень $\{q_1, q_2, \dots, q_p\}$, що задовільняє цю систему рівнянь, називається планом транспортування стічних вод. Таких планів, в загальному випадку, існує нескінченно багато. Фізично це означає, що вся стічна вода; надходить в мережу, може бути транспортовано до виходів відповідно до будь-якого плану. Для того, щоб з безлічі можливостей вибрати лише одну, вводять показники якості функціонування мережі. Найкращим буде такий план, який оптимізує показники якості.

Відповідно до прийнятого критерію керування показник якості може бути питомими енерговитратами на транспортування стічної води через мережу.

Будь який маршрут, по якому транспортується одиниця об'єму стічних вод, складається з послідовності пасивних і активних споруд. Оскільки через пасивні споруди стічна вода рухається самопливом, кількість електроенергії на транспортування одиниці об'єму води (питомі енерговитрати) складається з кількості електроенергії, спожитої саме активними спорудами. Отже, кожен j -й маршрут характеризується своїми питомими енергозатратами e_j , які в загальному випадку, залежать від об'єму стічних води, що транспортується по цьому маршруту. Питомі енергозатрати маршрутів, що проходять через аварійні водовипуски, будуть значно більшими, ніж окремих споруд. Це обов'язково треба враховувати під час прогнозування.

Якщо припустити, що СТСВ складається з S насосних станцій, то кожна з них матиме свої питомі енергозатрати на транспортування одиниці об'єму води. Якщо енергетична характеристика всіх насосних станцій описується поліномом другого порядку (випадок 2), що є найскладнішою формою опису, то затрати енергії всією СТСВ можна описати рівнянням [1]:

$$E = \sum_{s=1}^S \left(a_s + b_s \cdot \sum_{j \in S} q_j + c_s \cdot \left(\sum_{j \in S} q_j \right)^2 \right) \quad (3.16)$$

Тоді умова

$$E \Rightarrow \min \quad (3.17)$$

буде критерієм мінімізації споживання електроенергії системою транспортування стічних вод.

У робочих діапазонах подач характеристики КНС з достатньою для вирішення поставленого завдання точністю можна апроксимувати прямими лініями. Це означає, що питомі енергозатрати за кожним маршрутом будуть постійними. Якщо ввести матрицю-рядок питомих енергозатрат

$$B[b_1, b_2, \dots, b_p], \quad (3.18)$$

тоді критерій керування процесом транспортування стічних вод можна записати в матричному вигляді:

$$E = [B][q] \Rightarrow \min. \quad (3.19)$$

Таким чином, при відомих матрицях $[A]$, $[W]$, $[B]$ та $[Q]$ визначається матриця $[q]$ за умови $E \Rightarrow \min$. Це відома задача математичного програмування, вирішити яку можна стандартними засобами. Вихідними даними для розрахунку є витрати води Q_i на всіх K входах мережі. Результатом розрахунку стануть значення q_j (елементи матриці $[q]$) за всіма маршрутами транспортування стічних вод, що гарантують найменші питомі енергозатрати. Завантаження кожного споруди мережі визначається як сума витрат по всіх маршрутах, що проходять чере цю споруду, і обмежується її пропускною здатністю.

Розглянемо СТСВ, яка має таку графоаналітичну форму

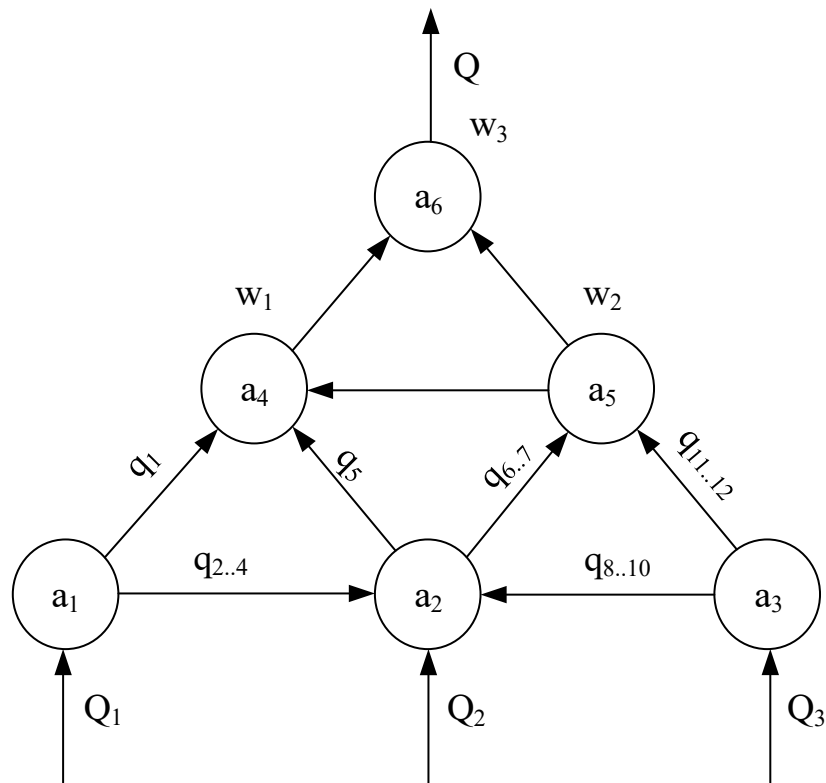


Рисунок 3.1 – Граф СТСВ

На графі СТСВ позначено:

Q_1, Q_2, Q_3 – об'єм води, що подається на первинні споруди водовідведення;

a_1, a_2, \dots, a_6 – стан (працює чи ні) споруди мережі водовідведення;

q_1, q_2, \dots, q_{12} – витрати води по кожному маршруту водовідведення;

w_1, w_2, w_3 – пропускна спроможність споруд водовідведення;

Q – загальний об'єм води, що проходить через СТСВ.

Стрілками на графі позначений можливий потік води між двома спорудами. Припустимо, що всі споруди нашої мережі мають характер транспортування води, що відповідає активному. Тобто вони всі споживають електроенергію. Для побудованої СТСВ $R = 6, P = 12, K = 3, S = R$. Сформуємо її математичну модель. Матриця споруд каналізаційної системи матиме вигляд:

$$[A_2] = \begin{bmatrix} 1 & 1 & 1 & 0 & 1 & 1 & 0 & 1 & 1 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 1 & 0 & 1 & 1 & 0 & 1 & 1 & 1 & 1 \\ 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 \end{bmatrix}. \quad (3.23)$$

Матриця-стовпець витрат води за маршрутами матиме вигляд:

$$[q] = \begin{bmatrix} q_1 \\ q_2 \\ q_3 \\ q_4 \\ q_5 \\ q_6 \\ q_7 \\ q_8 \\ q_9 \\ q_{10} \\ q_{11} \\ q_{12} \end{bmatrix}. \quad (3.24)$$

Матриця витрат на входах в мережу матиме вигляд:

$$[Q] = \begin{bmatrix} Q_1 \\ Q_2 \\ Q_3 \end{bmatrix}. \quad (3.25)$$

Матриця пропускних здатностей споруд мережі матиме вигляд:

$$[W] = \begin{bmatrix} w_1 \\ w_2 \\ w_3 \end{bmatrix}. \quad (3.26)$$

Критерій мінімізації споживання електроенергії отриманої СТСВ запишеться:

$$E = \sum_{s=1}^6 \left(a_s + b_s \cdot \sum_{j \in S} q_j + c_s \cdot \left(\sum_{j \in S} q_j \right)^2 \right). \quad (3.27)$$

В останньому виразі коефіцієнт a характеризує втрати енергії на «холостий хід» каналізаційної споруди. Ці втрати енергії залежать від комунікаційної мережі всередині споруди, матеріалу та діаметру труб, наявності пристроїв плавного запуску насосних агрегатів, якщо це насосні станції тощо. Таким чином, на сучасних каналізаційних спорудах коефіцієнт a буде меншим, а на старих – більшим. Задамося матрицями A , q , Q , W .

Для зручності представлення матриці подамо у табличній формі. Матриця A у табличній формі матиме вигляд:

Таблиця 3.1 – Матриця A у табличній формі

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	
A	1	1	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	1
	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0	0	2
	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1	1	1	3
	1	1	1	0	1	1	0	1	1	0	1	0	4
	0	0	1	1	0	1	1	0	1	1	1	1	5
	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	6

На основі проведеної оптимізації за методом «Узагальненого приведенного градієнта» отримано значення подач кожної з споруд каналізаційної системи та подач кожного з маршрутів системи, при яких досягається мінімум енергетичних затрат на транспортування заданого об'єму рідини. Результат оптимізації для подач Q_1 - Q_2 - $Q_3 = 25$ - 35 - 40 подамо також у табличній формі, він матиме вигляд:

Таблиця 3.2 – Результат оптимізації для подач $Q_1-Q_2-Q_3 = 25-35-40$ у табличній формі

Q1-15, Q2-45, Q3- 40%	Маршрут (j)												qR	E	
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12			
Споруди (i)	1	0,00	0,98	0,95	1,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,30	1,00
	2	0,00	0,42	0,37	0,48	1,00	0,48	0,57	0,42	0,37	0,48	0,00	0,00	0,90	
	3	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,82	0,67	0,89	0,82	1,00	0,80	
	4	0,97	0,77	0,73	0,00	1,00	0,87	0,00	0,77	0,60	0,00	0,77	0,00	0,64	
	5	0,00	0,00	0,78	1,00	0,00	1,00	0,17	0,00	0,68	1,00	0,89	0,69	0,36	
	6	0,97	0,58	0,77	0,87	1,00	0,87	0,97	0,82	0,71	0,87	0,82	0,97	1,00	
qP	0,65	0,76	0,94	0,82	1,00	0,94	0,55	0,94	0,91	0,94	0,97	0,78			

У таблиці 3.2 позначено: «Споруди (i)» – номер споруди каналізаційної системи; i – номер споруди, що відповідає номеру рядка у матриці A; «Маршрут (j)» – номер маршруту транспортування стічних вод; j – номер маршруту, що відповідає номеру стовпця у матриці A; Q_1, Q_2, Q_3 – вхідна подача води на каналізаційні споруди першого рівня; qP – об’єм стоків, що подаються за одиницю часу по P-му маршруту; qR – об’єм стоків, що проходять через R-ту каналізаційну споруду; E – енергетичні затрати на перекачування всіх стоків СТСВ.

Всі величини у таблиці внесено у відносних величинах. Тобто, кожен параметр може змінюватися від нуля до свого номінального або максимального значення. Максимальному значенню буде відповідати значення «1».

Аналогічні дослідження виконаємо для інших значень вхідної дії. Результати розрахунків зведемо у наступні таблиці:

Таблиця 3.3 – Результат оптимізації для подач $Q_1-Q_2-Q_3 = 25-35-40$ у табличній формі

Q1-25, Q2-35, Q3-40%	Маршрут (j)												qR	E	
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12			
Споруди (i)	1	1,00	0,90	0,86	0,93	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,50	0,97
	2	0,00	0,39	0,34	0,44	1,00	0,44	0,23	0,39	0,34	0,44	0,00	0,00	0,70	
	3	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,82	0,67	0,89	0,82	1,00	0,80	
	4	0,97	0,77	0,73	0,00	1,00	0,87	0,00	0,77	0,60	0,00	0,77	0,00	0,64	
	5	0,00	0,00	0,78	1,00	0,00	1,00	0,17	0,00	0,68	1,00	0,89	0,69	0,36	
	6	0,97	0,58	0,77	0,87	1,00	0,87	0,97	0,82	0,71	0,87	0,82	0,97	1,00	
qP	0,90	0,80	0,98	0,86	0,99	0,93	0,44	0,94	0,92	0,93	1,00	0,81			

Таблиця 3.4 – Результат оптимізації для подач $Q_1-Q_2-Q_3 = 35-25-40$ у табличній формі

Q1-35, Q2-25, Q3-40%	Маршрут (j)												qR	E	
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12			
Споруди (i)	1	1,00	0,84	0,79	0,89	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,67	0,95
	2	0,00	0,89	0,78	1,00	0,00	1,00	0,50	0,89	0,79	1,00	0,00	0,00	0,50	
	3	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,82	0,67	0,89	0,82	1,00	0,80	
	4	1,00	0,80	0,75	0,00	0,82	0,90	0,00	0,80	0,62	0,00	0,80	0,00	0,61	
	5	0,00	0,00	0,78	1,00	0,00	1,00	0,31	0,00	0,68	1,00	0,89	0,72	0,39	
	6	0,97	0,58	0,77	0,87	1,00	0,87	0,97	0,82	0,71	0,87	0,82	0,97	1,00	
qP	0,96	0,82	1,00	0,90	0,59	0,90	0,45	0,89	0,88	0,90	0,97	0,79			

Таблиця 3.5 – Результат оптимізації для подач $Q_1-Q_2-Q_3 = 35-35-30$ у табличній формі

Q1-35, Q2-35, Q3-30%	Маршрут (j)												qR	E	
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12			
Споруди (i)	1	1,00	0,84	0,79	0,89	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,67	0,92
	2	0,00	0,00	0,63	0,81	0,00	0,67	1,00	0,72	0,61	0,81	0,00	0,00	0,70	
	3	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,92	0,76	1,00	0,92	0,70	0,63	
	4	0,97	0,77	0,73	0,00	1,00	0,79	0,00	0,77	0,68	0,00	0,77	0,00	0,64	
	5	0,00	0,00	0,78	1,00	0,00	0,74	0,00	0,00	0,68	1,00	0,89	0,55	0,36	
	6	0,97	0,82	0,77	0,87	1,00	0,87	0,97	0,82	0,72	0,87	0,82	0,97	1,00	
qP	0,90	0,75	1,00	0,92	0,62	0,81	0,51	0,86	0,88	0,88	0,89	0,57			

Якщо проаналізувати результати оптимізації потоків стічних вод між спорудами СТСВ, то можна побачити такі особливості:

1. Остання споруда СТСВ (a_6) завжди працює з однаковою продуктивністю, що відповідає загальній подачі всієї системи, тобто $Q_1 + Q_2 + Q_3$.

2. Зі збільшенням подачі на каналізаційні споруди першого рівня збільшується їх продуктивність і завантаженість. Зі зменшенням подачі – їх завантаженість зменшується.

3. Коли змінюється подача насосних станцій загальна кількість електроенергії, що вони споживають, також змінюється і передбачити характер цієї зміни важко. Більший вплив на загальне споживання електроенергії мають малоефективні насосні станції великої потужності.

Таким чином, для того, щоб підвищити енерго ефективність роботи СТСВ необхідно на стадії проектування вирішувати задачу оптимізації її подач на окремих спорудах. Важливий вплив на ефективність роботи системи має запроєктована пропускна спроможність її ділянок та споруд. Як бачимо, за результатами розрахунків певної СТСВ, діапазон регулювання продуктивності кожної насосної станції може коливатися в широких межах. Для кращої ефективності він має бути вузьким і неглибоким. Тому задачу оптимізації роботи СТСВ можна доповнити і обмеженням на діапазон регулювання продуктивності насосних станцій.

За допомогою вирішення задачі оптимізації роботи окремих споруд СТСВ можна досягти зменшення споживання електроенергії, прискорити процес прийняття рішення про роботу системи в аварійних ситуаціях, посприяти у виборі елементів системи на стадії проектування тощо. Крім того, використовуючи досвід моделювання таких систем, можна алгоритмізувати процес прийняття рішення диспетчером. Це дозволить також підвищити надійність роботи системи, оскільки таке рішення буде позбавлене суб'єктивної помилки.

4 АЛГОРИТМ РОБОТИ СИСТЕМИ ВОДОВІДВЕДЕННЯ ВЕЛИКОГО МІСТА

З математичної постановки задачі випливає укрупнений алгоритм управління системою водовідведення міста як послідовне виконання наступних операцій:

1. Отримати дані про значення витрат води на входах системи водовідведення, передати їх на пункт управління і записати в оперативну пам'ять комп'ютера.

2. Вирішити задачу математичного програмування, використовуючи в якості вихідних даних значення витрат води на входах системи. Результатом розв'язання буде значення витрат, по кожному каналу транспортування стічних вод.

3. Визначити витрату води через кожен насосну станцію каналізаційної мережі.

4. Передати на автоматизовані органи управління, що розташовані у місцях розгалуження транспортних магістралей, інформацію про становище регулюючих органів, що забезпечують перерозподіл потоків стічних вод відповідно до результатів розв'язання оптимізаційної задачі.

5. Забезпечити підтримання потрібних продуктивностей насосних станцій на значеннях, що відповідають розв'язкам задачі оптимізації.

У процесі оперативного управління СТСВ відповідно до запропонованого алгоритму, викладена послідовність операцій циклічно повторюється. Періодичність повторення визначається в основному, динамікою надходження стічних вод в систему. Обгрунтовано, що для реальних умов періодичність повторення зазначених операцій становить величину порядку однієї години.

В даний час недостатня технічна оснащеність систем водовідведення певної частини великих міст не дозволяє в повній мірі реалізувати

автоматичне керування ними. Відсутність необхідної кількості контрольно-вимірювальної апаратури, автоматичних запірно-регулюючих пристроїв, встановлених на мережі, а також спеціальних каналів зв'язку для передачі вихідної і командної інформації, виключають можливість оперативного управління об'єктом за принципом замкнутих систем регулювання.

Для цих умов можна використати відомий принцип програмного управління СТСВ, який використовує особливість систем водовідведення великих міст. Витрати стічної води на входах СТСВ мають добову періодичність. Причому протягом кожної доби (за винятком, можливо, неробочих днів) графіки зміни витрати води в часі по кожному входу практично повторюються. Це дає можливість вважати їх детермінованими, що, в свою чергу, дозволяє заздалегідь розрахувати оптимальний (квазіоптимальний) потокорозподіл і комутувати наявну на мережі запірно-регулюючу апаратуру та насосні агрегати. Це все відбувається в функції часу.

Програмне управління мережею є примусовим, і дозволяє використати можливість оптимального управління лише частково. Однак, якщо управління системами водовідведення великих міст за розробленим алгоритмом повністю автоматизоване – то це стає передумовою швидкого підвищення ефективності роботи СТСВ.

Модифікований алгоритм оперативного управління СТСВ можна застосувати під час аварійних ситуацій, коли пошкоджену ділянку мережі необхідно якомога швидше розвантажити, щоб запобігти (або мінімізувати) виливання стічної води на поверхню і таким чином зменшити економічний і екологічний збиток від аварії. Це досягається відповідною організацією програмного забезпечення роботи комп'ютера, при якій оператор має можливість змінювати значення констант пропускних спроможностей споруд, що зберігаються в пам'яті машини. Заміна значення пропускної здатності пошкодженого споруди з доаварійної (проектної) па післяава-рійну (можливо, нульову -- при повному виході споруди з ладу) змушує комп'ютер

перерозподіляти потоки стічних вод таким чином, щоб локалізувати аварію. При цьому, якщо необхідно, завантажуються маршрути, що проходять через аварійні водовипуски, до яких залучаються насосні станції з завідоми завищеними значеннями питомих витрат енергії.

Для систем високої розмірності час вирішення комп'ютером завдання математичного програмування може бути занадто великим з точки зору оперативного управління об'єктом. З метою прискорення процедури розрахунку оптимальних задач великої розмірності можна використати відомі принципи декомпозиції. За яким розв'язання основної задачі зводиться до послідовного розв'язання кількох задач меншої розмірності. Задачі меншої розмірності формуються шляхом застосування процедури пошуку пасивних підсистем. Де пасивні підсистеми відповідають тим ділянкам мережі, які не впливають на інші підсистеми. Вони визначаються за вихідним графом функціонування каналізаційної системи міста.

5 КОМП'ЮТЕРНЕ МОДЕЛЮВАННЯ РОБОТИ КАНАЛІЗАЦІЙНОЇ НАСОСНОЇ СТАНЦІЇ

5.1 Моделювання розімкненої системи електропривода

Для побудови регульовальних характеристик потрібно розробити комп'ютерну модель електропривода. Виконаємо це в математичному середовищі Matlab Simulink.

Комп'ютерна модель електропривода, зібрана в Matlab Simulink, зображена на рис. 5.1.

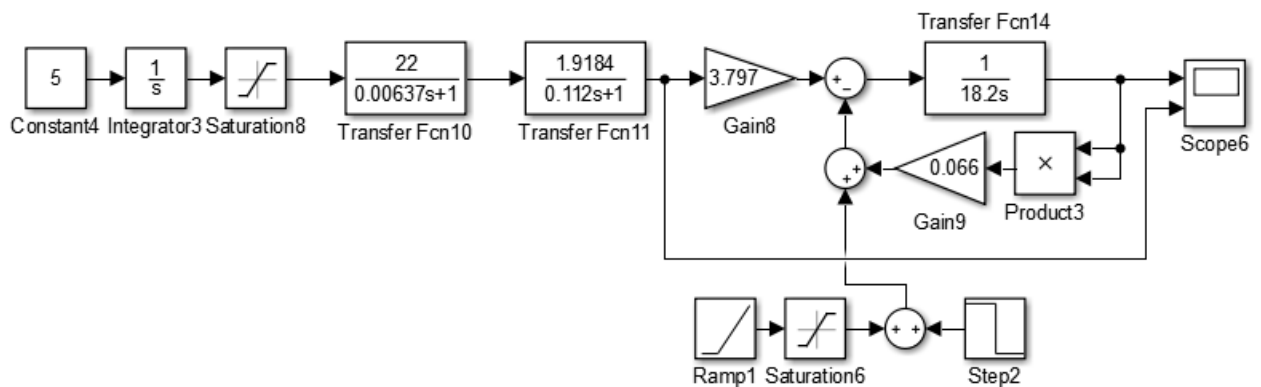


Рисунок 5.1 – Комп'ютерна модель двигуна з силовим перетворювачем при прямому пуску на навантаження, що створюється насосом

На комп'ютерній моделі позначено: Constant4 – джерело напруги керування 5 В; Integrator 3 – ідеальна інтегруюча ланка; Saturation 8 – елемент обмеження сигналу; Transfer Fcn10 – передавальна функція ПЧ; Transfer Fcn11 – передавальна функція статора двигуна; Gain 8 – передавальна функція ротора двигуна; Transfer Fcn 14 – передавальна функція основного рівняння руху; Gain 9 – блок підсилення сигналу; Product 3 – елемент

піднесення сигналу до другого степеню; Ramp1 – елемент, що задає лінійну зміну сигналу від 0 до безмежності з певною інтенсивністю; Step2 – блок, що задає стрибкоподібний сигнал в будь який момент часу.

Напруга керування 5 В задає інтенсивність зміни напруги живлення двигуна. Її величина обрана, виходячи з міркувань, що за 2 с. на двигун має податися номінальна напруга живлення. При інтенсивності зміни напруги 5 В/с вийде, що за 2 с. напруга стане рівною 10 В. Таким чином, на силовий перетворювач буде подано номінальне значення напруги керування, внаслідок чого на двигуні сформується номінальне значення напруги живлення.

Інтегруюча ланка в комп'ютерній моделі необхідна для того, щоб виконати інтегрування вхідного сигналу. Якщо у якості вхідного сигналу буде постійна величина (напруга керування 5 В), то на виході інтегратора виникне лінійна зміна сигналу від 0 до безмежності з інтенсивністю 5 В/с. Таким чином, інтегратор виконає функцію плавної зміни вхідного сигналу.

Елемент обмеження сигналу необхідний для обмеження сигналу на виході інтегруючого елемента, щоб напруга росла не до безмежності, а лише до номінального значення. Таким номінальним значенням в роботі прийнято сигнал 10 В. Таким чином, обмеження сигналу на виході елемента обмеження виконується на рівні ± 10 В.

Поєднання елементів Constant4, Integrator 3 та Saturation 8 є найпростішим задавачем інтенсивності.

ПЧ представляється аперіодичною ланкою першого порядку [22], оскільки така форма представлення є найбільш поширеною і зручною. Вона враховує підсилення елемента та затримку сигналу під час його роботи. Підсилення задається чисельником блоку, а затримка сигналу – сталою часу біля змінної Лапласа у знаменнику.

Передавальна функція статора двигуна має вигляд [20]:

$$W_e(p) = \frac{k_{ui}}{T_e p + 1}, \quad (5.1)$$

де p – оператор Лапласа.

Отже, отримаємо:

$$W_e(p) = \frac{1,92}{0,112p + 1}.$$

Передавальна функція ПЧ має вигляд [22]:

$$W_{trn}(p) = \frac{k_{trn}}{T_{trn}p + 1} = \frac{22}{0,00637p + 1}. \quad (5.2)$$

Передавальна функція ротора двигуна має вигляд підсилювача [20] з коефіцієнтом підсилення $k_{im} = 3,797$.

Передавальна функція на основі основного рівняння руху має вигляд:

$$W_m(p) = \frac{1}{J_p} = \frac{1}{18,2p}. \quad (5.3)$$

Для того, щоб навантаження на електропривод мало «вентиляторний» характер скористаємося квадратичною залежністю між моментом насоса і його швидкістю обертання:

$$M_d = k_{mw} \cdot \omega_d^2, \quad (5.4)$$

де M_d – момент на валу двигуна, Нм;

k_{mw} – коефіцієнт пропорційності між моментом навантаження насоса і його швидкістю обертання, Нмс/рад;

ω_d – швидкість обертання робочого колеса насоса (двигуна), рад/с.

Виходячи з номінальних значень моменту на валу двигуна та швидкості обертання можна знайти коефіцієнт пропорційності за формулою:

$$k_{mw} = \frac{M_{dn}}{\omega_{dn}^2} = \frac{1602}{156^2} = 0,066 \text{ (Нмс/рад)}. \quad (5.5)$$

Для імітації накиду та скиду навантаження в комп'ютерній моделі використано блоки Ramp1, Saturation6 та Step2. Першими двома задається лінійне наростання моменту навантаження з інтенсивністю 1000 Нм/с починаючи з 5 с. і обмеження на рівні 1000 Нм. Третім блоком задається скид навантаження 1000 Нм в 8 с.

Результати моделювання пуску електропривода на статичне навантаження, що створюється насосом представимо на рис. 5.2.

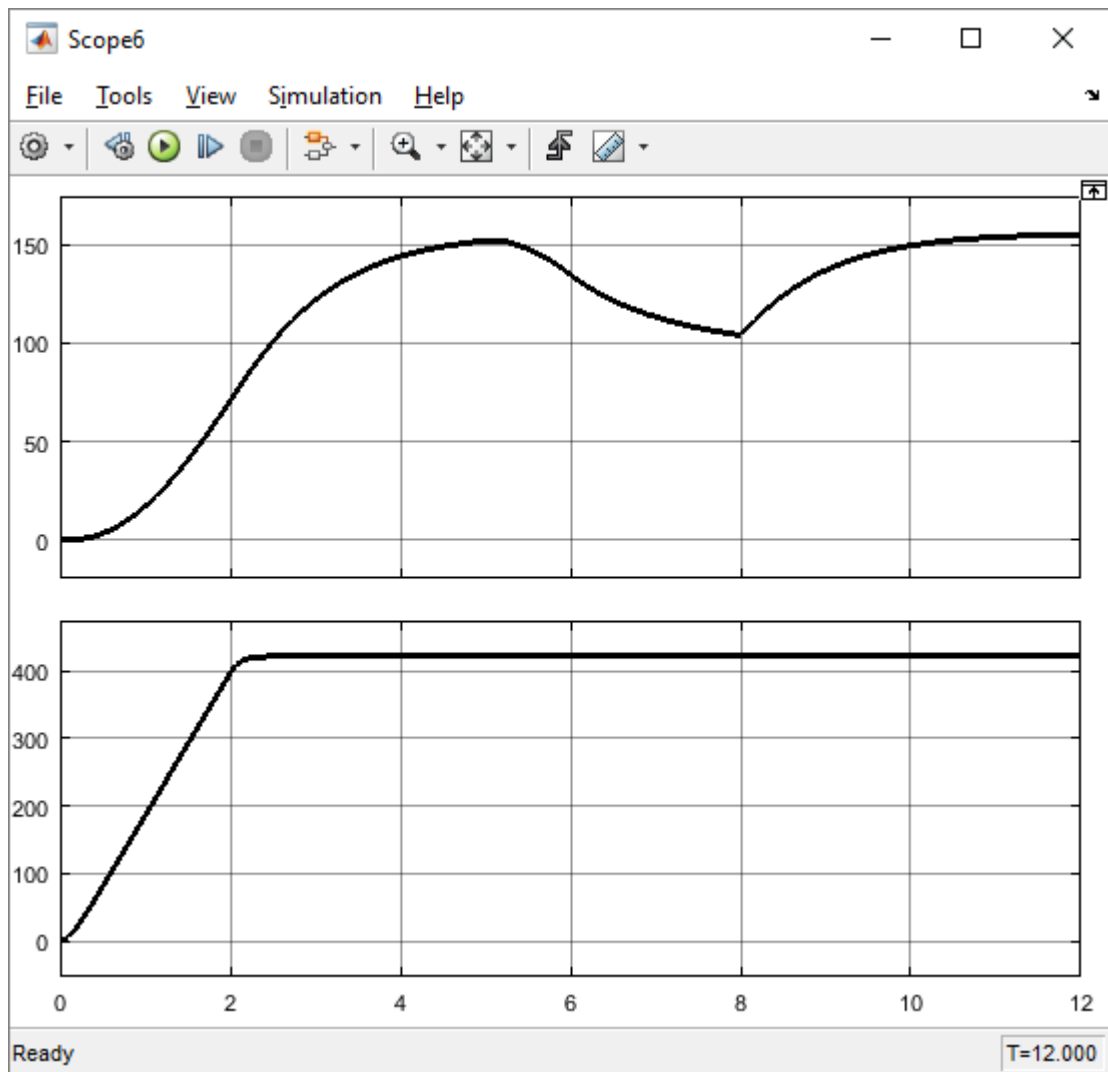


Рисунок 5.2 – Результати моделювання прямого пуску електропривода на навантаження, що створюється насосом

З результатів моделювання видно, що електропривод розганяється за 5 с без перерегулювань по швидкості і струму двигуна. У моменти накиду навантаження швидкість падає, а при скиді навантаження – зростає. Струм під час накиду та скиду навантаження залишається без змін.

Оскільки система електропривода з ПЧ не передбачає регулювання швидкості обертання в стаціонарному режимі, то інші регулювальні характеристики при зміні напруги живлення двигуна будувати не доцільно.

$$W_s(p) = \frac{0,00343}{0,02p + 1}.$$

В результаті моделювання такої системи отримаємо графіки перехідних процесів частоти обертання двигуна та його струму. Графіки зображені на рис. 5.4.

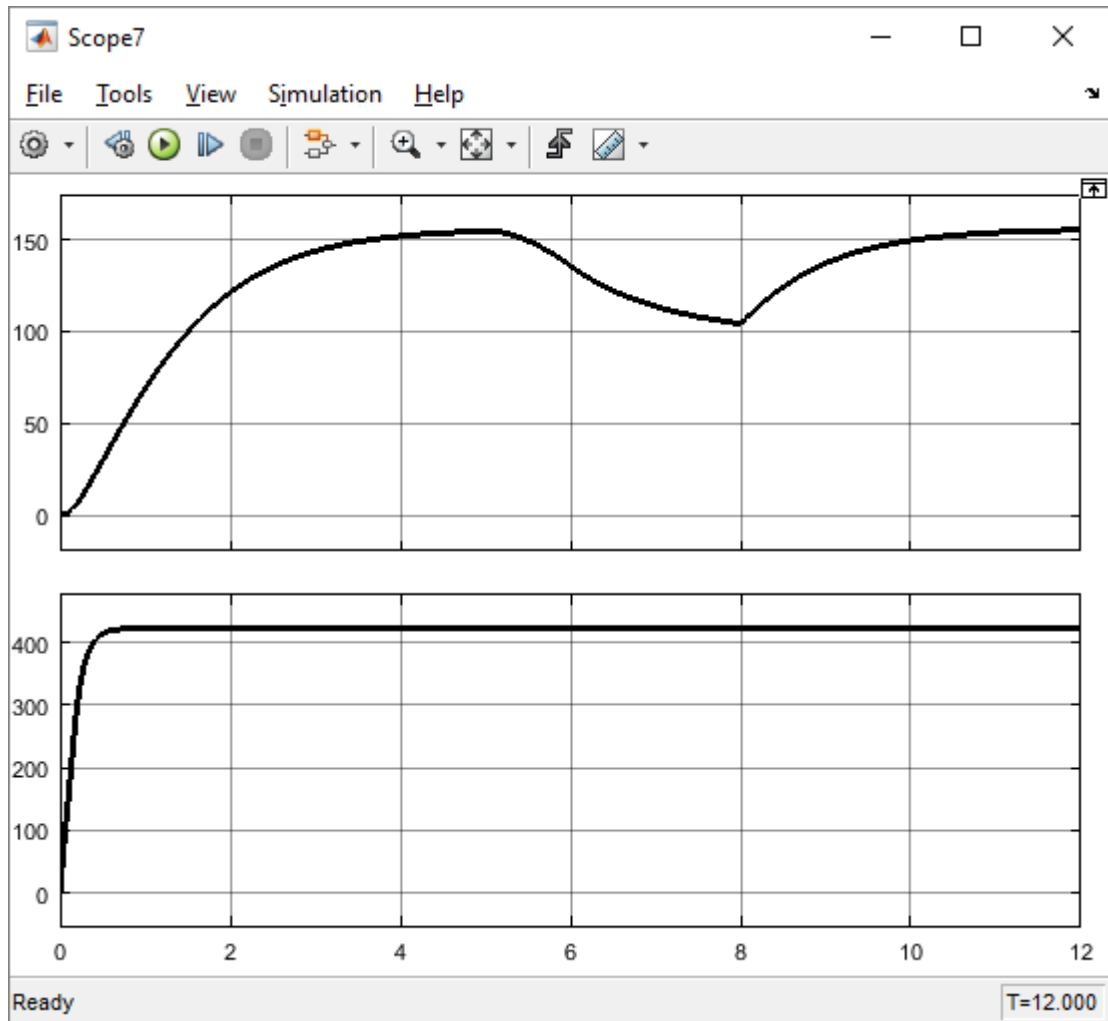


Рисунок 5.4 – Графіки перехідних процесів частоти обертання двигуна (вікно зверху) та його струму (вікно знизу) при зворотному зв'язку за струмом статора двигуна

З графіків видно, що система відпрацьовує задаючу дію, електропривод розганяється за 5 с. без перерегулювань за швидкістю і струмом двигуна.

Виконаємо порівняння графіків без зворотного зв'язку за струмом і зі зворотним зв'язком. Графіки зображені на рис. 5.5.

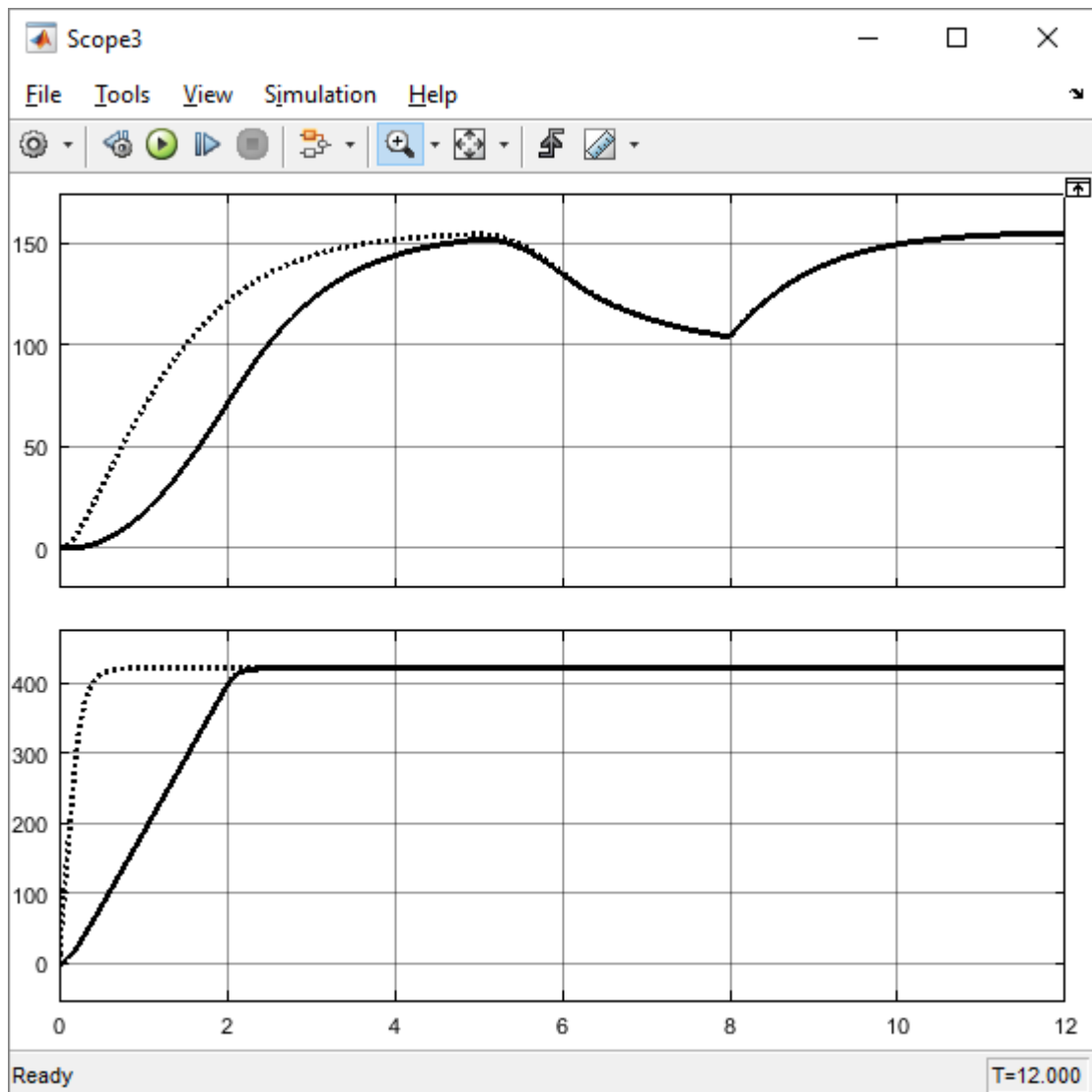


Рисунок 5.5 – Порівняння графіків перехідних процесів швидкості двигуна (верхнє вікно) та його струму (нижнє вікно) зі зворотним зв'язком за струмом (штрихова лінія) і без зворотного зв'язку (суцільна лінія)

З результатів порівняння можна зробити висновок, що наявність зворотного зв'язку за струмом статора двигуна пришвидшує вихід електропривода на ustalений режим роботи. При цьому пускових коливань струму не виникає.

Отже, система добре відпрацює сигнал задання, електропривод працює без перерегулювань. Можна зробити висновок про вірність виконаних розрахунків.

5.3 Моделювання роботи СТСВ

Для моделювання руху води в однорідному призматичному каналі з вільною поверхнею можна скористатися системою рівнянь Сен-Венана, яка має вигляд

$$\begin{cases} \frac{\partial h}{\partial l} + \frac{v}{g} \cdot \frac{\partial v}{\partial l} + \frac{1}{g} \cdot \frac{\partial v}{\partial t} = i_0 - J, \\ b \cdot v \cdot \frac{\partial h}{\partial l} + b \cdot \frac{\partial h}{\partial t} + s \cdot \frac{\partial v}{\partial l} = 0, \end{cases} \quad (5.7)$$

де v – швидкість води в каналі, яка вважається однаковою на всьому перерізі каналу;

h – глибина потоку води;

s – площа робочого перерізу каналу;

b – ширина вільної поверхні потоку;

g -- прискорення сили тяжіння;

i_0 -- значення нахилу каналу;

J – нахил тертя;

l -- повздожня координата;

t - час.

Точне інтегрування рівнянь Сен-Венана неможливо. Великий внесок у розробку наближених аналітичних і графоаналітичних методів їх розв'язання внесли, зокрема. М. Д. Чертоусов, В. Л. Александров, В. В. Волчкова, Л. І. Висоцький, І. А. Кибель, І. М. Константинов, В. І. Константинов,

Н. Е. Кочні, Е. Е. Маковській, А. Н. Петрашев, І. А. Петров,
Б. Л. Рождественській, І. З. Френкель, Р. Р. Чугаєв, Н. Н. Яненко та ін.

Аналіз режимів роботи каналів СТСВ показав, що в реальних умовах можна обмежитися розглядом малих відхилень змінних від усталеного режиму. Це дозволяє лінеаризувати рівняння Сен-Венана і використовувати для їх аналізу математичний апарат теорії лінійних систем.

Лінеаризація рівнянь Сен-Венана поблизу режиму встановленого рівномірного руху води ($v = \text{const}$; $h = \text{const}$; $\frac{\partial h}{\partial l} = 0$; $\frac{\partial v}{\partial l} = 0$; $\frac{\partial h}{\partial t} = 0$; $\frac{\partial v}{\partial t} = 0$) дає можливість отримати лінійну відносно приростів систему рівнянь:

$$\begin{cases} \frac{\partial \Delta h}{\partial l} + i_0 \cdot \left(\frac{2b_0}{s_0} - \frac{x}{h_0} \right) \cdot \Delta h + \frac{v_0}{g} \cdot \frac{\partial \Delta v}{\partial l} + \frac{1}{g} \cdot \frac{\partial \Delta v}{\partial t} + \frac{2i_0 \Delta v}{v_0} = 0, \\ b_0 \cdot v_0 \cdot \frac{\partial \Delta h}{\partial l} + b_0 \cdot \frac{\partial \Delta h}{\partial t} + s_0 \cdot \frac{\partial \Delta v}{\partial l} = 0, \end{cases} \quad (5.8)$$

де індекс 0 вказує на те, що значення змінної розраховується у «режимній» точці;

x – гідравлічний показник русла.

Якщо виконати над отриманою системою рівнянь перетворення Лапласа, то можна отримати таке диференціальне рівняння другого порядку

$$\left(\frac{v_0 b_0^2}{g s_0} - 1 \right) \frac{d^2 H}{dl^2} + \left(\frac{i_0 x}{h_0} + \frac{2v_0 b_0}{g s_0} p \right) \frac{dH}{dl} + \left(\frac{b_0}{g s_0} p^2 + \frac{2i_0 b_0}{v_0 s_0} p \right) H = 0. \quad (5.9)$$

де H – зображення функції приросту рівня води в просторі Лапласа, що має вигляд:

$$H = H(p, l) = \int_0^{\infty} \Delta h(t, l) \cdot e^{-pt} dt. \quad (5.10)$$

Такий вигляд розв'язку системи рівнянь Сен-Венана дозволяє отримати передавальну функцію каналу за рівнем води і проаналізувати її. Власне це зроблено у роботі [1] і отримано, що канал, як динамічне ланка, є своєрідним фільтром нижніх частот з дуже малою пропускною здатністю. Частота зрізу, що дає уявлення про фільтруючих властивості каналу, є функцією його геометричних параметрів і значень змінних в "режимній" точці. Обчислена для типових каналів, що входять в СТСВ як об'єкт оперативного управління, вона становить величину близько 10^{-3} с^{-1} . Це дає підстави вважати, що конструкція каналів каналізаційної мережі теоретично обмежує можливість коливання рівня води в них верхньою межею одне коливання за 1,5 -- 2 години.

Інші експерименти, проведені над конкретними СТСВ підтверджують, що змінна складова рівня води в каналізаційному каналі становить всього 10% від значення постійної складової. Якщо знехтувати гармоніками величини рівня води в каналі, вище третьої, то отримаємо, що частота зміни рівня обмежена величиною $2,18 \cdot 10^{-4} \text{ с}^{-1}$. Причому ця величина має такий самий порядок, як і частота швидкості зміни витрат.

Відомо також, що при нахилі трубопроводу порядку 10^{-3} значення членів рівняння Сен-Венана, що мають похідні, мають порядок 10^{-5} , що дозволяє ними знехтувати. Це призводить до виконання рівності $i_0 = J$, що відповідає рівномірному усталеному руху води в каналі.

Таким чином, проведені експерименти та теоретичні дослідження підтверджують властивість статичності СТСВ чи близьку до неї (квазістатичності). Це дає можливість під час побудови математичної моделі каналів не враховувати похідних як по часу, так і по повздожній координаті. Тобто, можна знехтувати динамічними процесами, що відбуваються в каналах, і оперувати усталеними потоками.

Таким чином, трансцендентну форму передавальної функції гідравлічного каналу, розв'язок якої важко отримати у аналітичному вигляді,

можна замінити дробово-раціональною функцією з запізненням. Такий підхід, який висвітлений в роботах Е. Е. Маковського та В. В. Волчкової, дозволяє суттєво спростити математичний апарат аналізу безнапірних гідравлічних систем.

Аналіз властивостей перехідної характеристики, отриманої з системи рівнянь Сен-Венана, дозволяє отримати наближений вираз для передавальної функції гідравлічного каналу. Ця передавальна функція має вигляд:

$$W_b(p,l) = e^{-pt} \cdot \frac{k_1 T p + 1}{T p + 1}, \quad (5.11)$$

де τ , T , k_1 -- функції параметрів каналу.

5.4 Дослідження електропривода на стійкість керування

Стійкість системи можна дослідити за її частотними характеристиками.

Щоб знайти частотні характеристики треба розрахувати загальну передавальну функцію електропривода. Виконаємо це в математичному пакеті Mathcad.

Розрахунок загальної передавальної функції системи електропривода представлено в Додатку Б бакалаврської роботи на рис. Б3.

Загальна передавальна функція електропривода має вигляд:

$$W(s) = \frac{1,5 \cdot 10^{25} \cdot s + 7,48 \cdot 10^{26}}{1,0 \cdot 10^{21} \cdot s^3 + 1,57 \cdot 10^{23} \cdot s^2 + 1,23 \cdot 10^{25} \cdot s}. \quad (5.12)$$

Для побудови частотних характеристик скористаємося можливостями математичного середовища Matlab. В командному вікні програми введемо

отриману передавальну функцію. Зовнішній вигляд вікна програми з введеною функцією зобразимо на рис. 5.6.

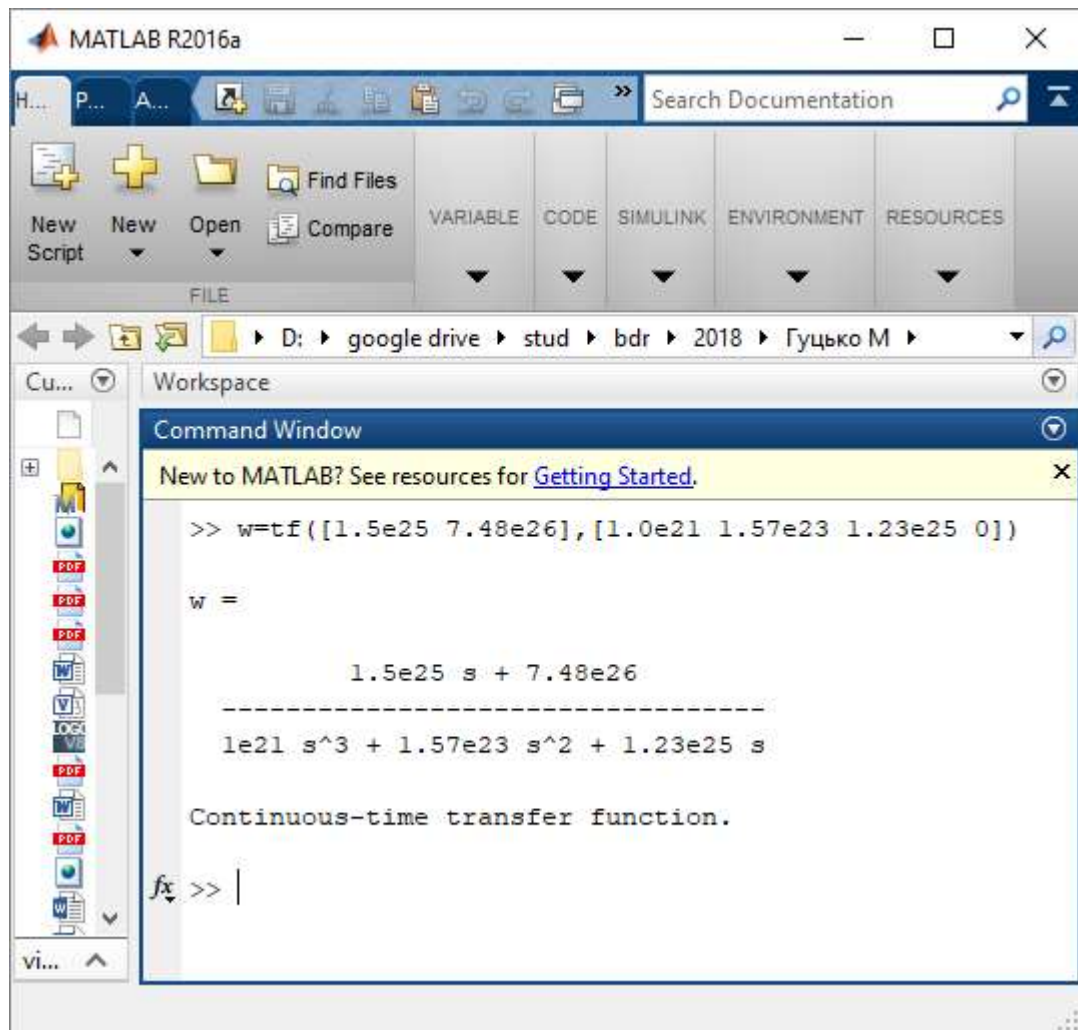


Рисунок 5.6 – Зовнішній вигляд вікна програми Matlab з введеною передатною функцією електропривода

Застосувавши до отриманої передатної функції команду побудови частотних характеристик отримаємо логарифмічну амплітудо-частотну та фазочастотну характеристики. Зобразимо їх на рис. 5.7.

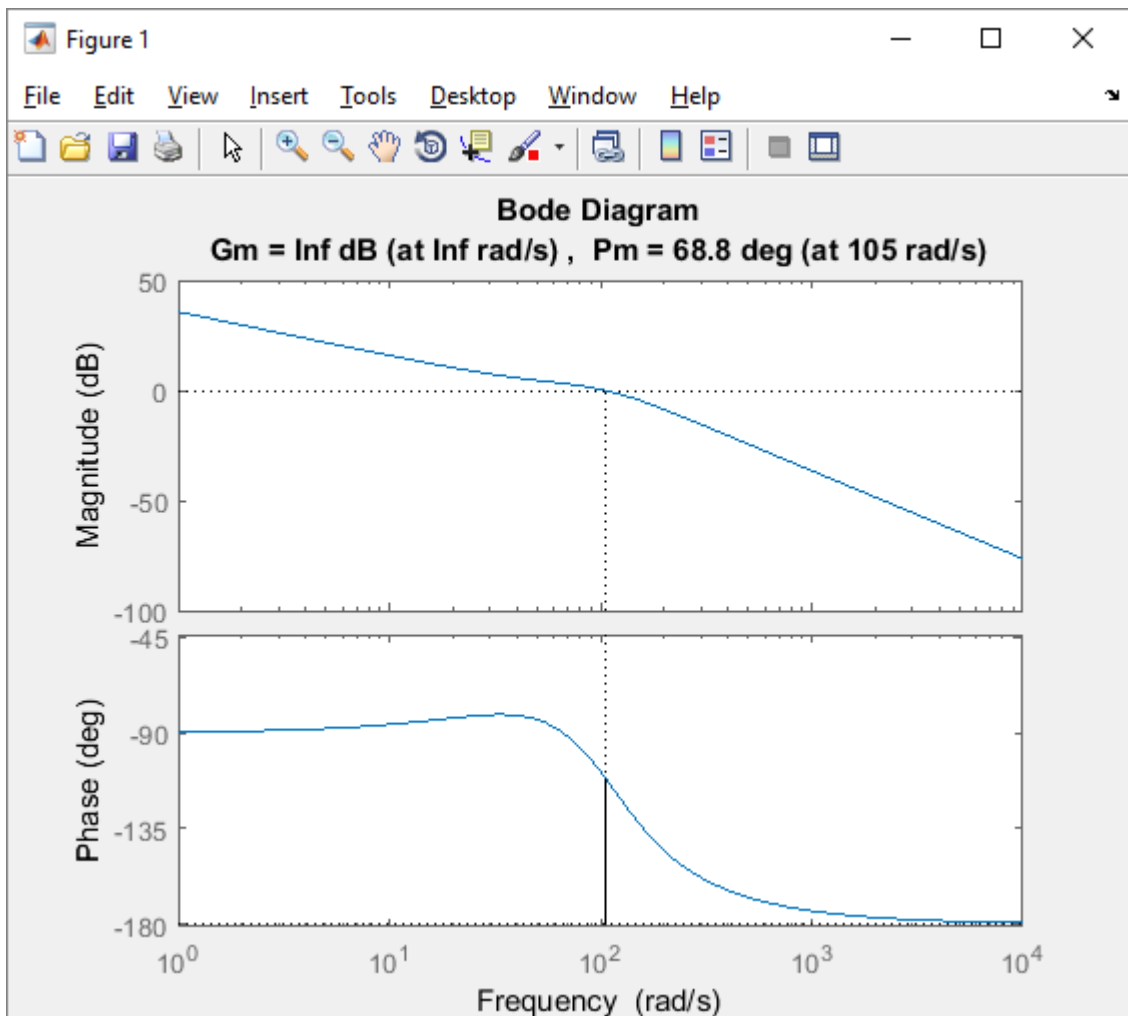


Рисунок 5.7 – Логарифмічна амплітудо-частотна (вікно зверху) та фазочастотна (вікно знизу) характеристики електропривода

З частотних характеристик видно, що частота зрізу системи (частота, при якій амплітудочастотна характеристика перетинає вісь) буде меншою за критичну (частота, при якій фазочастотна характеристика перетинає значення -180). Отже система електроприводу буде стійкою в частотній області.

Оскільки система стійка, то можна знайти її запаси стійкості. Перевагою побудови частотних характеристик в Matlab є можливість одночасного знаходження запасів стійкості. Вони зазначаються зверху над побудованими характеристиками. Запас стійкості по амплітуді безмежний, а по фазі дорівнює 68,8 градусів.

Отже розрахована система буде стійкою в частотній області і має безмежний запас стійкості за амплітудою.

5.5 Комп'ютерне моделювання роботи системи керування каналізаційної насосної станції

Система керування каналізаційної насосної станції реалізується у ПЛК під виглядом програми. Побудуємо цю програму для наших умов з врахуванням всіх перелічених особливостей роботи станції.

У якості ПЛК використаємо програмоване логічне реле Logo Siemens, а для його програмування – середовище Logo Soft Comfort V8. Зовнішній вигляд вікна програми зобразимо на рис. 5.8.

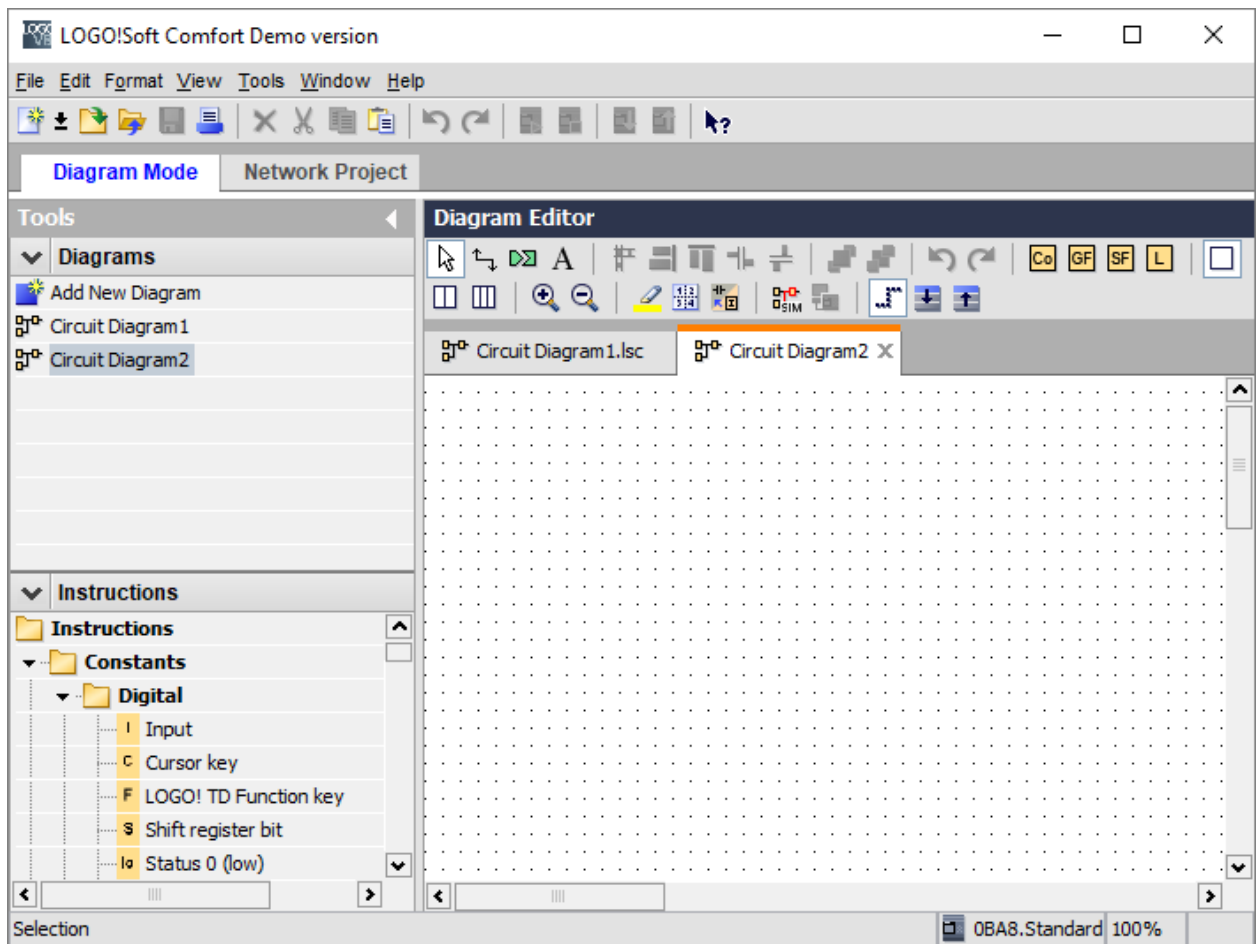


Рисунок 5.8 – Зовнішній вигляд вікна програмного середовища Logo Soft Comfort V8

У лівій частині вікна програмного середовища (див. рис. 5.8) знаходиться бібліотека елементів. Для написання програми можна використати блокову мову програмування FBD, яка є більш інтуїтивно зрозумілою і простою. Програмування виконується шляхом перенесення тих чи інших блоків на поле схеми і з'єднання їх між собою.

Для роботи системи керування необхідно визначитися з вхідними і вихідними сигналами системи. З функціональної схеми насосної станції випливає, що на вхід ПЛК подається сигнал режиму роботи (ручний чи автоматичний) і сигнали сенсорів рівня. На виході ПЛК формується сигнал запуску основного насосного агрегату, резервного насосного агрегату та сигнал аварії. Отже, програма міститиме 5 входів і три виходи.

У бібліотеці елементів програми є багато функціональних груп блоків, які дозволяють працювати з цифровими сигналами, аналоговими сигналами, часом, імпульсними сигналами тощо. Для виконання порівнянь можна використовувати компаратори. Для логічних операцій існує бібліотека логічних елементів.

Програма роботи системи керування каналізаційною насосною станцією зображена на рис. 5.9.

Програмне середовище Logo Soft Comfort V8 дозволяє давати коментарі безпосередньо на полі схеми. Кожен вхідний та вихідний елемент підписано на полі схеми (див. рис. 5.9). Зазначимо лише головні з них:

- I1 – сенсор нижнього рівня води в накопичувальному резервуарі;
- I2 – сенсор спрацювання основного насоса;
- I3 – сенсор спрацювання резервного насоса;
- I4 – сенсор верхнього рівня;
- Q1 – вихідний сигнал запуску першого насоса;
- Q2 – вихідний сигнал запуску другого насоса;
- Q3 – вихідний сигнал аварії насосної станції.

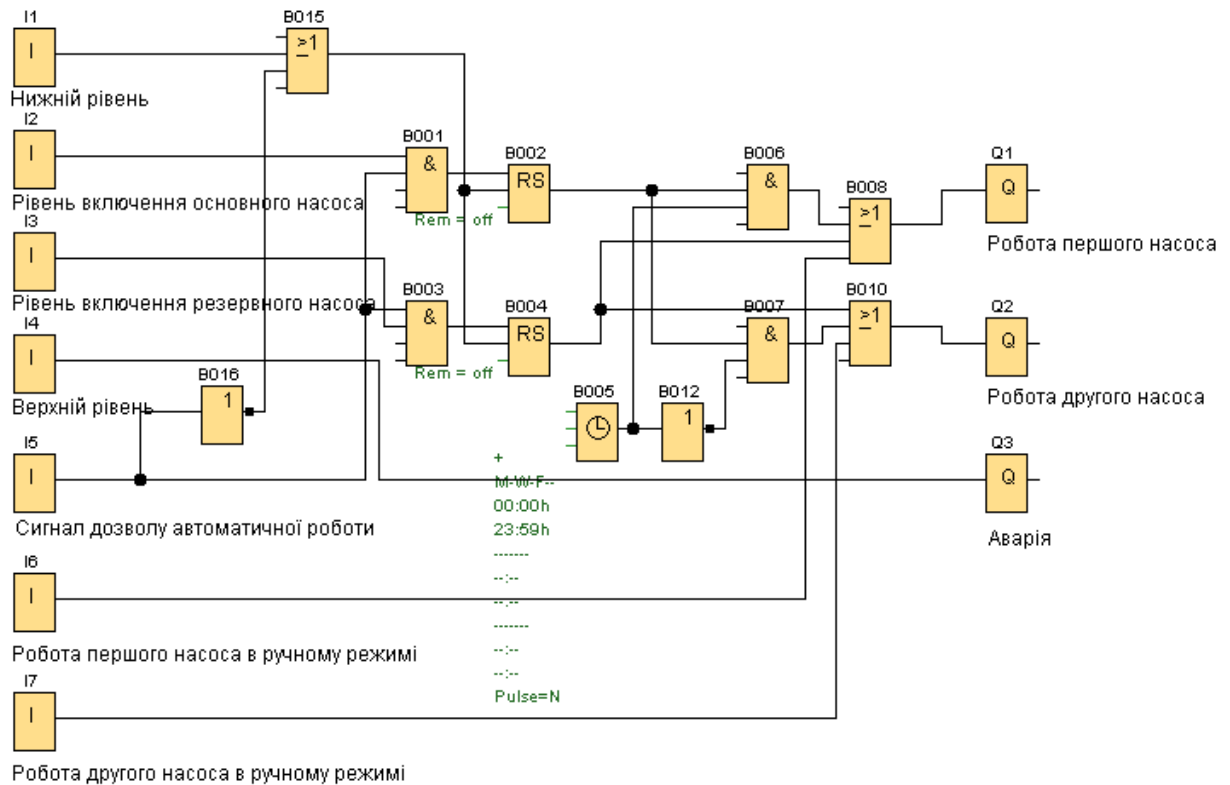


Рисунок 5.9 – Програма роботи системи керування каналізаційною насосною станцією в програмному середовищі Logo Soft Comfort

Чергування насосів виконується з використанням тижневого таймера В005 (див. рис. 5.9). Таймер налаштований таким чином, що у понеділок, середу та п'ятницю основним буде перший насос, а у інший час – він буде резервним.

Програма побудована таким чином, що спочатку вмикається основний насос, а потім резервний. При зникненні команди дозволу автоматизованої роботи I5 обидва насоси вимикаються.

Програма передбачає також можливість ручного керування з допомогою входів I6 та I7. При цьому I6 буде запускати перший насос в ручному режимі, а I7 – другий. Для зупинки насосів необхідно обнулити сигнали I6 та I7.

Програмне середовище Logo Soft Comfort V8 дозволяє перевірити працездатність програми шляхом комп'ютерного моделювання. Цей режим називається симуляцією. На рис. 5.10 зображено вікно симуляції програми.



Рисунок 5.10 – Режим симуляції програмного середовища Logo Soft Comfort V8

Під час запуску процесу симуляції активація того чи іншого вхідного чи вихідного елемента підсвічується. Вхідні елементи підсвічуються червоним кольором, а вихідні жовтим.

За результатами симуляції можна зробити висновок про правильність роботи програми.

6 ЕКОНОМІЧНА ЧАСТИНА

Система оптимізації потоків розподілу стічних вод СТСВ дозволить зменшити споживання електроенергії та підвищити ефективність її роботи.

При співставленні варіантів технічних рішень по впровадженню нових видів обладнання і технологічних процесів використовують метод порівняльної економічної ефективності.

Мінімум приведених витрат визначається за формулою:

$$Z = C + E_n \cdot K, \quad (6.1)$$

де C – річні експлуатаційні затрати, грн;

E_n – нормативний коефіцієнт ефективності ($E_n=0,2$);

K – капітальні вкладення, грн.

Річний економічний ефект визначається за формулою:

$$EE = E_n(K_1 - K_2) - (C_1 - C_2), \quad (6.2)$$

де індекси "1" та "2" відносяться до базового і нового варіантів відповідно.

Економічна ефективність визначається за формулою:

$$T_{ок} = \frac{\Delta K}{\Delta C} = \frac{K_2 - K_1}{C_1 - C_2}, \quad (6.3)$$

де $T_{ок}$ – термін окупності додаткових капітальних затрат.

6.1 Визначення капітальних вкладень

Кошторис на обладнання для базового і нового варіантів наведений в таблиці 6.1. При складанні кошторису враховувалось, що транспортні витрати складатимуть 7% від вартості обладнання, а вартість монтажних робіт 10 % від вартості обладнання з транспортними витратами.

Таблиця 6.1 – Визначення кошторису витрат для нового і старого варіантів

№ п/п	Найменування	Кіл.	Ціна за одиницю	Вартість	
				базова	Вартість нова
1	Двигун АИР 355 S4 потужністю 250 кВт	1	0	0	0
2	Силовий перетворювач	1	554048	0,0	554048,0
3	Система керування	1	-	55404,8	55404,8
4	Допоміжні матеріали (провідники, скоби, інструмент)		-	27702,4	27702,4
5	Вартість обладнання			83107,2	637155,2
6	Транспортні витрати (7%)			5817,5	44600,9
7	Вартість всього			88924,7	681756,1
8	Монтажні роботи (10%)			8892,5	68175,6
9	Капітальні вкладення всього			97817,2	749931,7

Згідно з табл. 6.1 необхідні капіталовкладення для базового варіанту електропривода становлять $K_b = 97817,2$ грн, а для нового – $K_n = 749931,7$ грн.

6.2 Розрахунок основного фонду заробітної плати

6.2.1 Визначення чисельності персоналу

Визначення чисельності основного виробничого та ремонтного персоналу, який забезпечить роботу системи транспортування стічних вод:

- 1) основним виробничим персоналом є диспетчер,
- 2) ремонтним та обслуговуючим персоналом на насосних станціях є чергові по насосних станціях (слюсарі-електромонтажники).

Оскільки передбачається оптимізація роботи всієї каналізаційної системи, то припустимо, що вона складається з п'яти насосних станцій, на кожній з яких завжди повинен знаходитися один черговий.

Розглянемо випадок, коли диспетчер має 5 розряд, а чергові по насосних станціях 4-й розряд.

6.2.2 Розрахунок заробітної плати

Розрахуємо оплату праці по існуючому тарифу. Тарифна ставка 1-го розряду ТС₁ складає 1921 грн/міс. Тарифна ставка кожного працівника буде розраховуватись за формулою:

$$ТС = К \cdot ТС_1, \quad (6.4)$$

де К – тарифний коефіцієнт.

У кожного працівника він відрізняється. Значення тарифних коефіцієнтів зведемо у таблицю 6.2.

Таблиця 6.2 – Тарифна сітка

Тарифні розряди	I	II	III	IV	V	VI
Тарифні коефіцієнти	1	1,5	1,8	2,03	2,33	2,7

Отже, тарифний коефіцієнт диспетчера 5-го розряду ($K_d = 2,33$), а чергового 4-го розряду ($K_q = 2,03$).

Отримаємо:

$$TC_d = 2,33 \cdot 1921 = 4476 \text{ (грн/год);}$$

$$TC_q = 2,03 \cdot 1921 = 3900 \text{ (грн/год.}$$

Заробітна плата кожного працівника за рік з врахуванням того, що насосні станції водовідведення працюють весь рік, складає:

$$Z_p = TC \cdot 12, \quad (6.5)$$

$$Z_{p,d} = 12 \cdot 4476 = 53711 \text{ (грн);}$$

$$Z_{p,q} = 12 \cdot 3900 = 46796 \text{ (грн).}$$

Оплата праці за професійну та майстерну діяльність:

$$P_n = \frac{Z_p \cdot H_n}{100}, \quad (6.6)$$

де H_n – надбавка за професійну діяльність ($H_n = 10\%$).

Отримаємо:

$$P_{n,d} = \frac{53711 \cdot 10}{100} = 5371 \text{ (грн);}$$

$$P_{n,q} = \frac{46796 \cdot 10}{100} = 4680 \text{ (грн).}$$

Всього заробітна плата складає:

$$З_{п} = З_{р} + П_{п}; \quad (6.7)$$

$$З_{п.д} = 53711 + 5371 = 59082 \text{ (грн);}$$

$$З_{п.ч} = 46796 + 4680 = 51475 \text{ (грн).}$$

Оплата премії працівнику (при коефіцієнті премії $K_{п} = 15\%$);

$$П_{пр} = \frac{З_{п} \cdot K_{п}}{100}, \quad (6.8)$$

$$П_{пр.д} = 0,15 \cdot 59082 = 8862 \text{ (грн);}$$

$$П_{пр.ч} = 0,15 \cdot 51475 = 7721 \text{ (грн).}$$

Всього повна заробітна плата за рік складає :

$$З_{пов} = З_{п} + П_{пр}; \quad (6.9)$$

$$З_{пов.д} = 59082 + 8862 = 67945 \text{ (грн);}$$

$$З_{пов.ч} = 51475 + 7721 = 59196 \text{ (грн).}$$

Загальний фонд оплати з врахуванням того, що у системі водовідведення працює одночасно 6 насосних станцій, на кожній з яких повинен бути черговий, буде дорівнювати:

$$\Phi = З_{пов.д} + 6 \cdot З_{пов.ч}; \quad (6.10)$$

$$\Phi = 67945 + 6 \cdot 59196 = 423123 \text{ (грн).}$$

6.3 Розрахунок експлуатаційних затрат

Експлуатаційні затрати залежать від кількості електроенергії i , відповідно, вартості цієї електроенергії за рік роботи електропривода. Знайдемо вартість електроенергії за методикою, описаною в розд. 2 під час виконання техніко-економічного обґрунтування вибору системи електропривода.

Втрати енергії в електроприводі за рік:

$$C_{\text{д}} = C_{\text{д}} + C_{\text{ск}}, \quad (6.11)$$

де $C_{\text{д}}$ – втрати енергії в двигуні, грн./рік;

$C_{\text{ск}}$ – втрати енергії в системі керування електроприводом, грн./рік.

Втрати енергії в двигуні враховують втрати енергії в стаціонарних та перехідних режимах за рік:

$$C_{\text{д}} = \Delta W_{\Sigma} \cdot c, \quad (6.12)$$

де $\Delta W_{\Sigma\text{дв}}$ – сумарні втрати енергії в двигуні у стаціонарних та перехідних режимах роботи за рік, (кВт·год)/рік;

c – вартість однієї кіловатгодини енергії (тариф) для комунальних підприємств ($c = 3$ грн/(кВт·год)).

Сумарні втрати енергії в двигуні у стаціонарних та перехідних режимах роботи за рік:

$$\Delta W_{\Sigma\text{дв}} = (\Delta P_{\text{ном}} + \Delta P_{\text{перех}}) \cdot k_3 \cdot \Phi_{\text{д}}, \quad (6.13)$$

де $\Delta P_{\text{ном}}$ – втрати потужності в двигуні в номінальному режимі роботи, кВт;

$\Delta P_{\text{перех.}}$ – додаткові втрати потужності в двигуні у перехідних режимах роботи, кВт;

k_3 – коефіцієнт завантаження за потужністю (прийmemo рівним 0,5, так як працює два насоси, один з яких вмикається рідко);

Φ_d – дійсний фонд часу роботи системи електричного привода за рік, год/рік.

Втрати потужності в двигуні в номінальному режимі роботи:

$$\Delta P_{\text{НОМ}} = P_{\text{НОМ}} \cdot \frac{1 - \eta_{\text{НОМ}}}{\eta_{\text{НОМ}}}, \quad (6.14)$$

де $P_{\text{НОМ}}$ – номінальна потужність електричного двигуна ($P_{\text{НОМ}}=250$ кВт);

$\eta_{\text{НОМ}}$ – номінальний ККД двигуна ($\eta_{\text{НОМ}} = 0,952$).

$$\Delta P_{\text{НОМ}} = 250 \cdot \frac{1 - 0,952}{0,952} = 12,6 \text{ (кВт)}.$$

Додаткові втрати потужності в двигуні у перехідних режимах роботи та режимах, відмінних від номінального, розраховувалися у розд.2 і становлять:

$$\Delta P_{\text{перех.}} = 0,1 \cdot P_{\text{НОМ}}, \quad (6.15)$$

де $P_{\text{НОМ}}$ – номінальна потужність, що споживається насосною станцією в номінальному режимі роботи.

Для одного насосного агрегату насосної станції отримаємо

$$\Delta P_{\text{перех.}} = 0,1 \cdot 250 = 25 \text{ (кВт)}.$$

Дійсний фонд часу роботи електричного привода за рік:

$$\Phi_{\text{д}} = \frac{\text{ТВ}_{\text{факт}\%}}{100} \cdot Z_{\text{р.д.}} \cdot Z_{\text{р.з.}} \cdot t_{\text{р.з.}}, \quad (6.16)$$

де $\text{ТВ}_{\text{факт}\%}$ – фактична тривалість ввімкнення ($\text{ТВ}_{\text{факт}\%} = 50\%$);

$Z_{\text{р.д.}}$ – кількість робочих днів за рік ($Z_{\text{р.д.}} = 365$ днів);

$Z_{\text{р.з.}}$ – кількість робочих змін ($Z_{\text{р.з.}} = 3$);

$t_{\text{р.з.}}$ – тривалість робочої зміни ($t_{\text{р.з.}} = 8$ год),

$$\Phi_{\text{д}} = \frac{50}{100} \cdot 365 \cdot 3 \cdot 8 = 4380 \text{ (год/рік)}.$$

Сумарні втрати потужності на насосній станції, що складається з двох двигунів у стаціонарних та перехідних режимах роботи:

$$\Delta W_{\Sigma\text{дв}} = 2(12,6 + 25) \cdot 0,5 \cdot 4380 = 164710 \text{ ((кВт}\cdot\text{год)/рік)}.$$

Втрати потужності у двигунах для нового варіанту електропривода будуть меншими на величину перехідних втрат. Це пояснюється тим, що система ПЧ-АД в перехідних режимах роботи та під час роботи на понижених частотах обертання, суттєво зменшує споживання електроенергії. Втрати потужності для ПЧ-АД будуть дорівнювати

$$\Delta W_{\Sigma\text{дв}} = 2 \cdot 12,6 \cdot 0,5 \cdot 4380 = 55210 \text{ ((кВт}\cdot\text{год)/рік)}.$$

Сумарні втрати енергії в системі керування електроприводом за рік:

$$\Delta W_{\text{СК}} = \Delta P_{\text{СК}} \cdot k_3 \cdot \Phi_{\text{д}}, \quad (6.17)$$

де $\Delta P_{\text{НОМ}}$ – втрати потужності в системі керування електроприводом, кВт;

$$\Delta P_{\text{СК}} = P_{\text{шт.}} \cdot \frac{1 - \eta_{\text{шт.}}}{\eta_{\text{шт.}}}, \quad (6.18)$$

де $P_{\text{шт}}$ – номінальна потужність перетворювального пристрою, кВт;

$\eta_{\text{шт}}$ – номінальний ККД перетворювального пристрою.

Для базового варіанту отримаємо:

$$\Delta P_{\text{СК.б}} = 250 \cdot \frac{1 - 0,9}{0,9} = 27,8 \text{ (кВт)}.$$

Для нового варіанту отримаємо:

$$\Delta P_{\text{СК.н}} = 250 \cdot \frac{1 - 0,98}{0,98} = 5,1 \text{ (кВт)}.$$

Знайдемо втрати енергії в системі керування електроприводом. З врахуванням того, що система керування працює з двома двигунами, один з яких завжди працює, коефіцієнт завантаженості прийmemo рівним 1.

Отримаємо:

$$\Delta W_{\text{СК.б}} = 27,8 \cdot 1 \cdot 4380 = 121666,7 \text{ ((кВт·год)/рік)},$$

$$\Delta W_{\text{СК.н}} = 5,1 \cdot 1 \cdot 4380 = 22347 \text{ ((кВт·год)/рік)}.$$

Затрати на електроенергію для базового і нового варіантів електропривода:

$$Z_{\text{вт.б}} = (164710 + 121667) \cdot 3 = 859130 \text{ (грн)},$$

$$Z_{\text{вт.н}} = C_{\text{ДН}} = (55210 + 22347) \cdot 3 = 232671 \text{ (грн)}.$$

Відрахування на амортизацію обладнання:

$$Z_a = K \cdot A, \quad (6.19)$$

де A – норма амортизації основних засобів ($A = 10\%$).

Отримаємо:

$$Z_{аб} = 97817 \cdot 0,1 = 9782 \text{ (грн/рік)},$$

$$Z_{ан} = 749932 \cdot 0,1 = 74993 \text{ (грн/рік)}.$$

Затрати на поточний ремонт та технічне обслуговування системи електропривода приймаємо рівними 10 % для базового варіанту (велика кількість комутуючих елементів) та 2,5% для нового варіанту від капіталовкладень, оскільки для обох систем вони обумовлені поточним ремонтом та обслуговуванням електродвигуна, а для базового варіанту – ще й додатковим обслуговуванням системи керування.

Отримаємо:

$$Z_{рб} = 97817 \cdot 0,1 = 9782 \text{ (грн/рік)};$$

$$Z_{рн} = 749932 \cdot 0,025 = 18748 \text{ (грн/рік)}.$$

Витрати на допоміжні матеріали для ремонту та обслуговування при базовому варіанті складають 15%, а при новому – 13% від фонду оплати праці:

$$Z_{мб} = 0,15 \cdot \Phi; \quad (6.20)$$

$$Z_{мб} = 0,15 \cdot 423123 = 63468 \text{ (грн/рік)};$$

$$Z_{мн} = 0,13 \cdot 423123 = 55006 \text{ (грн/рік)}.$$

Річні експлуатаційні затрати разом:

$$Z_e = Z_{вт} + Z_a + Z_p + Z_m + \Phi, \quad (6.21)$$

$$Z_{еб} = 859130 + 9782 + 9782 + 63468 + 423123 = 1365285 \text{ (грн/рік);}$$

$$Z_{ен} = 232671 + 74993 + 18748 + 55006 + 423123 = 804541 \text{ (грн/рік).}$$

6.4 Розрахунок економічної ефективності

Розрахунок абсолютної ефективності за експлуатаційними витратами:

$$Z_{ЕФ} = Z_{ЕБ} - Z_{ЕН}, \quad (6.22)$$

$$Z_{ЕФ} = 1365285 - 804541 = 560744 \text{ (грн).}$$

Термін окупності:

$$T_{ОК} = \frac{K_H - K_B}{Z_{ЕФ}}, \quad (6.23)$$

$$T_{ОК} = \frac{749932 - 97817}{560744} = 1,16 \text{ (років).}$$

Річний економічний ефект:

$$ЕЕ = (Z_{ЕБ} - Z_{ЕН}) - E_H \cdot (K_H - K_B), \quad (6.24)$$

$$ЕЕ = (1365285 - 804541) - 0,2 \cdot (749932 - 97817) = 430321 \text{ (грн).}$$

Отже, згідно розрахунків термін окупності складає трішки більше одного року. Саме тому розробка даного типу обладнання є економічно вигідною та рентабельною.

7 ОХОРОНА ПРАЦІ ТА БЕЗПЕКА В НАДЗВИЧАЙНИХ СИТУАЦІЯХ

У кваліфікаційній роботі проектується автоматизована система електропривода насосного агрегату каналізаційної станції. Станція займає велику площу, має на балансі велику кількість обладнання з різними виробничими потужностями, умовами експлуатації та характером виробничого середовища. Вона відноситься до I категорії електропостачання, живлення здійснюється від двох підстанцій 10/0,4 кВ.

На оперативний персонал, що обслуговує електропривод насосних агрегатів каналізаційної насосної станції, за ГОСТ 12.0.003-74 впливають такі небезпечні та шкідливі виробничі фактори:

а) фізичні:

- машини і механізми, що рухаються;
- підвищена та знижена температура повітря робочої зони;
- підвищена та знижена температура поверхонь обладнання;
- підвищена та знижена вологість повітря;
- підвищена та знижена рухливість повітря;
- підвищена запиленість і загазованість повітря робочої зони;
- недостатність природного освітлення;
- недостатня освітленість робочої зони;
- підвищений рівень шуму на робочому місці;
- небезпечний рівень напруги в електричному колі, замикання якого може відбутись через тіло людини;
- підвищений рівень вібрації;

б) хімічні:

по впливу на людину:

- загальнотоксичні (хлор);
- подразнювальні (аміак, сірководень);

по шляхам проникнення:

- через органи дихання (пил нетоксичний);

б) психофізичні:

- фізичні перевантаження (динамічні);

- нервово-психічні перевантаження (монотонність праці).

7.1 Технічні рішення щодо безпечної експлуатації об'єкта

7.1.1 Заходи по забезпеченню електробезпеки

При несправності електрообладнання, та при ремонтних роботах в електроустановках людину може вразити електричний струм.

Живлення каналізаційних насосних станцій виконується від п/ст 10/0,4 кВ кабельними лініями, що прокладені в траншеях. У приміщенні машинного залу використовується трифазна чотирьохпровідна мережа із заземленою нейтраллю напругою 380/220 В. Відповідно з ГОСТ 12.1.013-78 умови праці за ступенем небезпеки ураження працівників електричним струмом є умовами з підвищеною небезпекою, тому що підлога у робочому приміщенні є струмопровідною.

Згідно з ГОСТ 12.1.030-81, в якості захисту від ураження людей електричним струмом застосовується заземлення. Крім того безпека експлуатації при нормальному режимі роботи забезпечується застосуванням ізолювальних пристроїв, огороженням струмоведучих частин, використанням малих напруг. Обслуговуючий персонал повинен використовувати ЗІЗ – спецвзуття, рукавиці. Засоби індивідуального захисту потрібно періодично випробовувати, їх слід захищати від механічних пошкоджень, впливу факторів що погіршують їх діелектричні властивості.

Загальна вимога безпеки до виробничого обладнання встановлено згідно з ГОСТ 12.2.003-740 в якому визначені вимоги до основних елементів

конструкції, органів управління і засобів захисту, які входять в конструкцію виробничого обладнання любого виду і призначення.

Електропривод насосів, вентиляторів, іншого обладнання повинний бути виконаний відповідно до Правил устрою електричних установок.

В установках напругою до 1кВ огороження роблять суцільними. Безпечні відстані між огороженнями і не ізолюваними струмоведучими частинами регламентується ПУЕ і в установках до 1кВ із суцільними огороженнями – 5см. Висота розміщення неогорожених струмоведучих частин залежить від значення напруги і рівня підготовки людей ,що працюють з електроустаткуванням. Струмоведучі частини напругою до 1кВ у місцях, де працюють люди, висота розміщення повинна бути не менше 3,5 м. Постійний контроль за ізоляцією, тому що протягом часу відбувається старіння ізоляції, що може призвести до пробію і створити небезпеку ураження струмом при дотику людини. Для маркування використовують наступні кольори ізоляції: чорний колір – для силових ланцюгів; червоний колір – для кіл керування.

Обов'язковим є установка захисного заземлення і занулення та захисного відключення. При роботі з електроустаткуванням існують основні і додаткові електрозахистні засоби. До основних відносяться: ізолюючі штанги, ізолюючі струмопровідні кліщі, слюсарно-монтажні інструменти з ізолюючим руків'ям. До додаткових відносяться: діелектричні рукавиці, переносне заземлення, огорожуючі пристосування, плакати та знаки безпеки.

На ключах керування і приводах роз'єднувачів віддільників і вимикачах навантаження, а також на підставках запобіжників, за допомогою яких може бути подана напруга до місця робіт, вивішують плакат: «Не включати - працюють люди». На вентилях, що закривають доступ повітря в пневматичні приводи таких апаратів, вивішується плакат: « Не відкривати – працюють люди»

Передбачена проектом апаратура повинна експлуатуватися у відповідності з паспортними значеннями номінального струму і напруги. В процесі експлуатації слід постійно контролювати стан контактних сполучень та ізоляції апаратури, відсутність слідів дуги та оплавлення ошиновування, опір ізоляції силових та освітлюваних мереж, правильність підключення. На всіх підготовлених місцях роботи після накладається заземлення та вивіщується плакат: «Працювати тут».

Категорія умов по небезпеці електротравматизму – підвищеної небезпеки, у зв'язку з наявністю у машинних залах струмопровідної підлоги. Технічні рішення щодо запобігання електротравмам:

1) Для запобігання електротравм від контакту з нормально-струмовідними елементами електроустаткування, необхідно:

- розміщувати неізольовані струмовідні елементи в окремих приміщеннях з обмеженим доступом, у металевих шафах;

- використовувати засоби орієнтації в електроустаткуванні - написи, таблички, попереджувальні знаки;

- підвід кабелів до споживачів здійснювати у закритих конструкціях підлоги;

При роботі, яка зв'язана з дотиком до струмоведучих частин насосного обладнання або до її обертових частин, який приводить в рух механізм, необхідно його зупинити та на пусковому пристрої або ключі керування повісити плакат "НЕ ВМИКАТИ, ПРАЦЮЮТЬ ЛЮДИ".

При роботах за межами КРУ на КЛ які відходять на підключеному до них обладнанні теліжку з вимикачем необхідно викатити з шафи, верхню шторку або дверці закрити на замок та вивісити плакати "НЕ ВМИКАТИ!" або "НЕ ВМИКАТИ! РОБОТА НА ЛІНІЇ!".

При роботі заземлення встановлюється на кабелі (з від'єднанням або без від'єднання його від електродвигуна) або на його приєднанні вРУ.

При знятті напруги комутаційним апаратом з дистанційним керуванням необхідно вимкнути вмикаючу котушку.

Відключене положення комутаційних апаратів до 1000 В з недоступними для огляду контактами (автомати невидатного типу, пакетні вимикачі, рубильники в закритому виконанні тощо) визначається перевіркою відсутності на їх зажимах або на відходячих шинах, проводах або затискачах обладнання, яке відключається цими комутаційними апаратами.

В електроустановках до 1000 В при роботах на збірних шинах РУ, щитів, зборок напруга з шин повинна бути знята та шини (за винятком шин, які виконані ізолюваним проводом) повинні бути заземлені. Необхідність та можливість встановлення на приєднання цих РУ, щитів, зборок та підключеного до них обладнання визначає працівник, який видає наряд (розпорядження).

Перед допуском до роботи на електродвигунах насосів, димососів та вентиляторів, якщо можливо обертання електродвигунів від з'єднаних з ними механізмів, повинні бути вимкнуті та закриті на замок задвижки цих механізмів, а також прийняті заходи для гальмування ротора електродвигунів.

Забороняється знімати загородження обертаючих частин електродвигуна під час його роботи.

При роботі заземлення може бути встановлено на будь-якій ділянці кабельної лінії, яка з'єднує електродвигун з РУ (збіркою). При роботі на механізмі, не зв'язаній з доторканням до обертаючих частин, та у випадку від'єднання з'єднувальної муфти заземлювати кабельну лінію не потрібно.

2) При живленні трифазних споживачів струму від чотирипровідної мережі при нарузі до 1000 В використовується нульовий захисний провідник. При його використанні пробій на корпус призводить до КЗ. Спрацьовує захист від КЗ і пошкоджений споживач відключається від мережі.

Згідно з вимогами нормативів, повинна бути забезпечена необхідна кратність струму К.З. залежно від типу запобіжного пристрою, повинна бути забезпечена цілісність нульового захисного провідника.

3) Електрозахисні засоби захисту.

Персонал, який обслуговує електроустановки, повинен бути забезпечений випробуваними засобами захисту. Перед застосуванням засобів захисту персонал зобов'язаний перевірити їх справність, відсутність зовнішніх пошкоджень, очистити і протерти від пилу, перевірити за штампом дату наступної перевірки. Користуватися засобами захисту, термін придатності яких вийшов, забороняється.

Використовуються основні та допоміжні електрозахисні засоби. Основними електрозахисними засобами називаються засоби, ізоляція яких тривалий час витримує робочу напругу, що дозволяє дотикатися до струмопровідних частин, які знаходяться під напругою. До них відносяться (до 1000В): ізолювальні штанги; ізолювальні та струмовимірювальні кліщі; покажчики напруги; діелектричні рукавиці; слюсарно-монтажний інструмент з ізольованими ручками.

Додатковими електрозахисними засобами називаються засоби, які захищають персонал від напруги дотику, напруги кроку та попереджають персонал про можливість помилкових дій. До них відносяться (до 1000 В): діелектричні калоші; діелектричні килимки; переносні заземлення; ізолювальні накладки і підставки; захисні пристрої; плакати і знаки безпеки.

7.1.2 Технічні рішення щодо безпечної організації робочого місця

Відповідність конструкції виробничого обладнання і організації робочого місця антропометричним, фізіологічним та психологічним даним людини сприяє раціональній взаємодії між людиною і знаряддям праці й приводить до підвищення працездатності та ефективності трудової діяльності.

Під робочим місцем оператора розуміється місце, оснащене засобами відображення інформації, органами управління та допоміжним обладнанням, де здійснюється його трудова діяльність.

Правильна організація робочого місця передбачає вирішення таких основних задач:

- вибір доцільного робочого положення (сидячи, стоячи);
- раціональне розміщення індикаторів та органів управління у відповідності з їх важливістю і частотою використання у межах зони зору і зон досяжності;
- забезпечення оптимального огляду елементів робочого місця;
- відповідність конструкції робочого місця антропометричним, фізіологічним і психологічним характеристикам людини;
- відповідність інформативних потоків можливостям людини з прийому і переробки інформації;
- забезпечення умов для короткочасного відпочинку операторів під час роботи.

Основою робочого місця оператора є пульт управління, який повинен задовольняти такі вимоги:

- поверхня пульта повинна забезпечувати дифузійне чи направлено розсіяне відбиття світлового потоку, яке б виключало появу відблисків у полі зору оператора;
- на пультах, призначених для управління однотипними об'єктами, повинно дотримуватись одне й те ж розміщення найбільш важливих, часто використовуваних і аварійних засобів відображення і введення інформації;
- пульти при необхідності повинні обладнуватися висувними ящиками для збереження документації і висувними дошками для ведення записів та розміщення додаткових переносних приладів;

- пульт для роботи оператора в положенні сидячи повинен мати простір для ніг оператора з розмірами не менше: висота - 600 мм, глибина на рівні колін і підлоги - відповідно 400 і 600 мм, ширина - 500 мм;

- панелі пультів не повинні мати сторонніх елементів, що утруднюють роботу оператора чи відволікають його увагу, невиправдані призначенням пульта виступи, заглиблення, різноплощинність тощо.

До основних інженерно-психологічних характеристик пульта управління відносяться його форма і геометричні розміри. При проектуванні застосована фронтальна форма пульта управління (рисунок 7.1). Вона застосовується при можливості розміщення всіх органів управління у межах зон максимальної і допустимої досяжності, а індикаторів - в межах зони центрального і периферійного зору.

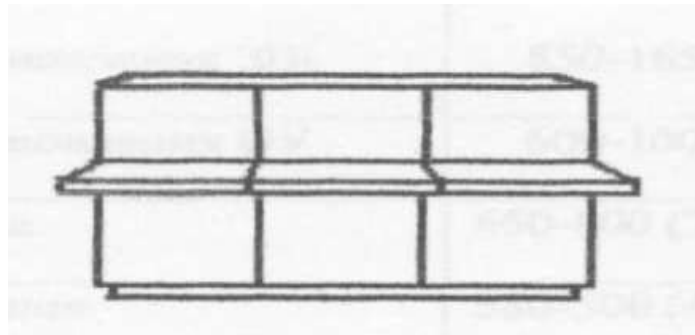


Рисунок 7.1 – Фронтальна форма пульта управління

Геометричні розміри пультів управління встановлюються виходячи з антропометричних характеристик того контингенту операторів, який має працювати за даним пультом (табл. 7.1).

Таблиця 7.1 – Розміри пультів управління фронтальної форми, мм

Параметри	При роботі сидячи	При роботі стоячи	При роботі сидячи і стоячи
Загальна висота пульта	700-1650	1100-1800	1100-1800
Максимальна ширина Висота установлення ЗВГ	1500 850- 1650	1500 1100-1800	1500 1400-1700
Висота установлення ОУ	600-1000	1000-1600	1000-1400
Висота стола	660-800 (730)	1000-1150	980-1050(1000)
Висота сидіння	380-500 (450)	-	760-840 (790)
Глибина пульта	320-550 (400)	320-550	320-550

Пункт управління - це комплекс приміщень для роботи оператора (групи операторів) і розміщення обладнання, за допомогою якого він виконує свої функції. Пункт управління складається звичайно з декількох зон, основними з яких є такі:

- зона безпосередньої роботи оператора з управління виробничим процесом чи операторський зал (ОЗ);
- зона розміщення обладнання чи апаратний зал (АЗ);
- допоміжні приміщення (ДП).

Пункти управління можуть бути розміщені в окремих приміщеннях, у виробничому приміщенні цеху, у приміщенні, що безпосередньо примикає до виробничих приміщень цеху.

В залежності від взаємного розміщення операторського і апаратного залів застосовуються такі варіанти організації пунктів управління:

- а) обидва зали об'єднані і розміщені на одному поверсі;
- б) зали розміщені на одному поверсі ізольовано один від одного;

в) операторський зал розміщений над апаратним і утворює двоповерховий пункт управління;

г) обидва зали об'єднані, але розміщені на різних поверхах.

Найбільш розповсюдженою є компоновка залів пункта управління групи "б". Вона зручна для трудової діяльності не тільки оператора, але й іншого персоналу, що обслуговує пункт управління. Цей варіант рекомендується застосовувати при будь-якій кількості точок контролю і управління.

Взаємне розміщення робочих місць в ОЗ з колективними засобами відображення інформації (ЗВІ) повинно забезпечувати:

функціональні зв'язки між операторами;

максимальний огляд інформаційного поля колективного ЗВІ;

вільний простір для переміщення операторів і експлуатації обладнання.

Робочі місця в ОЗ слід розміщувати в зоні найкращого огляду інформаційного поля. Розміщення операторів на робочих місцях повинно забезпечувати відповідну їх трудовій діяльності фізіологічно раціональну робочу позу по відношенню до колективних ЗВІ. При цьому допустимі повороти голови в горизонтальній площині не більше 45° , а у вертикальній площині - не більше 30° від горизонтальної лінії зору.

При проектуванні інтер'єру пункта управління слід враховувати психологічний вплив кольору на людину. Колір чинить тонізуючу, інформаційну і регулювальну дію на оператора. Наприклад, фарбування дальньої стіни приміщення в один з кольорів, що відступають (зелений, синій, голубий), створює відчуття його подовження. Для створення ілюзії укорочення довгого приміщення дальню стіну фарбують в один з кольорів, що виступають (червоний, жовтий, оранжевий).

7.2 Технічні рішення з гігієни праці та виробничої санітарії

7.2.1 Мікроклімат

Основними нормативними документами, що регламентують параметри мікроклімату виробничих приміщень, є ДСН 3.3.6.042-99

Мікроклімат машинного залу каналізаційної насосної станції характеризується наступними чинниками: температурою повітря, відносною вологістю повітря, швидкістю руху повітря, інтенсивністю теплового випромінювання.

Робота персоналу станції відноситься до категорії Іб по важкості праці.

Енерговитрати за цією категорією складають від 140 до 174 Вт.

Допустимі норми температури, відносної вологості та швидкості руху повітря в робочій зоні виробничих приміщень приведені в табл. 7.2

Таблиця 7.2 – Допустимі норми параметрів повітря

Період року	Категорія робіт	Температура, С		Відносна вологість	Швидкість руху, X
		Верхня межа	Нижня межа		
Холодний	Іб	20-24	17-25	75	не більше 0,2
Теплий		21-28	19-30	55 при 27 С	0,1-0,3

7.2.2 Склад повітря робочої зони

Забруднення повітря робочої зони регламентується граничнодопустимими концентраціями (ГДК) в мг/м³

При роботі каналізаційної насосної станції в повітрі можуть накопичуватися різні шкідливі речовини: аміак, сірководень, хлор та пил нетоксичний. Всі ці речовини можуть виділятися при очищенні

каналізаційних резервуарів та решіток забору каналізаційної води. ГДК цих речовин наведено у табл. 7.3.

Для усунення небезпеки вибуху або отруєння працівників у разі потрапляння у приміщення каналізаційної насосної станції вибухонебезпечних і шкідливих газів, парів або рідин проектом передбачені такі рішення:

- освітлення резервуарів, решіток, двигуна, дробарок та інших пристроїв здійснюють у вибухобезпечному виконанні;
- стан повітря в приміщеннях насосної станції контролюють за допомогою газоаналізаторів або, як виняток, шахтарської лампи;
- порядок контролю повітря під час експлуатації насосної станції і чищення резервуарів передбачається інструкцією відповідно до місцевих умов;
- застосовувати інструменти з кольорових металів, що не дають іскріння;
- застосувати примусову вентиляцію в приміщенні;
- застосувати природну вентиляцію: організовану і неорганізовану.

Таблиця 7.3 – Гранично допустимі концентрації шкідливих речовин для повітря в робочій зоні.

Назва речовини	ГДК, мг/м ³		
	Максимально разова	Середньо добова	Клас небезпечності
Аміак	0,2	0,2	2
Сірководень (H ₂ S)	0,008	0,008	2
Хлор	0,1	0,03	2
Пил нетоксичний	0,5	0,15	4

7.2.3 Виробниче освітлення

Система водовідведення знаходиться у Вінницькій області, система природнього освітлення відноситься до бокової. Характеристика робіт при контролі за процесом роботи насосних агрегатів – середньої точності.

Відповідно до ДБН В.2.5-28-2006 розряд зорової роботи IV, підрозряд «в». При боковому суміщеному освітленні КПО= 0,9%.

Нормоване значення КПО для даного виробничого приміщення розраховується за формулою:

$$e_n = e_H \cdot m_n \quad (7.1)$$

де e_H – значення КЕО для будинків;

m_n – коефіцієнт сонячності клімату ($m_n = 1,5$ якщо вікна зорієнтовані на захід).

Таким чином, при природньому і суміщеному освітленнях отримаємо відповідно:

$$e_n = 1,5 \cdot 0,9 = 1,35\%,$$

$$e_n = 0,9 \cdot 0,9 = 0,8 \%$$

Природне освітлення одностороннє і здійснюється через вікна, які орієнтовані на схід.

Раціональне та правильне використання установок природнього та штучного освітлення відіграє важливу роль для створення високого рівня освітленості в приміщеннях і економії електроенергії, що витрачається на штучне електричне освітлення. Норми освітленості при штучному освітленні приведені в табл. 7.4

Для освітлення технологічних ділянок вибираємо світильники типу ЛПО-02 з двома люмінісцентними лампами. Висота підвісу над робочою поверхнею 4,5 метра.

При експлуатації здійснюється контроль за рівнем напруги освітлювальної мережі, своєчасна заміна перегорілих ламп, забезпечується чистота повітря у приміщенні.

Таблиця 7.4 – Норми освітленості при штучному освітленні

Характеристика зорової роботи	Найменший розмір об'єкта розрізнення	Розряд зорової роботи	Підрозряд зорової роботи	Контраст об'єкта розрізнення фоном	Характеристика фона	Освітленість, лк	
						Штучне освітлення	
						Комбіноване	Загальне
Середньої точності	Вище 0,5 до 1	IV	в	Середній малий	Середній темний	450	200

7.2.4 Виробничий шум

На каналізаційній насосній станції джерелами шуму є обладнання, насоси, вентилятори, які створюють механічний шум.

Шум- це хаотична сукупність різних за силою і частотою звуків, що заважають сприйняттю корисних сигналів і негативно впливають на людину.

Постійна дія сильного шуму може не лише негативно вплинути на слух, але й викликати інші шкідливі наслідки – дзвін у вухах, запаморочення, головний біль, підвищення втоми, зниження працездатності.

Шум має кумулятивний ефект, тобто акустичні подразнення, накопичуючись в організмі людини, все сильніше пригнічують нервову систему. Тому перед втратою слуху від впливу шумів виникає функціональний розлад центральної нервової системи. Особливо шкідливий вплив шуму позначається на нервово-психічних захворювань серед осіб, що працюють у гомінких умовах, ніж у людей, що працюють у нормальних умовах.

Рівень звука вимірюється в децибелах і визначається за формулою:

$$L = 20 \lg \left(\frac{P}{P_0} \right) = 20 \lg \left(\frac{U}{U_0} \right), \quad (7.2)$$

де L – рівень шуму, дБ;

P – звуковий тиск, Па;

U_0 – коливальна швидкість ($U_0 = 5 \cdot 10^{-8}$ м/с);

P_0 – нульове значення звукового тиску на нижньому порозі чутності в октавній смузі зі середньгеометричною частотою 1000 Гц ($P_0 = 2 \cdot 10^{-5}$ Па).

При санітарно-гігієнічному нормуванні шуму використовують два методи:

- нормування за гранично-допустимим спектром шуму;
- нормування рівня звуку за шкалою А шумоміра.

За характером спектру шум – широкосмуговий з безперервною спектрошириною більше октави; за тональною характеристикою – постійний; за походженням – гідродинамічний та механічний.

Допустимі рівні звукового тиску, рівні звуку і еквівалентні рівні звуку на робочих місцях приймаються за вимогами СН 32.23-85 і наведені в табл. 7.5.

Таблиця 7.5 – Рівень звукового тиску

Характер робіт	Допустимі рівні звукового тиску (дБ) в стандартизованих октавних смугах з середньгеометричними частотами, Гц								
	32	63	125	250	500	1000	2000	4000	8000
Постійні робочі місця в промислових приміщеннях	107	95	87	82	78	75	73	71	69

Для зменшення рівня шуму до допустимого в цеху двигуни виконуються в металевому кожусі, а також виконують замащення, застосовують пластмасові деталі, використовують протишумні навушники, які закривають вушні раковини.

7.2.5 Виробничі вібрації

Вібрацією називають механічні коливання пружних тіл або систем, коли відбувається переміщення центра їх ваги в просторі відносно статичного стану. Загальна вібрація передається на тіло через опорні поверхні людини, що стоїть чи сидить (підшви ніг або сідниці).

Допустимі рівні вібрації на постійних місцях представлені в табл. 7.6.

Таблиця 7.6 – Допустимі рівні вібрації на постійних місцях

Вид вібрації	Октавні смуги з середньгеометричними частотами, Гц									
	2	4	8	16	32	63	125	250	500	1000
Загальна вібрація: На постійних робочих місцях в виробничих приміщеннях	$\frac{1,3}{108}$	$\frac{0,45}{99}$	$\frac{0,22}{93}$	$\frac{0,2}{92}$	$\frac{0,2}{92}$	$\frac{0,2}{92}$				

В чисельнику – середньоквадратичне значення вібрації, м/с 10^2 , в знаменнику – логарифмічні вібрації, дБ.

Основними методами колективного віброзахисту є зниження вібрації шляхом дії на джерело виникнення: відстрочка від режиму резонансу, динамічне гасіння коливань, заміна конструктивних елементів установок і будівельних конструкцій. Засоби індивідуального захисту діляться на засоби для ніг, рук та тіла працюючого.

7.2.6 Виробничі випромінювання

Під час роботи електроприводів середньої і великої потужності, до яких відносяться електроприводи насосних агрегатів каналізаційних насосних станцій великих міст, електрообладнання являється потужним джерелом електромагнітного випромінювання промислової частоти. З метою захисту здоров'я обслуговуючого персоналу від впливу електромагнітних випромінювань у 1996 році були розроблені та затверджені наказом Міністерства охорони здоров'я України від 01.08.96 №239 «Державні санітарні норми і правила захисту населення від впливу електромагнітних випромінювань». Відповідно до них, рівень електромагнітного поля, що створюється БС, не повинен перевищувати гранично допустимий рівень (ГДР) у $2,5 \text{ мкВт/см}^2$.

Тому, для захисту персоналу від дії такого випромінювання необхідно використовувати захисне екранування обладнання.

7.2.7 Психофізіологічні фактори

Допустимий рівень психофізичних навантажень регламентується санітарними нормами та правилами. Основні значення фізичних навантажень, які можуть мати місце для обслуговуючого персоналу каналізаційних насосних станцій подано у табл. 7.7.

Таблиця 7.7 – Класи умов праці за показниками важкості трудового процесу

Показники важкості трудового процесу	Клас умов праці			
	Оптимальний (легке фізичне навантаження)	Допустимий (середнє фізичне навантаження)	Шкідливий (важка праця)	
1 ступінь			2 ступінь	
Загальна висота пульта				
Стереотипні робочі рухи (кількість за зміну)				
При локальному навантаженні (за участю м'язів кистей та пальців рук)	До 20000	До 40000	До 60000	Більше 60000
При регіональному навантаженні (при роботі з переважною участю м'язів рук та плечового поясу)	До 10000	До 20000	До 30000	Більше 30000
Робоча поза	Вільна зручна поза, можливість зміни пози (сидячи, стоячи) за бажанням працівника. Знаходження в позі стоячи до 40% часу зміни	Періодичне перебування в незручній позі (робота з поворотом тулуба, незручним розташуванням кінцівок) та/або фіксованій позі (неможливість зміни взаєморозташування різних частин тіла відносно одна одної) до 25% часу зміни. Знаходження в позі стоячи до 60% часу зміни	Періодичне перебування в незручній та/або фіксованій позі до 50% часу зміни; перебування у вимушеній позі (навпочіпки, на колінах і т.ін.) від 10% до 25% часу зміни; знаходження в позі стоячи від 60% до 80% часу зміни	Перебування в незручній та/або фіксованій позі більше 50% часу зміни; перебування у вимушеній позі (навпочіпки, на колінах і т.ін.) більше 25% часу зміни; знаходження в позі стоячи більше 80% часу зміни
Нахили корпусу (вимушені, більше 30), кількість за зміну	До 50	51 -- 100	101 -- 300	Більше 300
Переміщення у просторі (переходи, обумовлені технологічним процесом проягом зміни), км				
-по горизонталі	До 4	До 8	До 12	Більше 12
-по вертикалі	До 2	До 4	До 8	Більше 8

Класи умов праці за показниками напруженості трудового процесу, які можуть мати місце для обслуговуючого персоналу каналізаційних насосних станцій подано у табл. 7.8.

Таблиця 7.8 – Класи умов праці за показниками напруженості трудового процесу

Показники напруженості трудового процесу	Клас умов праці			
	Оптимальний (напруженість праці легкого ступеня)	Допустимий (напруженість праці середнього ступеня)	Шкідливий (напружена праця)	
1 ступінь			2 ступінь	
Загальна висота пульса				
Інтелектуальні навантаження	Відсутня необхідність прийняття рішення	Рішення простих альтернативних завдань згідно з інструкцією	Рішення складних завдань з вибором за відомим алгоритмом (робота за серією інструкцій)	Евристична (творча) діяльність, що вимагає вирішення складних завдань при відсутності алгоритму; особисте керівництво в складних ситуаціях
Сприймання сигналів (інформації) та їх оцінка	Сприймання сигналів, але без потреби в корекції дій	Сприймання сигналів з наступною корекцією дій та операцій	Сприймання сигналів з наступним порівнянням фактичних значень параметрів з їх номінальним значеннями. Заключна оцінка фактивних значень параметрів	Сприймання сигналів з наступною комплексною оцінкою взаємопов'язаних параметрів. Комплексна оцінка всієї виробничої діяльності
Розподіл функцій за ступенем складності завдання	Обробка та виконання завдання	Обробка, виконання завдання та його перевірка	Обробка, перевірка і контроль за виконанням завдання	Контроль та попередня робота з розподілу завдань іншим особам
Характер виконуваної роботи	Робота за індивідуальним планом	Робота за встановленим графіком з можливим його коректуванням у ході діяльності	Робота в умовах дефіциту часу	Робота в умовах дефіциту часу та інформації з підвищеною відповідальністю за кінцевий результат
Сенсорні навантаження	До 25	25 – 50	51—75	Більше 75
Спостереження за екранами відеотерміналів (годин на зміну)	До 2	2 – 3	3 – 4	Більше 4
Ступінь відповідальності за результат своєї діяльності. Значущість помилки	Несе відповідальність за виконання окремих елементів завдання. Вимагає додаткових зусиль в роботі з боку працівника	Несе відповідальність за функціональну якість допоміжних робіт (завдань). Вимагає додаткових зусиль з боку керівництва (бригадира, майстра та ін)	Несе відповідальність за функціональну якість основної роботи (завдань). Вимагає виправлень за рахунок додаткових зусиль всього колективу (групи, бригади та ін.)	Несе відповідальність за функціональну якість кінцевої продукції, роботи, завдання. Неправильні рішення можуть викликати пошкодження обладнання, зупинку технологічного процесу, можливу небезпеку для життя

Продовження таблиці 7.8

Загальна висота пульта	Оптимальний (напруженість праці легкого ступеня)	Допустимий (напруженість праці середнього ступеня)	Шкідливий (напружена праця)	
			1 ступінь	2 ступінь
Монотонність навантажень	Більше 10	9 – 6	5 – 3	Менше 3
Фактична тривалість робочого дня (год.)	6 – 7	8 – 9	10 – 12	Більше 12
Змінність роботи	Однозмінна робота (без нічної зміни)	Двозмінна робота (без нічної зміни)	Тризмінна робота (робота у нічну зміну)	Нерегулярна змінність з роботою в нічний час

7.3 Дослідження стійкості роботи системи керування каналізаційною насосною станцією в умовах дії загрозливих чинників надзвичайних ситуацій

Під стійкістю роботи системи керування каналізаційною насосною станцією та системи транспортування стічних вод взагалі розуміють їх спроможність в умовах надзвичайної ситуації працювати безвідмовно, а при отриманні певних руйнувань або порушенні відновлювати виробництво у мінімальні терміни.

7.3.1 Дослідження стійкості роботи системи керування каналізаційною насосною станцією в умовах дії іонізуючих випромінювань

В надзвичайних ситуаціях електроприводи використовується для відведення налдишкових стоків за межі населеного пункту на фільтраційні споруди. В сучасній системі електропривода насосних агрегатів найбільш чутливим до дії іонізуючого випромінювання є перетворювач частоти, який містить в собі випрямляч, інвертор, фільтри, блок цифрового управління, блок живлення, пульт керування.

В результаті опромінення іонізуючим випромінюванням в інверторі зміниться зворотній струм і коефіцієнт підсилення, в конденсаторах

понижаться напруга пробою і опір витоку, зміниться провідність і внутрішнє нагрівання. В ізоляційних і діелектричних матеріалах зміняться такі параметри: електрична провідність, діелектрична провідність і тангенс кута втрат.

Визначаємо граничні значення дози опромінення $D_{\text{грі}}$, для елементної бази системи, при яких виникають незворотні зміни. Отримані дані заносимо в табл. 7.9.

Таблиця 7.9 – Граничні дози для елементів електроприводів каналізаційної насосної станції

Структурні блоки	Елементи блоків електропривода	$D_{\text{грі}}, \text{P}$	$D_{\text{гр}}, \text{P}$
І. Автономний інвертор напруги	Конденсатори	10^7	10^4
	Напівпровідники	10^5	
	Транзистори	10^4	
	Діоди	10^4	
ІІ. Випрямляч	Діоди	10^4	
ІІІ. Блок цифрового управління	Мікросхеми	10^5	
	Інтегральні схеми	$5 \cdot 10^5$	
	Конденсатори	10^7	
	Резистори	10^7	
	Напівпровідники	10^5	

Проаналізувавши дані таблиці 7.9 визначили, що самим уразливим елементом системи електропривода з мінімальною дозою $D_{\text{грі}} = 10^4 \text{P}$ є транзистори та діоди, а також елементи блоку живлення. Блок живлення в разі дії на нього іонізуючих випромінювань можна перенести в підвальне приміщення, що збільшить його стійкість. Визначаємо можливу дозу опромінення за формулою:

$$D_{\text{м}} = \frac{2 \cdot P_1 (\sqrt{t_{\text{k}}} - \sqrt{t_{\text{п}}})}{K_{\text{осл}}}, \quad (7.3)$$

де P_1 – максимальне значення рівня радіації ($P_1 = 5,05$ Р/год);

t_k – час кінця опромінення ($t_k = 131400$ год (5 років));

t_{Π} – час початку опромінення ($t_{\Pi} = 1$ год).

$K_{\text{осл}}$ – коефіцієнт послаблення радіації ($K_{\text{осл}} = 1$).

Отримаємо значення:

$$D_m = \frac{2 \cdot 5,05 \cdot (\sqrt{131400} - \sqrt{1})}{1} = 3651 \text{ (Р)}.$$

Оскільки $D_{\text{грi}} > D_m$, то електроприводи стійкі до дії радіації. Визначимо допустимий час роботи РЕА в заданих умовах за формулою:

$$t_d = \frac{D_{\text{гр}} \cdot K_{\text{осл}} + 2 \cdot P_1 \cdot \sqrt{1}}{2 \cdot P_1}, \quad (7.4)$$

$$t_d = \frac{10^4 \cdot 1 + 2 \cdot 5,05 \cdot \sqrt{1}}{2 \cdot 5,05} = 991,1 \text{ (год)}.$$

Отже, можлива доза опромінення елементної бази $D_m = 3651$ Р, а допустима – 10^4 Р. Отже, на основі проведених розрахунків можна зробити висновок, що електропривода можуть безпечно працювати в умовах іонізуючих випромінювань. Допустимий час роботи в заданих умовах становить 991,1 год., при рівні радіації 5,05 Р/год.

7.3.2 Дослідження стійкості роботи системи керування каналізаційною насосною станцією в умовах електромагнітного імпульсу

Визначимо горизонтальну складову напруженості електромагнітного поля:

$$E_r = 10,93 \text{ (кВ/м)}.$$

Визначаємо горизонтальну та вертикальну напругу наводки.

$$U_{Гi} = E_{Г} \cdot l_{Гi}, \text{ (В)},$$

$$U_{Гi} = 10,93 \cdot 10^3 \cdot 3,5 = 38255 \text{ (В)},$$

$$U_{Вi} = E_{Г} \cdot l_{Вi}, \text{ (В)},$$

$$U_{Вi} = 10,93 \cdot 10^3 \cdot 0,5 = 5465 \text{ (В)}.$$

Визначаємо допустимі коливання напруги живлення для різних блоків:

$$U_{д} = U_{ж} + \frac{U_{ж}}{100} \cdot N \text{ [В]}, \quad (7.5)$$

де N – відсоток допуску коливань напруги.

Отримаємо значення:

$$U_{д} = 12 + \frac{12}{100} \cdot 15 = 13,8 \text{ (В)},$$

$$U_{д} = 24 + \frac{24}{100} \cdot 15 = 27,6 \text{ (В)},$$

$$U_{д} = 300 + \frac{300}{100} \cdot 15 = 345 \text{ (В)}.$$

Визначаємо коефіцієнти безпеки для кожної ділянки:

$$K_{\sigma} = 20 \cdot \lg \frac{U_{д}}{U_{Г(В)}} \geq 40 \text{ [Дб]}. \quad (7.6)$$

Горизонтальної:

$$Кб_{г1} = 20 \cdot \lg \frac{13,8}{9750} = -131,2 \text{ (дБ)},$$

$$Кб_{г2} = 20 \cdot \lg \frac{27,6}{9750} = -117,34 \text{ (дБ)},$$

$$Кб_{г3} = 20 \cdot \lg \frac{345}{9750} = -63 \text{ (дБ)}.$$

Вертикальної:

$$Кб_{в1} = 20 \cdot \lg \frac{13,8}{3,275} = 28,92 \text{ (дБ)},$$

$$Кб_{в2} = 20 \cdot \lg \frac{27,6}{3,275} = 42,78 \text{ (дБ)},$$

$$Кб_{в3} = 20 \cdot \lg \frac{345}{3,275} = 97,13 \text{ (дБ)}.$$

Отримані дані заносимо в табл. 7.10.

Таблиця 7.10 – Значення коефіцієнтів безпеки блоків системи керування електропривода

№	Найменування блоків	Кб _г , дБ	Кб _в , дБ	Результат дії
1	Блок живлення, 12 В	-131,2	28,92	Нестійкий
2	Блок управління, 24 В	-117,34	42,78	Нестійкий
3	Силові елементи, 550 В	-63	97,13	Нестійкі

Границя стійкості системи керування $Кб_{\min} = -131,2 \text{ дБ}$, а $Кб_{\text{гр}} = 97,13$.

Отже, система керування каналізаційною станцією є нестійкою в умовах впливу електромагнітного імпульсу. Для підвищення стійкості роботи необхідно використовувати екранування напівпровідникових елементів та горизонтальних струмопровідних елементів.

7.4 Розробка превентивних заходів для підвищення стійкості роботи системи керування каналізаційною станцією

Захист від іонізуючих випромінювань може здійснюватись шляхом використання наступних принципів:

- використання джерел з мінімальним випромінюванням шляхом переходу на менш активні джерела, зменшення кількості ізотопу;
- скорочення часу роботи з джерелом іонізуючого випромінювання;
- віддалення робочого місця від джерела іонізуючого випромінювання;
- екранування джерела іонізуючого випромінювання.

Екрани можуть бути пересувні або стаціонарні, призначені для поглинання або послаблення іонізуючого випромінювання. Екранами можуть бути стінки контейнерів для перевезення радіоактивних ізотопів, стінки сейфів для їх зберігання

Для захисту від випромінювання використовують матеріали, котрі містять водень (вода, парафін), а також бор, берилій, кадмій, графіт. Враховуючи те, що нейтронні потоки супроводжуються гамма-випромінюванням, слід використовувати комбінований захист у вигляді шаруватих екранів з важких та легких матеріалів (свинець-поліетилен).

Покажемо для прикладу перехідне гасіння енергії електричного поля екраном для сталі:

$$A = 40 + K\beta_{\text{мін}}. \quad (7.7)$$

Для БЖ отримаємо:

$$A_1 = 40 + 131,2 = 171,2 \text{ (дБ)}.$$

Для БУ отримаємо:

$$A_2 = 40 + 117,34 = 157,34 \text{ (дБ)}.$$

Для СЕ отримаємо:

$$A_3 = 40 + 63 = 103 \text{ (дБ)}.$$

Розрахуємо товщини захисних екранів:

$$t = \frac{A}{5,2 \cdot \sqrt{f}}, \quad (7.8)$$

де f - найбільш характерна частота ($f = 15$ кГц).

Для БЖ отримаємо:

$$t_1 = \frac{171,2}{5,2 \cdot \sqrt{15000}} = 0,23 \text{ (см)}.$$

Для БУ одержимо:

$$t_2 = \frac{157,34}{5,2 \cdot \sqrt{15000}} = 0,21 \text{ (см)}.$$

Для СЕ отримаємо:

$$t_3 = \frac{103}{5,2 \cdot \sqrt{15000}} = 0,14 \text{ (см)}.$$

Отже, при екрануванні блоку живлення та блоку керування з використанням екрану товщиною 0,23 см зі сталі, система керування буде стійкою в умовах дії електромагнітного імпульсу, при екрануванні силових елементів з використанням екрану товщиною 0,14 см, вони будуть стійкими в умовах дії електромагнітного імпульсу.

Також в даному розділі було досліджено стійкість роботи системи керування каналізаційної насосної станції. Після проведених розрахунків визначено, що робота системи електроприводу та загальної системи керування стійка при заданому рівні радіації 5,05 Р/год. До дії ЕМІ система електроприводу виявилась нестійкою. Застосування екранування до системи керування каналізаційною станцією суттєво підвищує її стійкість в умовах дії електромагнітного імпульсу.

В результаті застосування екранів система буде працювати стійко аж до значення напруженості вертикальної складової 10,93 кВ/м. Ще одним варіантом підвищення стійкості апаратури до дії ЕМІ є зменшення довжини струмопровідних провідників шляхом вдосконалення схемокомпоновки блоку управління системи керування каналізаційною станцією. Крім цього необхідно екранувати кабелі живлення.

ВИСНОВКИ

Отже, в магістерській кваліфікаційній роботі виконано розрахунок електроприводів каналізаційної насосної станції та розроблено алгоритм оптимального керування системою транспортування стічних вод.

Для заданих умов роботи було розраховано і вибрано два насоси та приводні двигуни. Обрано насоси відцентрового типу СМ 250-200-400/4 та асинхронні двигуни з короткозамкнутим ротором. Потужність одного насосу становить 250 кВт.

Для приводу насосів шляхом техніко-економічного обґрунтування обрано систему електропривода на базі перетворювача частоти Schneider Electric. При цьому даний електропривод порівнювався з приводами на основі пристроїв плавного пуску. Найкращою з точки зору економічних затрат стала система ПЧ-АД.

Розроблено структурну та функціональну схеми одного електропривода. Розраховано та вибрано автоматичний вимикач, транзистори, сенсор струму, регулятор.

Для розрахунку системи оптимального керування розглядався випадок, коли СТСВ складається з 6-ти каналізаційних насосних станцій. Для формалізації задачі оптимізації розроблено математичну модель роботи системи у матричному (табличному) вигляді.

Для обраної конфігурації каналізаційної мережі, виконано розрахунок продуктивностей насосних станцій, при яких споживання енергії всією системою буде найменшим. Для цього модифіковано відомий критерій, внесено додаткові обмеження та отримано результати для різних значень вхідної подачі стоків. Отримано, що зі збільшенням вхідної подачі, продуктивність станції необхідно також збільшувати, але треба вірно обирати маршрут транспортування. Запропонований алгоритм дозволяє так розподілити потоки стічних вод між різними насосними станціями, щоб

споживання ними було мінімальним, а вся вхідна вода подавалася на очисні споруди.

Досліджено графіки перехідних процесів розімкнутої та замкнутої системи електропривода зі зворотним зв'язком за струмом статора двигуна. Порівняно з випадком, коли система розімкнута, у замкнутій отримано менший час перехідного процесу і відсутність коливань струму двигуна. У обох випадках електропривод працює без коливань по швидкості обертання.

Замкнуту систему електропривода досліджено на стійкість в частотній області. Вона виявилася стійкою з безмежним запасом стійкості за амплітудою.

Розроблено імітаційну модель роботи однієї насосної станції, що складається з двох насосів. Написано програму роботи такої насосної станції.

ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ

1. Ермолин Ю. А. Оптимизация процесса транспортировки сточных вод в системах водоотведения крупных городов: автореферат диссертации на соискание ученой степени доктора техн. наук. по специальности 05.23.04 – Водоснабжение, канализация, строительные системы охраны водных ресурсов. – Москва, 1995. – 48 с.

2. Ремонт і дизайн. Каналізаційна насосна станція (КНС): види, пристрій, монтаж і обслуговування. Режим доступу: <https://www.dizayn.top/2017/09/kanalizatsijna-nasosna-stantsiya.html>.

3. АКВАПОЛІМЕР ІНЖИНІРИНГ у гармонії з довкіллям. Каналізаційні насосні станції (КНС). Режим доступу: <https://aquapolymer.com.ua/produktsiya/kanalizaciyni-nasosni-stanciyi-kns/>.

4. Портал montagnik.com. Каналізаційна насосна станція – пристрій, принцип роботи, різновиди. Режим доступу: <http://montagnik.com/dovidnuk-montagnik/3473-kanalizaziyna-nasosna-stanzia.html>.

5. Сайт комунальних розрахунків м. Вінниці pay.vn.ua. Новини та повідомлення. У Вінниці відреконструюють каналізаційно-насосну станцію, яка забезпечує відведення стоків з Центру і частково Старого міста. Режим доступу: <https://pay.vn.ua/articles/188>.

6. СТУДОПЕДИЯ Ваша школопедия. Каналізаційно-насосні станції. Режим доступу: http://studopedia.com.ua/1_144912_kanalizatsiyno-nasosnoi-stantsii.html.

7. ДБН В.2.5-75:2013. Каналізація. Зовнішні мережі та споруди. – К.: Мінрегіон України, 2013. – 219 с.

8. Строительный портал. Каналізаційна насосна станція – пристрій, розрахунок і монтаж. Режим доступу: <http://economstroy.com.ua/stroyobzors/6659-kanalizaziyna-nasosna-stanzia.html>.

9. Насосні станції водопостачання і водовідведення. Навчально-методичний посібник до практичних занять, виконання курсових і дипломних проектів (для студентів 3-5 курсів денної і заочної форм навчання спеціальності водопостачання і водовідведення 7.092601). Укл. Тітов Ю.П., Яковенко М.М., - Харків, 2004. - 203 с.

10. AGGREGATE. Каталог насосів. Насоси СМ. Режим доступу: http://www.aggregate.com.ua/pumps/sm250_200_400.html.

11. ТОВ «Компані Плазма». ФЕКАЛЬНИЙ (СТОЧНО-МАССНИХ) НАСОС СМ 250-200-400 (СМ 250-200-400 / 4А, СМ 250-200-400 / 4Б, СМ 250-200-400 / 6А, СМ 250-200-400 / 6Б). Режим доступу: http://www.plasma.com.ua/pump/dirty_liquids/sm250_200_400.html.

12. ЭЛЕКТРОМОТОР. Насосы СМ. Режим доступа: <http://electronpo.ru/nasos-sm>.

13. ООО «СИСТЕМАКС» – Только лучшее промышленное оборудование. АИР трехфазные электродвигатели. Электродвигатель АИР355S4 (АИР 355 S4) 250 кВт 1500 об/мин. Режим доступа: <https://systemax.com.ua/p22735135-elektrodvigatel-air355s4-air.html>

14. Регион. Новые технологии. АИР355S4 Электродвигатель общепромышленный асинхронный. Режим доступа: <http://ufk-techno.ru/1228.htm>.

15. СВ АЛЬТЕРА. Электротехника & Автоматизация. Главная » Продукция » Электроприводная техника » Преобразователи » Устройства пуска/останова асинхронных электродвигателей » Устройства плавного пуска » Устройство плавного пуска ADX 250кВт. Режим доступа: <http://www.svaltera.ua/catalog/796/1720.php>.

16. ОВК КОМПЛЕКТ. Главная. Электрооборудование. Устройства плавного пуска. Устройство плавного пуска Lovato Electric 51ADX0470 250 кВт. Режим доступа: <https://ovk.ua/shop/product/lovato-electric-51adx0470-250-kvt>.

17. Schneider Electric. Усі продукти. Автоматизація і промисловий контроль. Пускачі, Контактори і компоненти захисту Пристрої плавного пуску. Altistart 22. Режим доступу: <https://www.schneider-electric.ua/uk/product/ATS22C48Q>.

18. Schneider Electric. Усі продукти Автоматизація і промисловий контроль Електроприводи Altivar Process Altivar Process ATV900. Режим доступу: <https://www.schneider-electric.ua/uk/product/ATV930C25N4F>.

19. Prom.ua. Промислові та оптові товари. Електрообладнання. Компоненти АСУТП. Перетворювачі. Інвертори. ATV930C25N4F ПЕРЕТВОР.ЧАСТ. ATV930 250 кВт КОМПЛ.ІР21. Режим доступу: <https://prom.ua/ua/p431026171-atv930c25n4f-peretvorchast-atv930.html>.

20. Системы управления электроприводами: Учеб. пособие / А. П. Голубь, Б. И. Кузнецов, И. А. Опрышко, В. П. Соляник. – К.: УМК ВО, 1992. – 376 с.

21. Симаков Г.М. Системы управления электроприводами: Учеб. Пособие по курсовому проектированию. - Новосибирск: Изд-во НГТУ, 2006. - 120 с.

22. Чорний О. П. Моделювання електромеханічних систем: Підручник / О. П. Чорний, А. В. Луговой, Д. Й. Родькін, Г. Ю. Сисюк, О. В. Садовой – Кременчук, 2001. – 410 с.

ДОДАТОК А

(Обов'язковий)

Міністерство освіти і науки України
Вінницький національний технічний університет
Факультет електроенергетики та електромеханіки

ПОГОДЖЕНО

Заступник дек. ФЕЕЕМ з НМР

к.т.н., доцент О. Б. Бурикін

“ ____ ” _____ 20__ р.

ЗАТВЕРДЖЕНО

Завідувач кафедри ЕМСАПТ

д.т.н., професор В. М. Кутін

“ ____ ” _____ 20__ р.

ТЕХНІЧНЕ ЗАВДАННЯ

на магістерську кваліфікаційну роботу

ОПТИМІЗАЦІЯ ПРОЦЕСУ ТРАНСПОРТУВАННЯ СТИЧНИХ ВОД ЗАСОБАМИ ЕЛЕКТРОПРИВОДА В СИСТЕМАХ ВОДОВІДВЕДЕННЯ ВЕЛИКИХ МІСТ

08-16.МКР.003.00.000 ТЗ

Керівник роботи

доцент

_____ М. М. Мошноріз

“ ____ ” _____ 2019 р.

Виконавець: ст. гр. ЕПА-18м

_____ М. С. Гуцько

“ ____ ” _____ 2019 р.

Вінниця ВНТУ 2019

1 Загальні відомості

Повне найменування розробки – «Оптимізація процесу транспортування стічних вод засобами електропривода в системах водовідведення великих міст».

Скорочене найменування розробки – «Система транспортування стічних вод».

Замовник – кафедра електромеханічних систем автоматизації в промисловості і на транспорті.

2 Підстави для розробки

Індивідуальне завдання та наказ ректора Вінницького національного технічного університету про затвердження тем дипломного проектування.

3 Призначення розробки і галузь використання

Електропривод каналізаційної насосної станції та його система керування призначені для відкачування стічних вод з накопичувального резервуару з продуктивністю 1500 м³/год. та напору 44 м.в.ст. в тривалому режимі роботи. Оптимальний алгоритм роботи системи транспортування стічних вод можна використати для будь якої каналізаційної системи з будь якою кількістю насосних станцій.

4 Вимоги до розробки

Електропривод та система керування повині забезпечувати надійну роботу в тривалому режимі при коефіцієнті завантаження 50%.

5 Комплектація розробки

Система транспортування стічних вод складається з 6-ти насосних станцій та має 12 маршрутів транспортування стічних вод. Розглянута насосна станція складається з двох насосних агрегатів, системи керування та накопичувальної ємності для стічної води.

6 Технічні характеристики

Кількість насосів – 2 шт.; продуктивність насосної станції – 1500 м³/год; геодезична висота підйому відходів – 46 м.в.ст.; час розгону і сповільнення привода насосів – до 2 с; орієнтовний ККД насоса – 71%.

7 Джерела розробки

1. Насосні станції водопостачання і водовідведення. Навчально-методичний посібник до практичних занять, виконання курсових і дипломних проектів (для студентів 3-5 курсів денної і заочної форм навчання спеціальності водопостачання і водовідведення 7.092601). Укл. Тітов Ю.П., Яковенко М.М., - Харків, 2004. - 203 с.

2. Ермолин Ю. А. Оптимизация процесса транспортировки сточных вод в системах водоотведения крупных городов: автореферат диссертации на соискание ученой степени доктора техн. наук. по специальности 05.23.04 – Водоснабжение, канализация, строительные системы охраны водных ресурсов. – Москва, 1995. – 48 с.

8 Стадії і етапи розробки

Назва етапів роботи	Строк виконання
Виконання спеціальної частини МКР	
Виконання розділу «Економічна частина»	
Виконання розділу «Охорона праці та безпека в надзвичайних ситуаціях»	

9 Елементна база

Двигун, апаратура керування і захисту, провідники, кабелі і т.п. виробництва України чи країн близького зарубіжжя.

10 Конструктивне виконання

Система оптимального керування складається з окремих блоків, що реалізуються у відповідності до вимог електробезпеки у бризгозахищеному виконанні.

10 Показники технологічності

Обладнання виконується на сучасній елементній базі. Його монтаж, заземлення, струмопровід повинні відповідати правилам улаштування електроустановок.

12 Технічне обслуговування і ремонт

Технічне обслуговування здійснюється слюсарями-електромонтажниками відповідної кваліфікації, черговими на насосних станціях водовідведення. Технічний огляд пристроїв автоматизації та керування здійснюється мінімум один раз на півроку. Ремонт здійснюється електромеханіками, фахівцями з електромеханічних систем автоматизації та електропривода.

13 Живлення електропривода

Живлення електропривода повинно бути виконане трифазною напругою 0,4 кВ.

ДОДАТОК Б

РОЗРАХУНОК РЕГУЛЯТОРА СТРУМУ

$$w_{tm}(s) := \frac{k_f}{t_f \cdot s + 1} \text{ float, 3} \rightarrow \frac{22.0}{0.00637 \cdot s + 1.0}$$

$$w_e(s) := \frac{k_{ui}}{t_e \cdot s + 1} \text{ float, 3} \rightarrow \frac{1.92}{0.112 \cdot s + 1.0}$$

$$w_m(s) := \frac{1}{j \cdot s} \text{ float, 3} \rightarrow \frac{0.0549}{s}$$

$$w_s(s) := \frac{k_s}{t_s \cdot s + 1} \text{ float, 3} \rightarrow \frac{0.00343}{0.02 \cdot s + 1.0}$$

$$w_{pks}(s) := w_{tm}(s) \cdot w_e(s) \cdot w_s(s) \text{ float, 3} \rightarrow \frac{0.145}{(0.00637 \cdot s + 1.0) \cdot (0.112 \cdot s + 1.0) \cdot (0.02 \cdot s + 1.0)}$$

$$t_{s_{min}} := \min(t_f, t_e, t_s) = 6.366 \times 10^{-3}$$

$$w_{pksb}(s) := \frac{1}{2 \cdot t_s \cdot s \cdot (t_s \cdot s + 1)} \text{ float, 3} \rightarrow \frac{78.5}{s \cdot (0.00637 \cdot s + 1.0)}$$

$$r_s(s) := \frac{w_{pksb}(s)}{w_{pks}(s)} \left| \begin{array}{l} \text{float, 3} \\ \text{series} \end{array} \right. \rightarrow 71.5 + \frac{541.0}{s} + 1.21 \cdot s$$

$$w_{ks}(s) := \frac{w_{pksb}(s) \cdot \frac{1}{w_s(s)}}{1 + w_{pksb}(s)} \left| \begin{array}{l} \text{float, 3} \\ \text{simplify} \end{array} \right. \rightarrow \frac{71857.0 \cdot s + 3.59e6}{157.0 \cdot s + s^2 + 12323.0}$$

$$w(s) := w_{ks}(s) \cdot k_{im} \cdot w_m(s) \left| \begin{array}{l} \text{float, 3} \\ \text{collect} \end{array} \right. \rightarrow \frac{1.5e25 \cdot s + 7.48e26}{1.23e25 \cdot s + 1.57e23 \cdot s^2 + 1.0e21 \cdot s^3}$$

Рисунок Б1 – Розрахунок регулятора струму при модульному критерію оптимальності в математичному пакеті Mathcad

ДОДАТОК В

ІЛЮСТРАТИВНІ МАТЕРІАЛИ

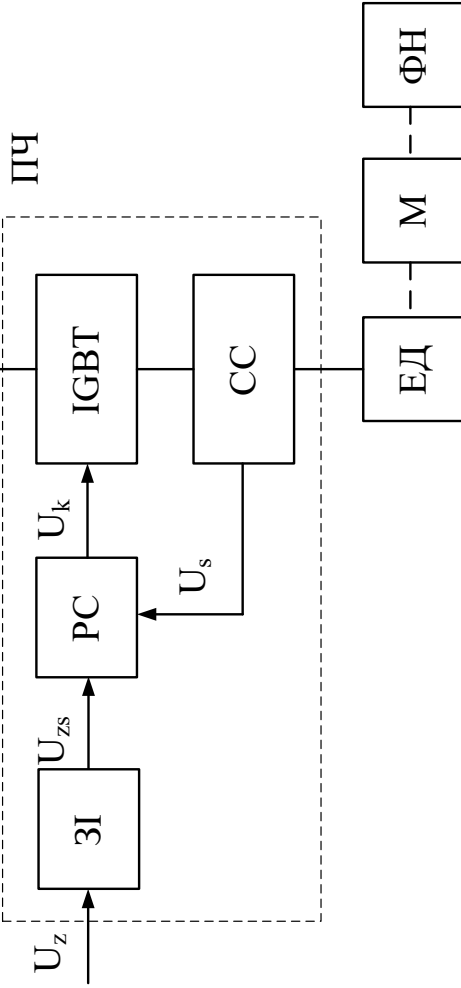
Метою роботи є підвищення енергоефективності роботи системи транспортування стічних води за рахунок розробки науково-методичних основ оптимального оперативного управління напірно-самопливними системами водовідведення великих міст як в нормальних, так і в аварійних режимах експлуатації, що досягається злагодженим керуванням електроприводами насосних станцій.

Мета досягається шляхом вирішення наступних **завдань**:

1. Аналіз літературних джерел по темі роботи.
2. Розробка системи автоматизованої роботи електроприводів насосної станції.
3. Вибір критерію і розробка алгоритму оптимального оперативного управління системою водовідведення в нормальних експлуатаційних режимах на базі аналізу експлуатаційних економічних показників.
4. Розробка математичної моделі роботи системи транспортування стічних вод.
5. Моделювання роботи системи транспортування стічних вод відповідно до розроблено критерію.
6. Моделювання роботи насосної станції як одного з виконавчих елементів системи транспортування стічних вод.

08-16.МКР.003.00.000 Е1

МЖ



Познач.	Найменування	Кіл	Примітка
МЖ	Мережа живлення	1	
АВ	Автоматичний вимикач	1	
IGBT	IGBT модуль	1	
ЗІ	Задавач інтенсивності	1	
РС	Регулятор струму	1	
ПЧ	Перетворювач частоти	1	
СС	Сенсор струму	1	
ЕД	Приводний двигун	1	
М	Муфта	1	
ФН	Фекальний насос	1	

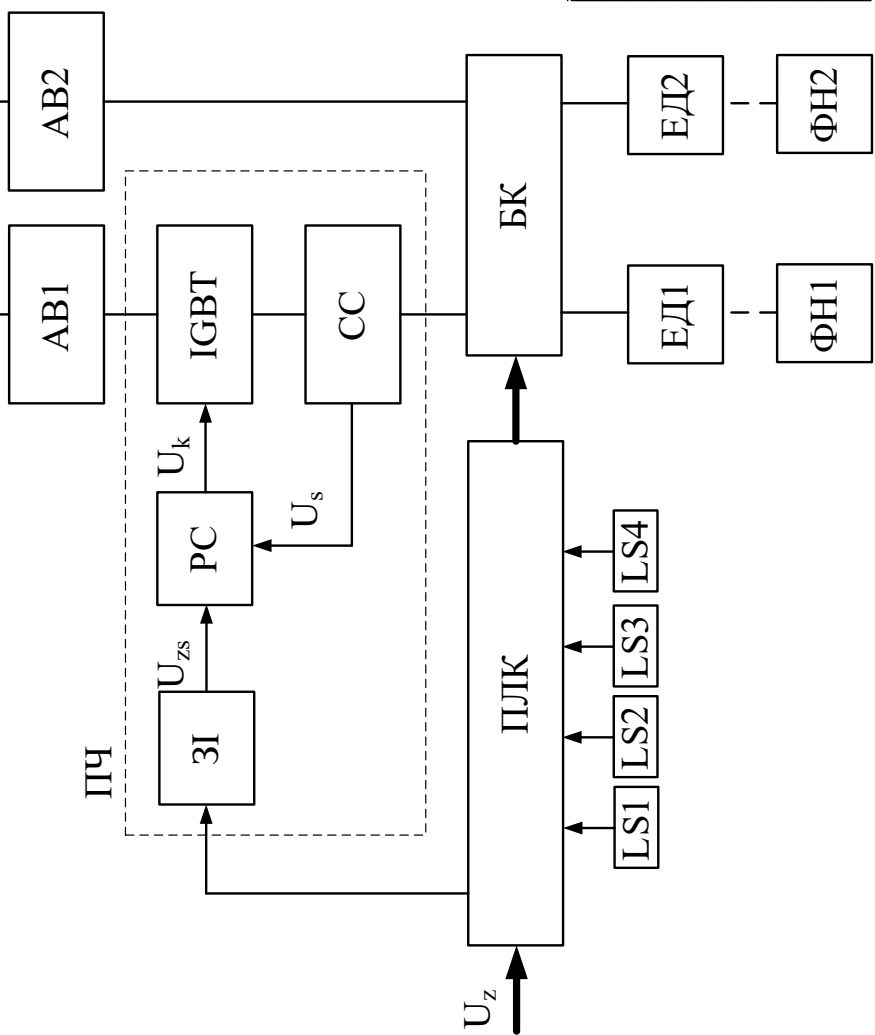
08-16.МКР.003.00.000 Е1

Зм.	Арк.	№ докum.	Підп.	Дата	Літера	Маса	Масштаб
Розробив	Гуляко М.С.				У		
Перевірив	Молшориз М.М.						
Т. контр.					Аркуші		Аркуші
Рецензент							
Н.контр.							
Затв.	Кутні В. М.						ВНТУ, ЕПА-18М

Інв. № ориг. Підпис і дата Зам. інв. № Інв. № дубл. Підпис і дата

08-16.МКР.003.00.000 Е2

МЖ



Інв. № орн. Підпис і дата
Зам. інв. № Інв. № дубл. Підпис і дата

Познач.	Найменування	Кіл	Примітка
АВ1,2	Автоматичний вимикач приводних двигунів	2	
ЗІ	Задавач інтенсивності	1	
РС	Регулятор струму	1	
ІGBT	ІGBT-модуль	1	
СС	Сенсор струму	1	
ПЛК	Програмований логічний контролер	1	
БК	Блок комутації	1	
LS1-4	Сенсори рівня	4	
ЕД1, 2	Приводний електричний двигун насосів	2	
ФН1, 2	Фекальний насос каналізаційної насосної станції	2	
МЖ	Мережа живлення насосної станції	1	

08-16.МКР.003.00.000 Е2					
Зм.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата	Літера
Розробив	Гулько М. С.				У
Перевірив	Мошоріз М.М				
Т. контр.					Аркуш
Рецензент					Аркушів
Н.контр.					
Затв.	Купін В. М.				
ВНТУ, ЕПА-18М					

- рівняння перетворення СТСВ

$N = N(q)$ - рівняння перетворення СТСВ

$a_{ij} = \begin{cases} 1, & \text{якщо } i - \text{та вершина належить } j - \text{му маршруту;} \\ 0, & \text{якщо } i - \text{та вершина не належить } j - \text{му маршруту.} \end{cases}$

- елементи матриці споруд СТСВ

$(i \in \overline{1, R}; j \in \overline{1, P})$ R – кількість споруд в СТСВ, P – кількість маршрутів транспортування води

$[A] = \begin{bmatrix} A_1 \\ \dots \\ A_p \end{bmatrix}$,

- складена матриця з описом об'єктів СТСВ активного характеру транспортування (наосні станції) і пасивного характеру транспортування (комунікаційні споруди)

$[q] = \begin{bmatrix} q_1 \\ q_2 \\ \dots \\ q_p \end{bmatrix}$,

- матриця продуктивностей СТСВ по кожному маршруту

$[Q] = \begin{bmatrix} Q_1 \\ Q_2 \\ \dots \\ Q_k \end{bmatrix}$

- матриця вхідних продуктивностей СТСВ

$[W] = \begin{bmatrix} W_{k+1} \\ W_{k+2} \\ \dots \\ W_R \end{bmatrix}$

- матриця пропускних спроможностей споруд СТСВ

$B[b_1, b_2, \dots, b_p]$ - матриця-рядок питомих енергозапрат по кожному маршруту СТСВ

Модель роботи СТСВ

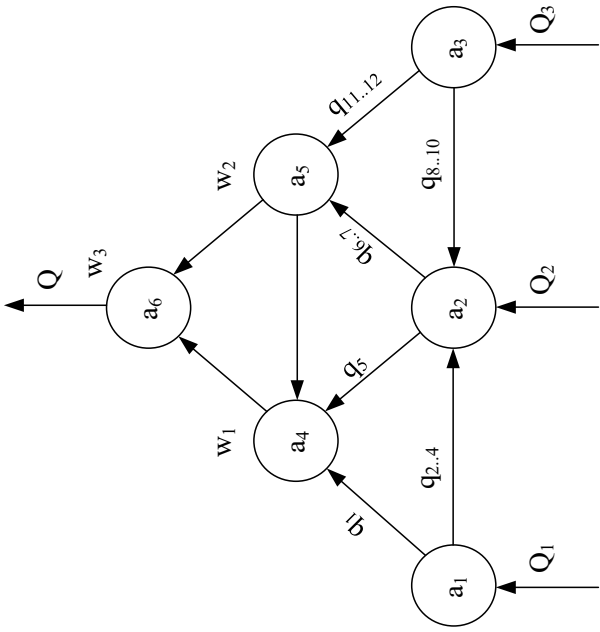
$$\begin{aligned} E &= a_2 + b_2 \cdot Q + c_2 Q^2 \\ [A_1][q] &= [Q] \\ [A_2][q] &\leq [W] \\ q_j &\geq 0 \end{aligned}$$

Сумарна кількість електричної енергії, що споживається СТСВ

$$E = \sum_{s=1}^S \left(a_s + b_s \cdot \sum_{j \in S} q_j + c_s \cdot \left(\sum_{j \in S} q_j \right)^2 \right)$$

Критерій оптимізації процесу перерозподілу потоків стічної води у СТСВ

$$E = [B][q] \Rightarrow \min$$



Граф СТЦВ

$$[A] = \begin{bmatrix} a_{11} & a_{12} & a_{13} & a_{14} & a_{15} & a_{16} & a_{17} & a_{18} & a_{19} & a_{110} & a_{111} & a_{112} \\ a_{21} & a_{22} & a_{23} & a_{24} & a_{25} & a_{26} & a_{27} & a_{28} & a_{29} & a_{210} & a_{211} & a_{212} \\ a_{31} & a_{32} & a_{33} & a_{34} & a_{35} & a_{36} & a_{37} & a_{38} & a_{39} & a_{310} & a_{311} & a_{312} \\ a_{41} & a_{42} & a_{43} & a_{44} & a_{45} & a_{46} & a_{47} & a_{48} & a_{49} & a_{410} & a_{411} & a_{412} \\ a_{51} & a_{52} & a_{53} & a_{54} & a_{55} & a_{56} & a_{57} & a_{58} & a_{59} & a_{510} & a_{511} & a_{512} \\ a_{61} & a_{62} & a_{63} & a_{64} & a_{65} & a_{66} & a_{67} & a_{68} & a_{69} & a_{610} & a_{611} & a_{612} \end{bmatrix}$$

Матрица споруд каналізційної системи

$$[A] = \begin{bmatrix} 111100000000 \\ 011111111000 \\ 000000011111 \\ 111011011010 \\ 001101101111 \\ 111111111111 \end{bmatrix} \quad [A_1] = \begin{bmatrix} 111100000000 \\ 011111111100 \\ 000000011111 \\ 111011011010 \\ 001101101111 \\ 111111111111 \end{bmatrix}$$

$$[A_2] = \begin{bmatrix} 111011011010 \\ 001101101111 \\ 111111111111 \end{bmatrix}$$

$$[q] = \begin{bmatrix} q_1 \\ q_2 \\ q_3 \\ q_4 \\ q_5 \\ q_6 \\ q_7 \\ q_8 \\ q_9 \\ q_{10} \\ q_{11} \\ q_{12} \end{bmatrix}$$

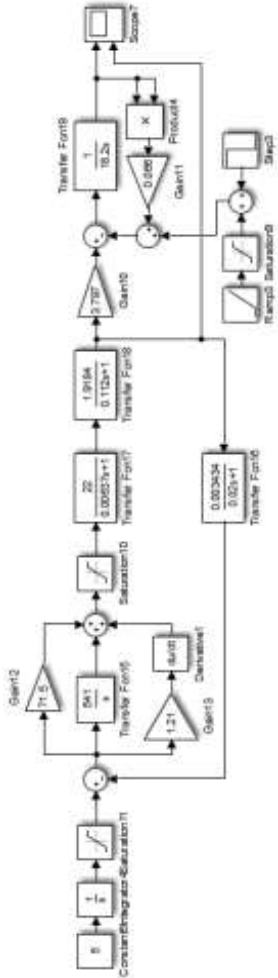
$$[Q] = \begin{bmatrix} Q_1 \\ Q_2 \\ Q_3 \end{bmatrix}$$

$$[W] = \begin{bmatrix} w_1 \\ w_2 \\ w_3 \end{bmatrix}$$

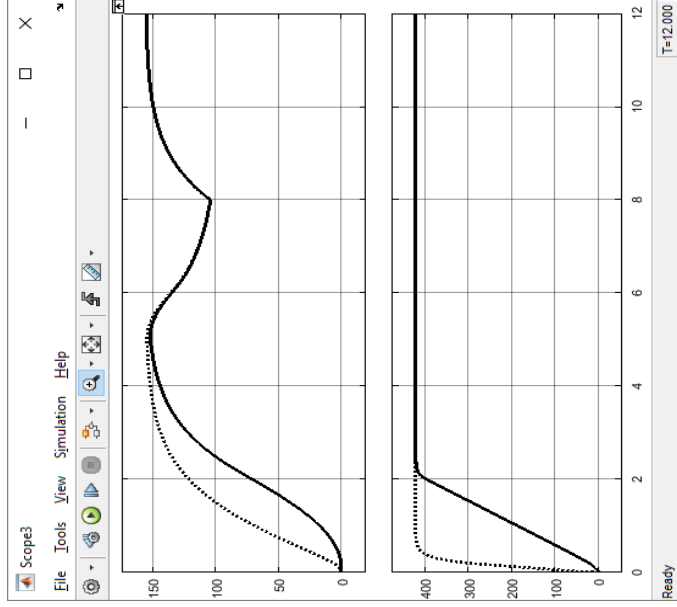
Q1-15, Q2-45, Q3-40%	Маршрут (j)												qR	E		
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12				
Споруди (i)	1	0,00	0,98	0,95	1,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,30	1,00
	2	0,00	0,42	0,37	0,48	1,00	0,48	0,57	0,42	0,37	0,48	0,00	0,00	0,00	0,90	
	3	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,82	0,67	0,89	0,82	1,00	0,00	0,80	
	4	0,97	0,77	0,73	0,00	1,00	0,87	0,00	0,77	0,60	0,00	0,77	0,00	0,64	0,36	
qP	5	0,00	0,00	0,78	1,00	0,00	1,00	0,17	0,00	0,68	1,00	0,89	0,69	0,97	1,00	
	6	0,97	0,58	0,77	0,87	1,00	0,87	0,97	0,82	0,71	0,87	0,82	0,97	1,00	0,78	

Q1-25, Q2-35, Q3-40%	Маршрут (j)												qR	E	
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12			
Споруди (i)	1	1,00	0,90	0,86	0,93	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,50
	2	0,00	0,39	0,34	0,44	1,00	0,44	0,23	0,39	0,34	0,44	0,00	0,00	0,00	0,70
	3	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,82	0,67	0,89	0,82	1,00	0,00	0,80
	4	0,97	0,77	0,73	0,00	1,00	0,87	0,00	0,77	0,60	0,00	0,77	0,00	0,64	0,36
	5	0,00	0,00	0,78	1,00	0,00	1,00	0,17	0,00	0,68	1,00	0,89	0,69	0,97	1,00
	6	0,97	0,58	0,77	0,87	1,00	0,87	0,97	0,82	0,71	0,87	0,82	0,97	1,00	0,81
qP	0,90	0,80	0,98	0,86	0,99	0,93	0,44	0,94	0,92	0,93	1,00	0,81			

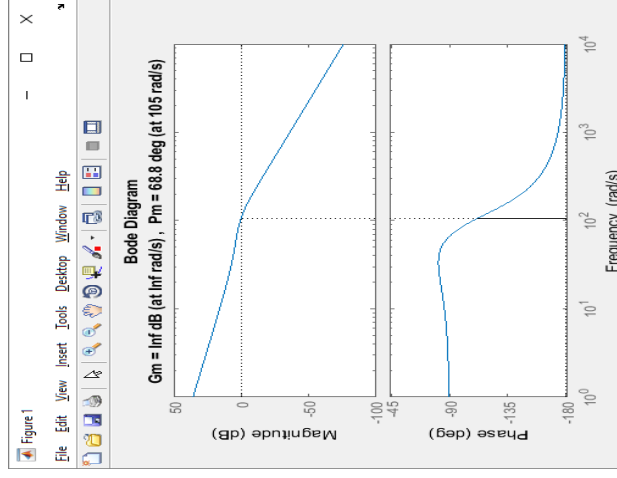
Q1-35, Q2-25, Q3-40%	Маршрут (j)												qR	E	
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12			
Споруди (i)	1	1,00	0,84	0,79	0,89	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,67
	2	0,00	0,89	0,78	1,00	0,00	1,00	0,50	0,89	0,79	1,00	0,00	0,00	0,00	0,50
	3	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,82	0,67	0,89	0,82	1,00	0,00	0,80
	4	1,00	0,80	0,75	0,00	0,82	0,90	0,00	0,80	0,62	0,00	0,80	0,00	0,61	0,39
	5	0,00	0,00	0,78	1,00	0,00	1,00	0,31	0,00	0,68	1,00	0,89	0,72	0,97	1,00
	6	0,97	0,58	0,77	0,87	1,00	0,87	0,97	0,82	0,71	0,87	0,82	0,97	1,00	0,81
qP	0,96	0,82	1,00	0,90	0,59	0,90	0,45	0,89	0,88	0,90	0,97	0,79			



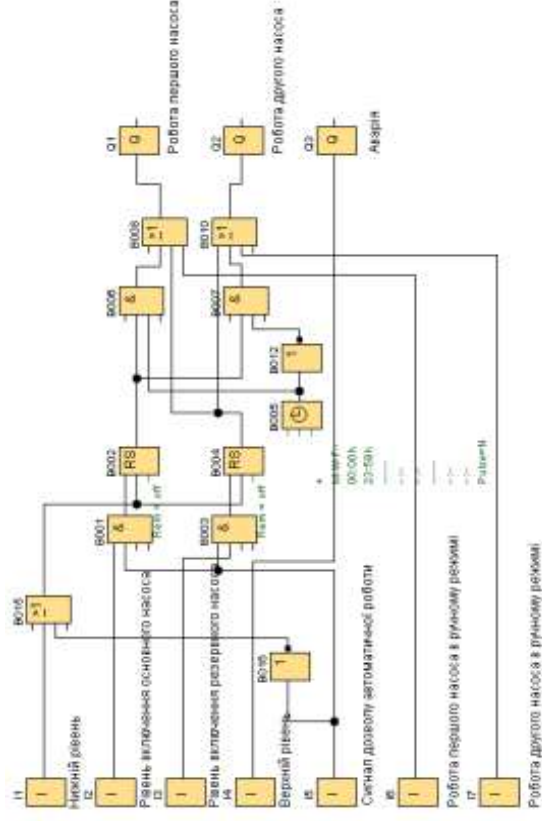
Комп'ютерна модель електропривода зі зворотним зв'язком за струмом статора двигуна



Порівняння графіків перехідних процесів швидкості двигуна (верхнє вікно) та його струму (нижнє вікно) зі зворотним зв'язком за струмом (штрихова лінія) і без зворотного зв'язку (суцільна лінія)



Логарифмічна амплітудо-частотна (вікно зверху) та фазочастотна (вікно знизу) характеристики електропривода



Програма роботи системи керування каналізаційною насосною станцією в програмному середовищі Logo Soft Comfort



Режим симуляції програмного середовища Logo Soft Comfort V8

	РКС-АД	ППП(Lovato electric)-АД	ППП(Schneider electric)-АД	ПЧ(Schneider electric)-АД
Вартість двигуна, грн.	332074	332074	332074	332074
Вартість сист. керув., грн.	35156	160059	87890	554048
Капітальні затрати, грн.	367230	492133	419964	886122
Річні кап. затрати, грн./рік	62429	83663	71394	150641
Затрати на електроен. грн./рік	481800	4380000	4380000	3942000
Затрати на амортиз., грн./рік	36723	49213	41996	88612
Затрати на ремонт, грн./рік	7345	9843	8399	17722
Затрати на обслугов., грн./рік	243103	221953	221520	202417
Приведені річні затрати, грн./рік	516760	4744671	4723309	4401392

Техніко-економічне співставлення систем електроприводу

№ п/п	Найменування	Кіл.	Ціна за одиницю	Вартість	
				базова	Вартість нова
1	Двигун АИР 355 S4 потужністю 250 кВт	1	0	0	0
2	Силовий перетворювач	1	554048	0.0	554048.0
3	Система керування	1	-	55404,8	55404,8
4	Допоміжні матеріали (провідники, скоби, інструмент)		-	27702,4	27702,4
5	Вартість обладнання			83107,2	637155,2
6	Транспортні витрати (7%)			5817,5	44600,9
7	Вартість всього			88924,7	681756,1
8	Монтажні роботи (10%)			8892,5	68175,6
9	Капітальні вкладення всього			97817,2	749931,7

Визначення кошторису витрат для нового і старого варіантів

Експлуатаційні затрати

$$З_{ЕФ} = З_{ЕБ} - З_{ЕН} \quad З_{ЕФ} = 1179837 - 622319 = 557518$$

Термін окупності

$$T_{OK} = \frac{K_H - K_E}{З_{ЕФ}} \quad T_{OK} = \frac{749932 - 97817}{557518} = 1,17$$

Річний економічний ефект

$$EE = (З_{ЕБ} - З_{ЕН}) - E_H \cdot (K_H - K_E) \quad EE = (398964 - 283633) - 0,2 \cdot (749932 - 97817) = 427096$$

ВИСНОВКИ

- Виконано розрахунок електроприводів каналізаційної насосної станції та розроблено алгоритм оптимального керування системою транспортування стічних вод.
- Для заданих умов роботи було розраховано і вибрано два насоси та приводні двигуни. Обрано насоси відцентрового типу СМ 250-200-400/4 та асинхронні двигуни з короткозамкнутим ротором. Потужність одного насосу становить 250 кВт.
- Для приводу насосів шляхом техніко-економічного обґрунтування обрано систему електропривода на базі перетворювача частоти Schneider Electric. При цьому даний електропривод порівнювався з приводами на основі пристроїв плавного пуску. Найкращою з точки зору економічних затрат стала система ПЧ-АД.
- Розроблено структурну та функціональну схеми одного електропривода. Розраховано та вибрано автоматичний вимикач, транзистори, сенсор струму, регулятор.
- Для розрахунку системи оптимального керування розглядався випадок, коли СТСВ складається з 6-ти каналізаційних насосних станцій. Для формалізації задачі оптимізації розроблено математичну модель роботи системи у матричному (табличному) вигляді.
- Для обраної конфігурації каналізаційної мережі, виконано розрахунок продуктивностей насосних станцій, при яких споживання енергії всією системою буде найменшим. Для цього модифіковано відомий критерій, внесено додаткові обмеження та отримано результати для різних значень вхідної подачі стоків. Отримано, що зі збільшенням вхідної подачі, продуктивність станції необхідно також збільшувати, але треба вірно обирати маршрут транспортування. Запропонований алгоритм дозволяє так розподілити потоки стічних вод між різними насосними станціями, щоб споживання ними було мінімальним, а вся вхідна вода подавалася на очисні споруди.
- Досліджено графіки перехідних процесів розмікнutoї та замкнутої системи електропривода зі зворотним зв'язком за струмом статора двигуна. Порівняно з випадком, коли система розмікнута, у замкнутій отримано менший час перехідного процесу і відсутність коливань струму двигуна. У обох випадках електропривод працює без коливань по швидкості обертання.
- Замкнуту систему електропривода досліджено на стійкість в частотній області. Вона виявилася стійкою з безмежним запасом стійкості за амплітудою.
- Розроблено імітаційну модель роботи однієї насосної станції, що складається з двох насосів. Написано програму роботи такої насосної станції.

Наукова новизна магістерської роботи полягає у наступному:

1. Отримав подальший розвиток підхід до оперативного управління міською системою водовідведення шляхом цілеспрямованого перерозподілу потоків стічних вод по транспортних магістралях мережі за рахунок узгодження роботи насосних станцій між собою. На відміну від відомих підходів пропонується як цільову функцію оптимізації обрати енергозатрати всіх насосних станцій і ввести «коефіцієнт збитковості» кожного з маршрутів транспортування, що дозволить виконати більш точніший підбір оптимальних маршрутів транспортування води і зменшити споживання електроенергії.

2. Отримала подальший розвиток математична модель системи транспортування стічних вод, що на відміну від відомих дозволяє описати залежність енергетичних затрат цілої системи від продуктивностей кожної насосної станції з врахуванням коефіцієнта ефективності роботи всіх насосних станцій та «коефіцієнта збитковості» маршрутів транспортування.

Практичне значення одержаних результатів:

1. Розроблено алгоритм оптимального функціонування системи водовідведення великого міста в нормальних умовах експлуатації, при якому забезпечується мінімальне споживання електроенергії насосними станціями.

2. Розроблено алгоритм роботи системи керування каналізаційної насосної станції, що складається з двох насосних агрегатів і сенсорів рівня водоприймального резервуару.

3. Розроблено програмне забезпечення для роботи системи керування каналізаційної насосної станції, що складається з двох насосних агрегатів і сенсорів рівня водоприймального резервуару, на базі обладнання Siemens.

Апробація результатів роботи. Основні результати роботи апробовані на всеукраїнській науково-технічній конференції «IV всеукраїнська науково-практична конференція "Енергоефективність: наука, технології, застосування"». 27 листопада 2019 р. м. Київ: НПУ імені М. П. Драгоманова з доповіддю «Оптимізація процесу транспортування стічних вод засобами електропривода в системах водовідведення великих міст»

Публікації. За тематикою роботи опубліковано тези доповідей на двох науково-технічних конференціях, а саме:

1. Мошноріз М. М. Оптимізація процесу транспортування стічних вод засобами електропривода в системах водовідведення великих міст: тези доповідей [текст] / М. М. Мошноріз, М. С. Гудько // Матеріали IV всеукраїнської науково-практичної конференції "Енергоефективність: наука, технології, застосування". Частина I. Київ, 27 листопада 2019 р. - Київ: НПУ імені М. П. Драгоманова, 2019. - С. 45- 50.

2. Мошноріз М. М. Оптимізація процесу транспортування стічних вод засобами електропривода в системах водовідведення великих міст [електронний ресурс] / М. М. Мошноріз, М. С. Гудько // Матеріали регіональної науково-практичної Інтернет-конференції студентів, аспірантів та молодих науковців "Молодь в науці: дослідження, проблеми, перспективи (МН-2020). Електроенергетика та електромеханіка», Вінниця, ВНТУ, 01.05.2020 – 05.05.2020. Режим доступу: <https://conferences.vntu.edu.ua/index.php/mn/mn2020/paper/view/8449>.

08-16.МКР.003.00.000

					08-16.МКР.003.00.000			
					<p>Оптимізація процесу транспортування стічних вод засобами електропривода в системах водовідведення великих міст. Мета та завдання дослідження</p>	Літера	Маса	Масштаб
Зм.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата		у		
Розробив		Гуцько М. С.						
Перевірів		Мошноріз М.М.						
Т. контр.						Аркуш	Аркушів	
Рецензент					ВНТУ, ЕПА-18м			
Н.контр.								
Затв.		Кутін В. М.						

08-16.МКР.003.00.000

					08-16.МКР.003.00.000			
					Оптимізація процесу транспортування стічних вод засобами електропривода в системах водовідведення великих міст. Загальні відомості про каналізаційні насосні станції	Літера	Маса	Масштаб
Зм.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата		У		
Розробив	Гуцько М. С.					Аркуш	Аркушів	ВНТУ, ЕПА-18м
Перевірив	Мошноріз М.М							
Т. контр.								
Рецензент								
Н.контр.								
Затв.	Кутін В. М.							

08-16.МКР.003.00.000 Е1

					08-16.МКР.003.00.000 Е1			
						Літера	Маса	Масштаб
Зм.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата	Оптимізація процесу транспортування стічних вод засобами електропривода в системах водовідведення великих міст. Схема електрична структурна	у		
Розробив	Гуцько М. С.							
Перевірив	Мошноріз М.М							
Т. контр.								
Рецензент								
Н.контр.					Аркуш	Аркушів		
Затв.	Кутін В. М.				ВНТУ, ЕПА-18м			

08-16.МКР.003.00.000 Е2

					08-16.МКР.003.00.000 Е2			
					Оптимізація процесу транспортування стічних вод засобами електропривода в системах водовідведення великих міст. Схема електрична функціональна	Літера	Маса	Масштаб
Зм.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата		у		
Розробив	Гуцько М. С.							
Перевірив	Мошноріз М.М							
Т. контр.						Аркуш	Аркушів	
Рецензент					ВНТУ, ЕПА-18м			
Н.контр.								
Затв.	Кутін В. М.							

08-16.МКР.003.00.000

					08-16.МКР.003.00.000			
					Оптимізація процесу транспортування стічних вод засобами електропривода в системах водовідведення великих міст. Модель системи транспортування стічних вод. Критерій оптимізації	Літера	Маса	Масштаб
Зм.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата		У		
Розробив	Гуцько М. С.							
Перевірив	Мошноріз М.М							
Т. контр.						Аркуш	Аркушів	
Рецензент					ВНТУ, ЕПА-18м			
Н.контр.								
Затв.	Кутін В. М.							

08-16.МКР.003.00.000

					08-16.МКР.003.00.000			
					Оптимізація процесу транспортування стічних вод засобами електропривода в системах водовідведення великих міст. Оптимізація процесу транспортування стічних вод засобами електропривода каналізаційних насосних станцій.	Літера	Маса	Масштаб
Зм.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата		у		
Розробив	Гуцько М. С.							
Перевірив	Мошноріз М.М							
Т. контр.						Аркуш	Аркушів	
Рецензент					ВНТУ, ЕПА-18м			
Н.контр.								
Затв.	Кутін В. М.							

08-16.МКР.003.00.000

					08-16.МКР.003.00.000			
					Оптимізація процесу транспортування стічних вод засобами електропривода в системах водовідведення великих міст. Динамічні характеристики насосного агрегату каналізаційної насосної станції.	Літера	Маса	Масштаб
Зм.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата		У		
Розробив	Гуцько М. С.							
Перевірив	Мошноріз М.М.							
Т. контр.						Аркуш	Аркушів	
Рецензент					ВНТУ, ЕПА-18М			
Н.контр.								
Затв.	Кутін В. М.							

08-16.МКР.003.00.000

					08-16.МКР.003.00.000			
					Оптимізація процесу транспортування стічних вод засобами електропривода в системах водовідведення великих міст. Розрахунок ефективності впровадження системи оптимального керування каналізаційними насосними станціями.	Літера	Маса	Масштаб
Зм.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата		У		
Розробив	Гуцько М. С.							
Перевірив	Мошноріз М.М.							
Т. контр.						Аркуш	Аркушів	
Рецензент						ВНТУ, ЕПА-18м		
Н.контр.								
Затв.	Кутін В. М.							

08-16.МКР.003.00.000

					08-16.МКР.003.00.000		
					Літера	Маса	Масштаб
Зм.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата	у		
Розробив	Гуцько М. С.						
Перевірів	Мошноріз М.М.				Висновки за результатами виконання роботи.		
Т. контр.					Аркуш	Аркушів	
Рецензент					ВНТУ, ЕПА-18м		
Н.контр.							
Затв.	Кутін В. М.						

08-16.МКР.003.00.000

					08-16.МКР.003.00.000			
					Оптимізація процесу транспортування стічних вод засобами електропривода в системах водовідведення великих міст. Наукова новизна та практичне значення роботи.	Літера	Маса	Масштаб
Зм.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата		У		
Розробив	Гуцько М. С.							
Перевірів	Мошноріз М.М.							
Т. контр.						Аркуш	Аркушів	
Рецензент					ВНТУ, ЕПА-18м			
Н.контр.								
Затв.	Кутін В. М.							

08-16.МКР.003.00.000

					08-16.МКР.003.00.000			
						Літера	Маса	Масштаб
Зм.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата	Оптимізація процесу транспортування стічних вод засобами електропривода в системах водовідведення великих міст. Апробація та публікації за темою роботи.	У		
Розробив	Гуцько М. С.							
Перевірів	Мошноріз М.М.							
Т. контр.								
Рецензент								
Н.контр.						Аркуш	Аркушів	
Затв.	Кутін В. М.					ВНТУ, ЕПА-18м		