

Національний університет «Полтавська політехніка імені Юрія Кондратюка»
(повне найменування вищого навчального закладу)

Навчально-науковий інститут інформаційних технологій та робототехніки
(повне найменування інституту, назва факультету (відділення))

Кафедра автоматики, електроніки та телекомунікацій
(повна назва кафедри (предметної, циклової комісії))

Пояснювальна записка

до кваліфікаційної роботи

магістр

(ступінь вищої освіти)

на тему **Удосконалення системи автоматичного керування станцією
водопідготовки в блочно-модульному виконанні**

Виконав: студент 6 курсу, групи 601МЕ
спеціальності 141 «Електроенергетика,
електротехніка та електромеханіка»

(шифр і назва напрямку підготовки, спеціальності)

Білоус О.Ю.

(прізвище та ініціали)

Керівник Леві Л.І.

(прізвище та ініціали)

Рецензент Галай В.М.

(прізвище та ініціали)

РЕФЕРАТ

кваліфікаційної роботи

«Удосконалення системи автоматичного керування станцією водопідготовки в блочно-модульному виконанні»

Робота містить 100 сторінок, 65 ілюстрацій, 28 таблиць, 25 використаних джерел.

Ключові слова: система автоматичного керування, водопідготовка, імітаційне моделювання електроприводу напірного насосу, датчик рівня, датчик тиску, витратомір.

Об'єктом магістерської роботи є система керування насосною станцією водопідготовки в блочно-модульному виконанні для побутових та промислових споживачів.

Предметом магістерської роботи є дослідження можливості та доцільності удосконалення системи керування насосною станцією водопідготовки в блочно-модульному виконанні для побутових та промислових споживачів.

Метою магістерської роботи пошук сучасних рішень поліпшення якості та швидкодії системи керування насосною станцією водопідготовки з використанням сучасного обладнання.

У першому розділі було проаналізовано існуючі технології водопідготовки. Окреслили напрямки удосконалення системи електроприводів насосів та САК насосною станцією в цілому. У другому розділі виконано вибір та розрахунок перетворювачів частоти, приводних двигунів напірних насосів, а також визначено параметри силового ланцюга. Було обґрунтовано вибір способу керування, розраховано електромеханічні та механічні характеристики. Методом імітаційного моделювання на ЕОМ досліджено перехідні процеси в основних режимах роботи. У третьому розділі було розроблено принципову схему керування електроприводами напірними насосами, а також здійснено розрахунок та вибір провідників, елементів схеми керування. Виконано синтез контуру регулювання тиску. У четвертому розділі розробили САК станцією водопідготовки, а також здійснили вибір засобів автоматизації.

ABSTRACT

of the qualification work

«Improvement of the automatic control system of the water treatment station in a block-modular design»

The work contains 100 pages, 65 illustrations, 28 tables, 25 sources used.

Keywords: automatic control system, water treatment, simulation modeling of the electric drive of the pressure pump, level sensor, pressure sensor, flow meter.

The object of the master's thesis is the control system of a water treatment pumping station in a block-modular design for domestic and industrial consumers.

The subject of the master's thesis is the study of the possibility and feasibility of improving the control system of a water treatment pumping station in a block-modular design for domestic and industrial consumers.

The purpose of the master's thesis is to search for modern solutions to improve the quality and speed of the control system of a water treatment pumping station using modern equipment.

The first section analyzed existing water treatment technologies. The directions for improving the system of electric drives of pumps and the automatic control system of the pumping station as a whole were outlined. In the second section, the selection and calculation of frequency converters, drive motors of pressure pumps, and the parameters of the power circuit were determined. The choice of the control method was justified, the electromechanical and mechanical characteristics were calculated. The transient processes in the main operating modes were studied using the method of computer simulation modeling. In the third section, the basic control scheme for electric drives of pressure pumps was developed, and the calculation and selection of conductors and control circuit elements were carried out. The synthesis of the pressure regulation circuit was performed. In the fourth section, the SAC of the water treatment station was developed, and the selection of automation means was carried out.

Національний університет «Полтавська політехніка імені Юрія Кондратюка»
Інститут Навчально-науковий інститут інформаційних технологій та
робототехніки

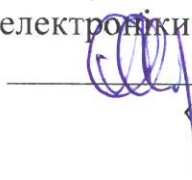
Кафедра Автоматики, електроніки та телекомунікацій

Ступінь вищої освіти Магістр

Спеціальність 141 «Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка»

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри автоматки,
електроніки та телекомунікацій

 О.В. Шефер
«01» жовтня 2025 р.

**ЗАВДАННЯ
НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ МАГІСТРА**

Білоусу Олександрю Юрійовичу

1. Тема проекту (роботи) **«Удосконалення системи автоматичного керування станцією водопідготовки в блочно-модульному виконанні»**. Керівник проекту **Леві Леонід Ісааккович, д.т.н., професор**, затверджена наказом вищого навчального закладу №1025-ф.а. від 03.09.2025 року.
2. Строк подання студентом проекту (роботи) 22.12.2025р.
3. Вихідні дані до проекту (роботи): продуктивність станції водопідготовки – до 480 м³/доба; об'єм води на власні потреби станції водопідготовки – до 20 м³/доба; напруга електричного ланцюга – 380В; встановлена потужність – 45 кВт; режим роботи – цілодобовий.
4. Зміст розрахунково-пояснювальної записки (перелік питань, які потрібно розробити) Аналіз існуючих технологій водопідготовки для споживачів. Аналіз технологічного процесу водопідготовки в насосних станціях блочно-модульного типу як об'єкта модернізації. Аналіз технологічних рішень для удосконалення НСВ. Розрахунок та вибір електроприводів системи керування НСВ. Перевірка вибраних електродвигунів за перевантажувальною здатністю та за перегрівом. Модернізація системи автоматичного керування електроприводами НСВ. Розробка структурних та функціональних схем керування електроприводами НСВ. Дослідження роботи електроприводів системи керування електроприводами НСВ. Розробка принципової схеми керування СВ. Розрахунок та вибір провідників схеми керування НСВ. Розрахунок та вибір елементів схеми керування НСВ. Розробка автоматизованої системи керування НСВ. Вибір засобів автоматизації системи керування СВ. Розробки системи диспетчеризації даних.
5. Перелік графічного матеріалу (з точним зазначенням обов'язкових плакатів):
 1. Актуальність, мета та задачі удосконалення САК станцією водопідготовки.
 2. Аналіз технологій водопідготовки та технічних рішень з удосконалення САК станцією водопідготовки.
 3. Розробка плану розташування обладнання станції водопідготовки.

4. Функціональна схема модернізації електроприводів насосів станції водопідготовки.
5. Дослідження динамічних режимів роботи електроприводів насосів станції водопідготовки.
6. Синтез системи регулювання тиску.
7. Автоматизована САК станцією водопідготовки.
8. Алгоритм роботи САК станцією водопідготовки.
9. Схема електрична принципова станцією водопідготовки.
10. Диспетчеризація даних насосної станції водопідготовки.
11. Висновки.

6. Дата видачі завдання 15.09.2025р.

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

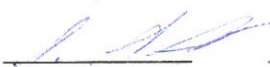
Пор. №	Назва етапів кваліфікаційної роботи магістра	Термін виконання етапів роботи			Примітка (плакати)
		Дата початку	Категорія	Відсоток виконання	
1	Аналіз існуючих технологій водопідготовки для споживачів	15.10.25		10%	Пл. 1, 2
2	Аналіз технологічного процесу водопідготовки насосних станціях блочно-модульного типу об'єкта модернізації. Аналіз технологічних рішень для удосконалення НСВ	21.10.25	I	25%	Пл. 3, 4
3	Розрахунок та вибір електроприводів системи керування НСВ. Перевірка вибраних електродвигунів за переважувальною здатністю та за перегрівом	09.11.25		50%	Пл. 5, 6
4	Модернізація системи автоматичного керування електроприводами НСВ. Розробка структурних та функціональних схем керування електроприводами НСВ. Дослідження роботи електроприводів системи керування електроприводами НСВ	18.11.25	II	60%	Пл. 7, 8
5	Розробка принципової схеми керування НСВ. Розрахунок та вибір провідників схеми керування НСВ. Розрахунок та вибір елементів схеми керування НСВ. Розробка автоматизованої системи керування НСВ. Вибір засобів автоматизації системи керування НСВ. Розробки системи диспетчеризації даних	12.12.25		70%	Пл. 9, 10, 11
6	Оформлення кваліфікаційної роботи	22.12.25	III	100%	

Студент


(підпис)

Білоус О.Ю.
(прізвище та ініціали)

Керівник роботи


(підпис)

Леві Л.І.
(прізвище та ініціали)

ЗМІСТ

	стор.
ПЕРЕЛІК УМОВНИХ ПОЗНАЧЕНЬ	8
ВСТУП	9
РОЗДІЛ 1 АНАЛІЗ ТЕХНОЛОГІЧНОГО ПРОЦЕСУ ВОДОПІДГОТОВКИ ДЛЯ ПОБУТОВИХ ТА ПРОМИСЛОВИХ СПОЖИВАЧІВ	
1.1 Аналіз існуючих технологій водопідготовки для побутових та промислових споживачів	12
1.2 Аналіз технологічного процесу водопідготовки в насосних станціях блочно-модульного типу як об'єкта модернізації	19
1.3 Технологічні рішення для удосконалення системи водопідготовки	23
1.4 Висновки за розділом	26
РОЗДІЛ 2 МОДЕРНІЗАЦІЯ ЕЛЕКТРОПРИВОДІВ НАСОСНОЇ СТАНЦІЇ ВОДОПІДГОТОВКИ БЛОЧНО-МОДУЛЬНОГО ТИПУ	
2.1 Розрахунок та вибір електроприводів системи керування насосної станції водопідготовки	27
2.2 Перевірка вибраних електродвигунів за перевантажувальною здатністю та за перегрівом	34
2.3 Модернізація системи автоматичного керування електроприводами насосної станції водопідготовки	35
2.3.1 Системи керування електроприводом	35
2.3.2 Вибір закону частотного регулювання	36
2.3.3 Вибір перетворювача частоти	37
2.4 Розрахунок природних характеристик електродвигуна	40
2.4.1 Розрахунок природної механічної характеристики	40
2.4.2 Розрахунок природної електромеханічної характеристики	42
2.4.3 Механічна характеристика насосу	43
2.4.4 Розрахунок статичних характеристик системи ПЧ-АД при частотному регулюванні	45
2.4.5 Механічні характеристики системи перетворювач-двигун при	

	7
законі регулювання $U_1/f_1^2 = \text{const}$	46
2.4.6 Електромеханічні характеристики системи перетворювач-двигун при законі регулювання $U_1/f_1^2 = \text{const}$	48
2.5 Розробка структурних та функціональних схем керування електроприводами насосної станції водопідготовки	49
2.6 Дослідження роботи електроприводів системи керування електроприводами насосної станції водопідготовки	54
2.7 Висновки за розділом	58
РОЗДІЛ 3 УДОСКОНАЛЕННЯ СИСТЕМИ КЕРУВАННЯ СТАНЦІЄЮ ВОДОПІДГОТОВКИ	
3.1 Розробка принципової схеми керування станцією водопідготовки	59
3.2 Розрахунок, вибір провідників та елементів схеми керування станцією водопідготовки	62
3.3 Синтез системи регулювання тиску	73
3.4 Висновки за розділом	79
РОЗДІЛ 4 РОЗРОБКА АВТОМАТИЗОВАНОЇ СИСТЕМИ КЕРУВАННЯ СТАНЦІЄЮ ВОДОПІДГОТОВКИ ТА ВИБІР ЇЇ ЕЛЕМЕНТІВ	
4.1 Розробка автоматизованої системи керування станцією водопідготовки	80
4.2 Вибір засобів автоматизації системи керування станцією водопідготовки	84
4.3 Розробки системи диспетчеризації даних	94
4.4 Висновки за розділом	96
ВИСНОВКИ	97
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ	98
ДОДАТОК А	102
ДОДАТОК Б	117

ПЕРЕЛІК УМОВНИХ ПОЗНАЧЕНЬ

НСВ – насосна станція водопідготовки

КН – компресорний насос

НН – напірний насос

НП – насос промивний

ДФ – дискові фільтри

ФОВ – фільтр очищення води

УФ – ультрафіолетова очистка

РЧВ – резервуар чистої води

РЕ – датчик тиску

FE – датчик витрати

LE – датчик рівня

pH – датчик домішків

ШК – шафа керування

ВСТУП

Актуальність роботи. Важливість водопідготовки зумовлена зростанням вимог до якості води, екологічного стану та необхідністю захисту побутової техніки, промислового обладнання і, загалом, уникнення проблем у водопровідних мережах. Для стабільного функціонування енергетичних систем, захисту апаратури від накипу та іржавіння, забезпечення води для споживання, в тому числі для досягнення високої якості виробів необхідна якісна водопідготовка.

Для побуту важливість водопідготовки полягає в здоров'ї, безпеці для людини та максимальним збереженням побутових приладів:

- здоров'я та безпека: процес водопідготовки забезпечує очищення води, яка стає безпечною для споживання та використання у побутових і господарських цілях, захищаючи від шкідливих речовин, що можуть бути присутні у неякісній воді;

- збереження побутових приладів: вода, яка проходить ретельне та якісне очищення, здатна ефективно запобігати утворенню накипу, розвитку корозії та виникненню різноманітних технічних пошкоджень. Завдяки цьому значно знижується ризик пошкоджень і підвищується стабільність роботи побутових приладів, таких як котли, пральні машини та інше обладнання. Це, у свою чергу, суттєво подовжує термін їхньої експлуатації, дозволяючи зберігати ефективність роботи й уникати частих ремонтів чи заміни деталей.

Водопідготовка відіграє не менш важливу роль і для промислових споживачів, адже вона є невід'ємною складовою забезпечення ефективності технологічних процесів, оптимізації використання водних ресурсів та дотримання екологічних стандартів:

- безперебійність виробничих процесів значною мірою залежить від якості води, яка має прямий вплив на ефективність роботи та довговічність обладнання. Саме тому очищення води є одним із основних чинників, що забезпечують стабільне функціонування підприємства;

□ якість продукції: у багатьох сферах, від харчової промисловості до косметології, вода виступає як сировина або розчинник. Її належне очищення відіграє ключову роль у забезпеченні високої якості кінцевого продукту;

□ захист обладнання є критично важливим аспектом у промисловості, особливо в енергетичному секторі. Вода, яка використовується як теплоносії, відіграє ключову роль у збереженні трубопровідних систем від корозії, а котлів – від утворення накипу. Це, у свою чергу, сприяє їхній тривалій експлуатації та підтримці високої ефективності роботи.

Комплексний підхід до процесу водопідготовки вимагає підвищеної уваги на забезпечення надійної та стабільної роботи обладнання, яке використовується на відповідних станціях. Окрім цього, важливу роль відіграє оптимальна швидкодія та точність систем керування, що відповідають за координацію та регулювання всього робочого процесу. Лише поєднання цих чинників дозволяє досягти максимальної ефективності та стабільності у сфері водопідготовки.

Тому **метою магістерської роботи** пошук сучасних рішень поліпшення якості та швидкодії системи керування насосною станцією водопідготовки з використанням сучасного обладнання.

Об'єктом магістерської роботи є система керування насосною станцією водопідготовки в блочно-модульному виконанні для побутових та промислових споживачів.

Предметом магістерської роботи є дослідження можливості та доцільності удосконалення системи керування насосною станцією водопідготовки в блочно-модульному виконанні для побутових та промислових споживачів.

Для досягнення поставленої мети необхідно виконати наступні **завдання**:

- вивчити існуючі технології водопідготовки для споживачів;
- проаналізувати технологічний процес водопідготовки в насосних станціях блочно-модульного типу як об'єкта модернізації;

- оцінити технологічні рішення для удосконалення системи водопідготовки;
- обрати напрямки удосконалення системи керування насосною станцією водопідготовки;
- здійснити модернізацію електроприводів та систем керування ними;
- розробити функціональні та структурні схеми електроприводів;
- здійснити дослідження статичних та динамічних режимів роботи електроприводів;
- виконати вибір провідників та елементів захисту системи керування електроприводами;
- розробити автоматизовану систему керування насосною станцією водопідготовки;
- розрахувати та вибрати сучасні засоби автоматизації системи керування насосною станцією водопідготовки;
- розробити систему диспетчеризації даних.

В якості матеріалу були використанні підручники, статті, інтернет ресурси для підбору засобів автоматизації НСВ.

Для вирішення поставлених завдань в роботі використана методика, що включає в себе методи теорії автоматичного керування та методи математичного моделювання на ПК.

РОЗДІЛ 1 АНАЛІЗ ТЕХНОЛОГІЧНОГО ПРОЦЕСУ ВОДОПІДГОТОВКИ ДЛЯ ПОБУТОВИХ ТА ПРОМИСЛОВИХ СПОЖИВАЧІВ

1.1 Аналіз існуючих технологій водопідготовки для побутових та промислових споживачів

У переважній частині води, яку забирають із підземних чи наземних джерел, присутні різні механічні включення, розчинені гази, бактерії, віруси, солі, важкі метали та ін. Через домішки, дана вода не відповідає мінімально необхідним вимогам для побутових та виробничих потреб. Для споживання вся вода має пройти водопідготовку з метою покращення її якості.

Для адаптації вихідної води до вимог конкретного виробництва, промислового підприємства або використання для побутових потреб застосовується система водопідготовки води [3].

Водопідготовка води – комплекс фізичних, хімічних та біологічних процесів для зниження вмісту у воді шкідливих домішок та збагачення її інгредієнтами, що бракують, щоб зробити її придатною для господарсько-питного, промислового або сільськогосподарського використання. У поверхневих та підземних природних водах зазвичай присутні у зваженому стані піщані та глинисті частинки, мул, планктон, колоїди органічного та мінерального походження, у тому числі: гумати, кремнекислота, гідроксид тривалентного заліза; в істиннорозчинному стані – мінеральні солі натрію, магнію, кальцію, фтору, двовалентного заліза, хлориди, сульфати, бікарбонати та ін. метали. Зазвичай у воді виявляються також бактерії та віруси.

Водопідготовка ґрунтується на кількох етапах (рис.1.1):

- механічна очистка;
- пом'якшення;
- очищення від важких металів, солей, різних хімічних сполук;
- освітлення;
- видалення зайвих запахів.

- видалення із складу деяких газів, розчинених у воді;
- знезараження.

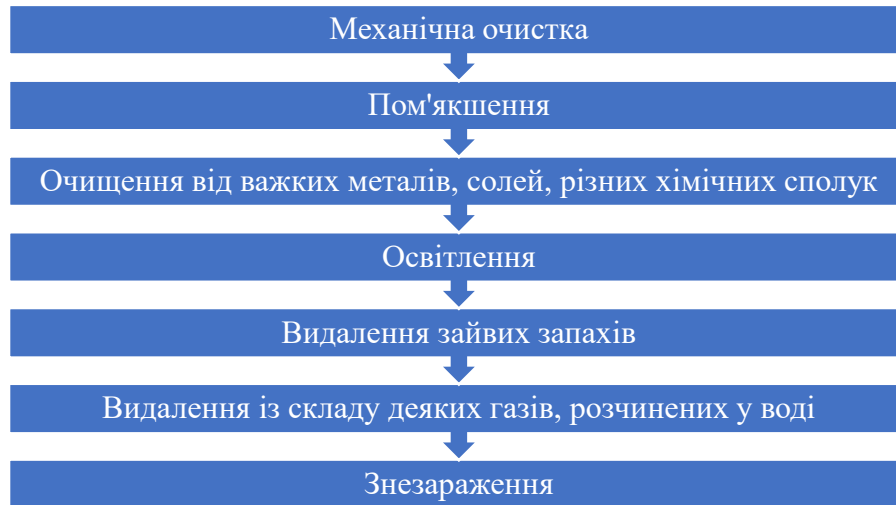


Рисунок 1.1 – Етапи водопідготовки

На першому етапі водопідготовки відбувається механічне очищення води з допомогою фільтрів грубого очищення від мулу, різноманітних великих частинок глини, землі, каміння, піску, заліза [7].

Після грубої очистки проводиться пом'якшення за допомогою процесу заміни іонів кальцію та магнію на іони натрію, проходженням води через полімерну смолу. Така процедура необхідна для нормального функціонування систем опалення, водопостачання, різних електроприладів (працюючих з водою, наприклад, пральні машини).

Очищення від важких металів, солей, різних хімічних сполук виробляється у багатокомпонентних фільтрах, спеціально підібраних за складом забірної води.

Освітлення та видалення зайвих запахів відбувається при використанні вугільних фільтрів. Такий підхід дозволяє видалити з води різні запахи, нормалізувати колір, прибрати каламутність. Останнім часом почали використовувати не деревену, а вугілля з кокосової шкаралупи [9].

Знезараження води відбувається різними способами, найбільш популярний раніше полягав у додаванні у воду хлору, проте такий метод витісняється більш сучасним, продуктивним, зручним та безпечним для людей

та екології – ультрафіолетове випромінювання. УФ лампи застосовуються не тільки в будинках та громадських будинках, а й відмінно підходять для знезараження промислових вод. Очищення від мікроорганізмів, бактерій та вірусів є важливим завданням, тому що у воді можуть перебувати збудники різних захворювань.

Процес очищення води складний і багатоступінчастий, на кожній стадії обробки води застосовується обладнання, що відповідає цілям та завданням очищення. На першому етапі обробки води, попередньому очищенні, з води видаляються колоїдні та грубодисперсні домішки. Для цієї мети використовуються горизонтальні та вертикальні відстійники, камери пластівництва, освітлювачі, флотатори, електрокоагулятори [11].

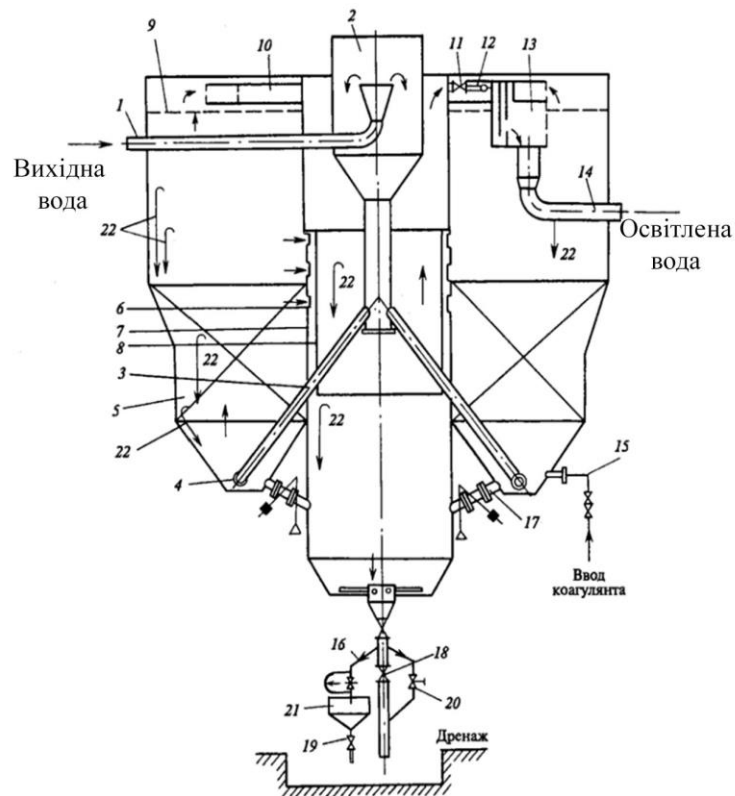


Рисунок 1.2 – Освітлювач для коагуляції типу ЦНІІ-2

- 1 – вхід води; 2 – повітровідділювач; 3 – розподільна труба; 4 – сопло;
 5 – вертикальна перфорована перегородка; 6 – шламоприймальне вікно;
 7 – шламловловлювач; 8 – склянка; 9 – верхня розподільна решітка;
 10 – збірний кільцевий жолоб; 11 – засувка відсічення; 12 – трубопровід відсічення; 13 – розподільний пристрій із заспокійливою перегородкою;
 14 – вихід обробленої води; 15 – введення коагулянту; 16 – лінія безперервного продування; 17 – лінія періодичного продування; 18 – засувка на лінії спорожнення освітлювача; 19 – дренажна засувка; 20 – кран із сервоприводом; 21 – вирва; 22 – пробовідбірні точки

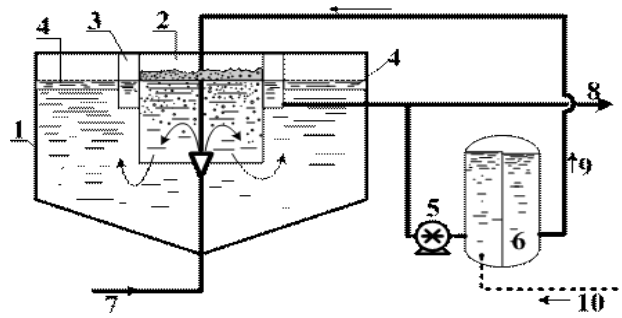


Рисунок 1.3 – Флотатор – відстійник

1 – відстійник; 2 – флотаційна камера; 3 – кільцевий водозбірний лоток;
4 – радіальні водозбірні лотки; 5 – насос; 6 – повітродозчинник; 7 – вода на
очищення; 8 – вода після очищення; 9 – рециркуляційна лінія аерованої води;
10 – стиснене повітря

Принцип роботи флотатора заснований на різній змочуваності мікрочастинок: гідрофобні частинки – це не змочуються водою частинки, а гідрофільні – змочуються. Гідрофобні частинки разом з бульбашками повітря піднімаються до межі розділу фаз, у результаті чого утворюється шар піни, який автоматично видаляється з флотатора [12].

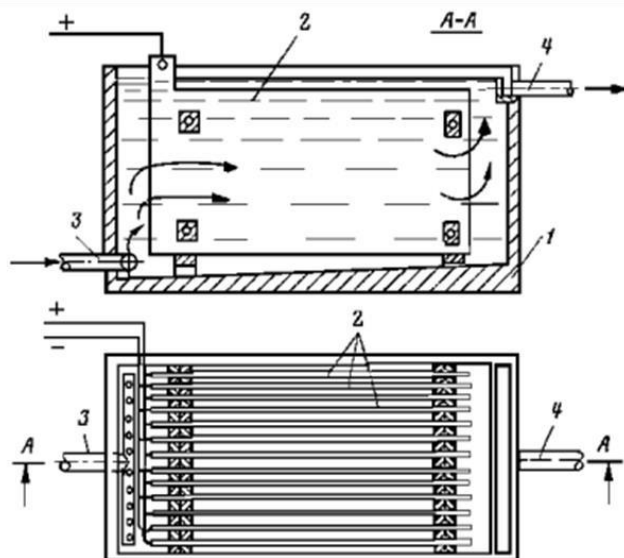


Рисунок 1.4 – Електрокоагулятор

1 – корпус; 2 – пластини з металу; 3 – вхід води; 4 – вихід води

Основним елементом електрокоагулятора є електродна камера зі сталевими або алюмінієвими електродами полярності, що чергується, між якими протікає оброблювана вода. Очищення води відбувається за рахунок електролітичного розчинення під впливом електричного поля.

Процес очищення води від завислих домішок завершується фільтруванням. Для цього використовуються освітлювальні фільтри. Основним робочим елементом освітлювальних фільтрів є фільтруюче завантаження. При пропуску води через шар зернистого завантаження відбувається її освітлення за рахунок прилипання до частинок зернистого завантаження фільтра тонкодисперсного шламу оброблюваної води. Як фільтруюче завантаження використовуються: кварцовий пісок, антрацит, керамзит, вулканічні та доменні шлаки, порцелянова крихта, пінополістирол [3].

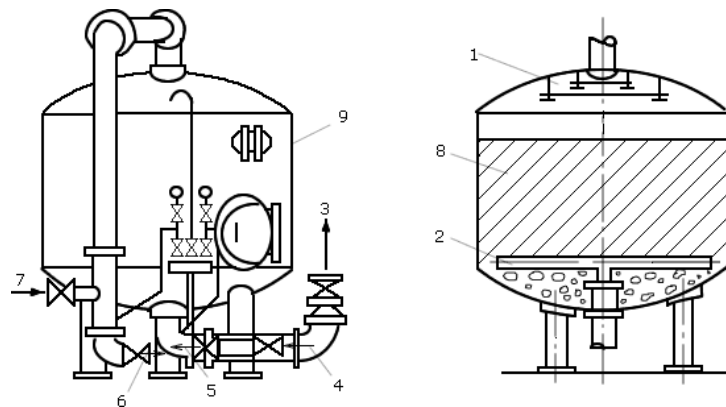


Рисунок 1.5 – Фільтр освітлювальний вертикальний однокамерний
 1 – верхній розподільний пристрій; 2 – нижній дренажно-розподільний пристрій; 3 – фільтрат; 4 – стиснене повітря, промивна вода; 5 – спуск перших порцій фільтрату; 6 – спуск промивної води; 7 – вихідна вода; 8 – фільтруючий шар; 9 – корпус фільтра

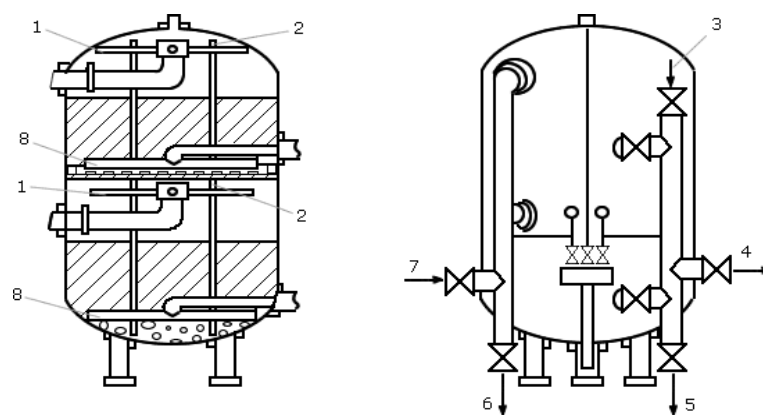


Рисунок 1.6 – Двокамерний освітлювальний фільтр
 1 – верхній розподільний пристрій; 2 – анкерна труба для вирівнювання тиску між камерами; 3 – підведення промивної води; 4 – вихід фільтрату; 5 – спуск перших порцій фільтрату; 6 – вихід промивної води; 7 – оброблювана вода; 8 – нижній дренажно-розподільний пристрій

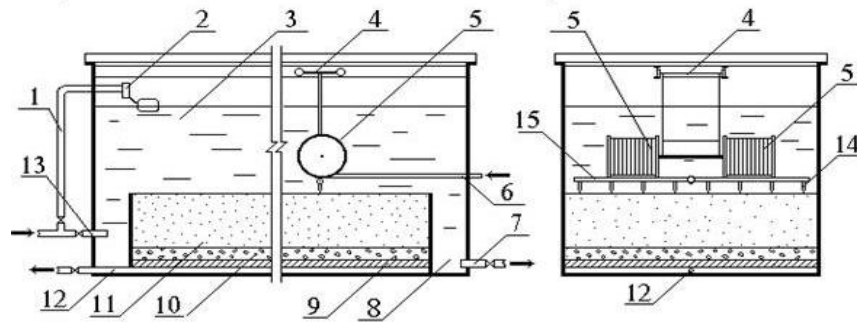


Рисунок 1.7 – Повільний освітлювальний фільтр

1 – підведення води; 2 – поплавковий клапан; 3 – шар води над завантаженням; 4 – візок розпушувача; 5 – барабан, що обертається; 6 – шланг для подачі води в розпушувач; 7 – випуск промивної води; 8 – кишень для збору промивної води; 9 – пориста плита; 10 – підтримуючі шари; 11 – фільтруюче завантаження; 12 – трубчастий дренаж; 13 – подача промивної води; 14 – штуцер; 15 – розподільна труба

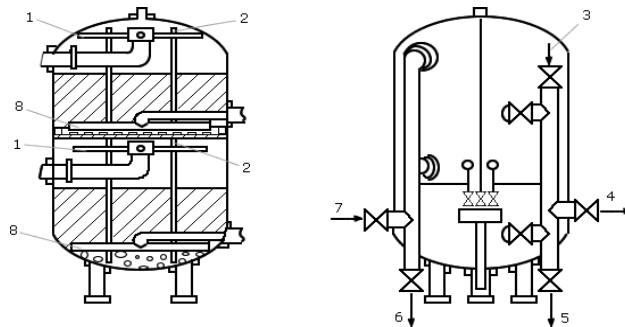


Рисунок 1.8 – Двокамерний освітлювальний фільтр

1 – верхній розподільний пристрій; 2 – анкерна труба для вирівнювання тиску між камерами; 3 – підведення промивної води; 4 – вихід фільтрату; 5 – спуск перших порцій фільтрату; 6 – вихід промивної води; 7 – оброблювана вода; 8 – нижній дренажно-розподільний пристрій

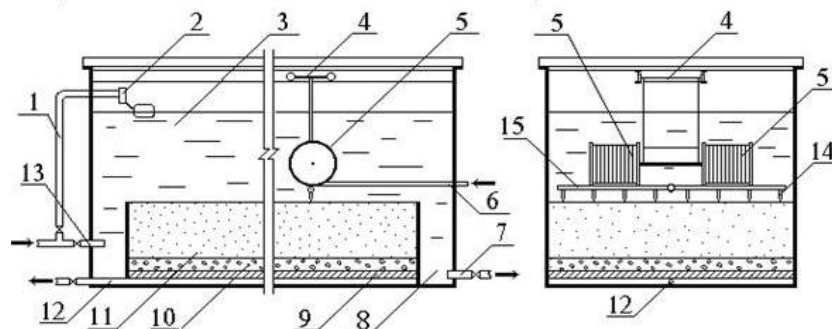


Рисунок 1.9 – Повільний освітлювальний фільтр

1 – підведення води; 2 – поплавковий клапан; 3 – шар води над завантаженням; 4 – візок розпушувача; 5 – барабан, що обертається; 6 – шланг для подачі води в розпушувач; 7 – випуск промивної води; 8 – кишень для збору промивної води; 9 – пориста плита; 10 – підтримуючі шари; 11 – фільтруюче завантаження; 12 – трубчастий дренаж; 13 – подача промивної води; 14 – штуцер; 15 – розподільна труба

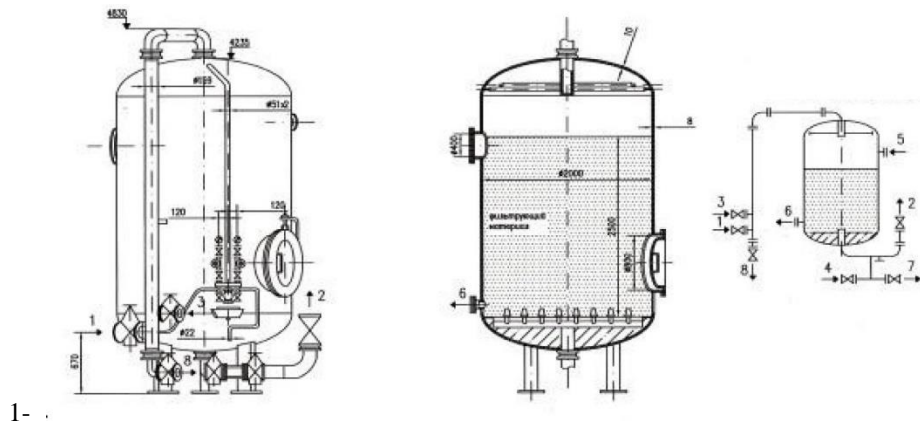


Рисунок 1.10 – Натрій-катіонітний фільтр

1 – підведення вихідної та відмивальної води; 2 – відведення обробленої води;
 2 – підведення регенераційного розчину; 4 – підведення води, що розпушує;
 5,6 – гідрозавантаження фільтруючого матеріалу; 7 – відведення регенераційного розчину; 8 – відведення води, що розпушує

Апарати для зворотного осмосу та ультрафільтрації бувають періодичної та безперервної дії. За способом розташування мембран апарати діляться на апарати типу «фільтр-прес» з плоскокамерними фільтруючими елементами, апарати з циліндричними та рулонними елементами та апарати з мембранами у вигляді порожнистих волокон [9].

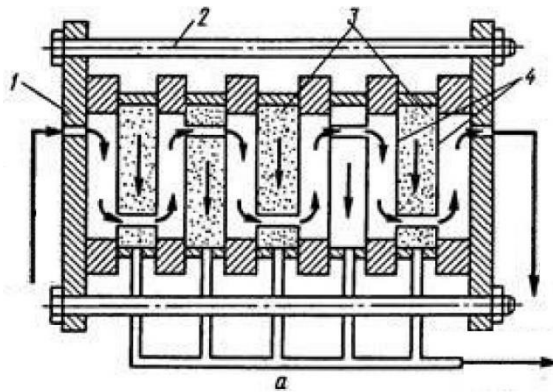


Рисунок 1.11 – Мембранний фільтр-прес

1 – плита; 2 – стяжний болт; 3 – підкладка; 4 – мембрана; 5 – отвір

Обладнання для водопідготовки мають різне застосування в залежності від напрямку використання та цілей водопідготовки. Існують станції водопідготовки в блочно-модульному виконанні, що поєднують в собі універсальність та компактність, але з точки зору автоматизації потребують простоти та сучасності.

1.2 Аналіз технологічного процесу водопідготовки в насосних станціях блочно-модульного типу як об'єкта модернізації

Блочно-модульні станції водопідготовки – це готові до експлуатації комплекси обладнання в контейнерному виконанні, які швидко монтуються, легко транспортуються та використовуються для тимчасового чи постійного забезпечення водою промислових об'єктів, населених пунктів чи приватних будинків. Вони підходять для ситуацій, де будівництво капітальних споруд неможливо чи недоцільно, наприклад, у віддалених районах чи умовах складного ґрунту [7].

Вихідна вода від артезіанських свердловин насосами I підйому трубопроводами системи водопостачання (проектованим та існуючим) подається на насосну станцію водопідготовки (НСВ) в певному обсязі. Далі, вода, пройшовши кілька стадій очищення, подається насосами II підйому трубопроводами в мережу до промислових та побутових споживачів.



Рисунок 1.12 – Блок схема доставки води з артезіанських свердловин до споживачів

Насосна станція водопідготовки (НСВ) у блочно-модульному виконанні, продуктивністю 20 м³/год, призначена для очищення артезіанських вод від забруднюючих речовин до норм Наказу від 02.05.2022 № 721 Про затвердження Гігієнічних нормативів якості води водних об'єктів для задоволення питних, господарсько-побутових та інших потреб населення.

Для відведення промивної води влаштовується лінія виробничої напірної каналізації та водонепроникна ємність, робочий об'єм ємності становить 40,0 м³, матеріал конструкції – збірний залізобетон. Вода з ємності відкачується спеціалізованими автомашинами і вивозиться для утилізації місця [9].



Рисунок 1.13 – Насосна станція блочно-модульного типу

Станція водопідготовки продуктивністю 20 м³/год питної води монтується в модульній будівлі повної заводської готовності з габаритними розмірами в плані 7295 x 9 970 мм. Висота будівлі – 2500 мм. Будівля є збірною конструкцією, що складається з трьох блок-модулів, габаритними розмірами в плані 2430x9970 мм. Будівля одноповерхова з металевих конструкцій із теплоізоляцією огорожувальних конструкцій (III ступінь вогнестійкості, клас конструктивної пожежної безпеки, категорія за ознакою вибухопожежної та пожежної безпеки «Д»), обладнана системою опалення, освітлення від

зовнішнього джерела електропостачання. Будівля монтується на монолітну армовану залізобетонну плиту, товщиною 250 мм, стрічковий фундамент, що спирається, виконаний з фундаментних блоків (ФБС), укладені на щебеневу підготовку товщиною 240 мм. Навколо будівлі влаштовується бетонне вимощення шириною 700 мм [10].

На даний момент НСВ працює в напівавтоматичному та ручному режимах, диспетчеризація відсутня. До складу комплектної водопідготовчої установки входить наступне основне обладнання та блоки:

1. Блок попереднього окислення.
2. Блок очищення на дискових фільтрах.
3. Блок фільтрів освітлення води.
4. Блок тонкої очистки.
5. Блок УФ-дезінфекції води.
6. Блок накопичуючих ємностей.
7. Насосна станція II підйому.
8. Гідропневмобак.
9. Блок дезінфекції води гіпохлоритом натрію.

Таблиця 1.1 – Параметри НСВ

Параметр	Параметри роботи НСВ		
	Регламент роботи НСВ	Початкова вода на вході НСВ	Очищена вода на виході НСВ
Витрата, м ³ /год	-	18,0 – 22,0	21,0
Витрата, м ³ /доб	-	480	480
Температура, °С		5...10	±10

Таблиця 1.2 – Параметри роботи НСВ

Час роботи НХПВ, год/доб.	24
Час для проведення регламентних робіт на НХПВ, год/доб.	1,5

Запропонована технологія процесу очищення води на НСВ заснована на використанні в ній сучасних методів: «окислення киснем повітря»,

«фільтрація», «сорбція», «ультрафіолетове знезараження», «знезараження гіпохлоритом натрію».

Таблиця 1.3 – Ступінь очищення води по блоках

№ блока	Найменування блоку очищення води	Ступінь очистки				
		залізо мг/дм ³	каламутність мг/дм ³	марганець мг/дм ³	жорсткість град. Ж	рН
1	Вихідна вода	1,27	21,4	0,097	6,2	7,8
2	Вузол очищення на дискових фільтрах	1,0	15,0	0,096	6,2	7,8
3	Блок фільтрів освітлення води	менше 0,1	1,5	0,095	6,2	7,8
4	Блок тонкого очищення	менше 0,1	1,0	0,095	6,2	7,8
5	Вузол дезінфекції води гіпохлоритом натрію	менше 0,1	1,0	0,094	6,0	7,8

Будь-який технологічний процес потребує вдосконалення відповідно до вимог ринку, що може включати автоматизацію, оновлення первинних засобів та засобів передачі даних.

Ключові аспекти, що забезпечує автоматизація технологічних процесів:

1. Автоматизовані системи можуть виконувати завдання, що повторюються, швидше і точніше, ніж людина, скорочуючи час роботи і ймовірність помилок.

2. Автоматизація дозволяє оптимізувати витрати на робочу силу та підвищувати ефективність процесів.

3. Автоматизовані процеси працюють безперервно і безупинно, підвищуючи ефективність виробництва або надання послуг.

4. Послідовність та стабільність збільшують загальну продуктивність і дозволяють швидше реагувати на потреби та зміни на ринку.

5. Автоматизовані системи керування можуть забезпечити однорідну якість продукції чи послуг.
6. Можна впровадити автоматичну систему виявлення дефектів/помилки.
7. Автоматизація дозволяє точно та ефективно планувати наявні ресурси, оптимізуючи використання матеріалів, трудових ресурсів та енергії.
8. Автоматизація може зменшити або усунути фізичну працю, особливо у небезпечних чи складних процесах.
9. Це також прибирає повторювані монотонні завдання, дозволяючи співробітникам використовувати свій час для більш креативних і стратегічних завдань.
10. Автоматизовані процеси генерують дані, які можуть бути використані для аналізу даних.
11. Аналіз даних може допомогти виявити можливості покращення ефективності та прогнозувати майбутні тенденції.

1.3 Технологічні рішення для удосконалення системи водопідготовки

Сучасна станція водопідготовки в блочно-модульному виконанні повинна відповідати сучасним вимогам очистки води, володіти швидкодією системи автоматичного керування та забезпечувати безперебійність та повному технологічного процесу очистки води.

Для нормальної роботи системи необхідно суворе дотримання вимог експлуатації системи:

1. Система працює повністю в автоматичному режимі і вимагає безперебійне живлення електромережі $380 \pm 10\%$, 50 Гц.
2. Система очищення води має певні технічні характеристики, тому використання іншого джерела води заборонено.

3. Для нормальної роботи системи тиск води повинен становити $2,5 \div 8$ кгс/см² (зазначений діапазон тиску повинен витримуватись у всіх режимах. Швидкість зміни тиску не повинна перевищувати $0,2$ кгс/см² на секунду).

4. Максимальна робоча температура усередині приміщення блоку модуля – $+49^{\circ}\text{C}$. Температура води, що обробляється $0 \div 35^{\circ}\text{C}$.

5. НСВ повинна працювати в автоматичному режимі, не потребувати постійної присутності персоналу.

6. Додатково, для забезпечення надійної та безперебійної роботи реалізовано систему віддаленого комплексного автоматизованого керування обладнання.

При автоматизації різних станцій водопідготовки та водоочищення, а також насосних станцій можна контролювати такі технологічні параметри:

- рівні в різних резервуарах, фільтруючих установках тощо;
- витрата рідини;
- тиск у напірних трубопроводах;
- тиск у кожного насосного агрегату;
- показники температури води.

Як основні апаратні засоби, які застосовуються при автоматизації станцій водопідготовки та насосних станцій, виступають різні датчики та реле.

Для реалізації автоматизації насосної станції зазвичай потрібні такі датчики:

- датчики тиску;
- датчики витрати;
- датчики рівня;
- датчики температури;
- датчики в'язкості;
- датчики вологості.

Нині відбувається перехід від релейно-контактних схем автоматизації до електронних схем керування з урахуванням комп'ютерів. Переваги – висока

надійність, швидкість реагування, легка гнучкість і перебудова схем, низька вартість.

Крім датчиків, при автоматизації станцій водопідготовки і насосних станцій використовується різне модульне контролерне обладнання, до якого вмикаються пристрої нижнього рівня, а також керуючі засоби – сучасні АРМ операторів, на яких реалізуються мнемосхеми, що відображають техпроцеси, що проходять установок в реальному часі.

Враховуючи вимоги до сучасних систем автоматичного керування технологічних процесів до існуючих блоків САК станцією водопідготовки є пропозиція додати блоки, зображені на рисунку 1.14.



Рисунок 1.14 – Напрямки удосконалення САК станцією водопідготовки

Система віддаленої диспетчеризації НСВ за допомогою GSM/GPRS-модемів створює лінію зв'язку між НСВ та сервісним офісом експлуатуючої організації, що дозволяє в реальному часі здійснювати віддалений контроль

роботи водоочисного та насосного обладнання для своєчасного виявлення аварійних ситуацій та запобігання поломкам технологічного та технічного характеру.

Очищення води залишається критичною проблемою через зростання забруднення та потребу в безпечній питній воді в усьому світі. Традиційні методи забезпечують економічно ефективні рішення, але мають обмеження у видаленні складних забруднювачів. Новітні технології, такі як мембранна фільтрація та вдосконалені процеси окислення, пропонують вищу ефективність, але стикаються з проблемами масштабованості та вартості. Для забезпечення глобальної водної безпеки необхідні подальші дослідження та інвестиції для розробки стійких та енергоефективних методів очищення. Підвищення обізнаності громадськості, політична підтримка та технологічний прогрес матимуть важливе значення для пом'якшення захворювань, що передаються через воду, та покращення загальної якості води для майбутніх поколінь.

1.4 Висновки за розділом

Виконали аналіз існуючих технологій водопідготовки та основного обладнання, що виконує найважливіші функції та завдання. Найперспективнішими насосними станціями водопідготовки є станції блочно-модульного типу, так як мають низку переваг серед конкурентів. Більша частина такого обладнання базується на автоматичі, що має моральний та фізичний знос та потребує негайних сучасних оновлень. Окреслили напрямки удосконалення системи електроприводів насосів та САК насосною станцією в цілому.

РОЗДІЛ 2 МОДЕРНІЗАЦІЯ ЕЛЕКТРОПРИВОДІВ НАСОСНОЇ СТАНЦІЇ ВОДОПІДГОТОВКИ БЛОЧНО-МОДУЛЬНОГО ТИПУ

2.1 Розрахунок та вибір електроприводів системи керування насосної станції водопідготовки

Потужність насоса визначається за виразом [2]:

$$P_{\text{нас}} = \frac{\rho \cdot g \cdot Q \cdot H}{1000 \cdot \eta_{\text{нас}}}; \quad (2.1)$$

де: $Q = \frac{500}{3600} = 0,139 \text{ м}^3 / \text{с}$ – подача насоса;

$H = 20 \text{ м}$ – напір води;

$\rho = 1000 \text{ кг} / \text{м}^3$ – щільність води;

$\eta_{\text{нас}}$ – ККД насоса.

$$P_{\text{нас}} = \frac{1000 \cdot 9,81 \cdot 0,139 \cdot 20}{1000 \cdot 0,79} = 34,52 \text{ кВт.}$$

Потужність приводного електродвигуна вибираємо з урахуванням відхилення режиму роботи насоса від його номінального режиму, тобто. потужність електродвигуна вибираємо із запасом.

$$P_{\text{дв}} = \frac{k \cdot P_{\text{н}}}{\eta_{\text{п}}}; \quad (2.2)$$

де: k – коефіцієнт запасу, вибираємо $k = 1,3$, так як двигун є приводом насоса, який працює при постійному навантаженні в тривалому режимі, і має рідкісні пуски при закритій заслінці;

$\eta_{\text{п}}$ – ККД передачі, при з'єднанні валів двигуна та насоса муфтою, приймаємо $\eta_{\text{п}} = 0,98$.

$$P_{\text{дв}} = \frac{1,2 \cdot 34,52}{0,98} = 42,27 \text{ кВт.}$$

Вибираємо асинхронний двигун типу АІР 200 L2, для якого виконуються умови:

$$P_{\text{дв.н}} = 45 \text{ кВт} \geq P_{\text{дв}} = 42,27 \text{ кВт};$$

$$\eta_{\text{п}} = 2940 \text{ об / хв} \geq \eta_{\text{o}} = 2900 \text{ об / хв.};$$

$$\eta_{\text{п}} = 2940 \geq \eta_{\text{o}};$$

Технічні характеристики електродвигуна АІР200L2 наведено у таблиці 2.1 [13].

Таблиця 2.1 – Технічні дані електродвигуна

Типорозмір	n_0 , об/хв	$U_{1\text{н}}$, В	$P_{\text{дв.н}}$, кВт	При номінальному навантаженні			$J_{\text{дв}}$, кг м ²
				$s_{\text{н}}$, %	$\cos \varphi_{\text{н}}$	$\eta_{\text{п}}$	
АІР200L2	3000	380	45	2	0,88	92	0,14
$m_{\text{н}} = \frac{M_{\text{пуск}}}{M_{\text{н}}}$	$m_{\text{к}} = \frac{M_{\text{макс}}}{M_{\text{н}}}$	$m_{\text{м}} = \frac{M_{\text{мін}}}{M_{\text{н}}}$	$k_{\text{ідв}} = \frac{I_{\text{пуск}}}{I_{\text{н}}}$	Ступінь захисту			
1,8	2,8	1,6	7,5	ІР44			

Синхронна кутова частота обертання двигуна:

$$\omega_{\text{o}} = \frac{\pi \cdot n_{\text{o}}}{30}; \quad (2.3)$$

$$\omega_{\text{o}} = \frac{314 \cdot 3000}{30} = 314 \text{ с}^{-1}.$$

Кутова швидкість обертання двигуна та номінальна частота обертання:

$$n_{\text{дв.н}} = 1 - S_{\text{н}} \cdot n_{\text{o}}; \quad (2.4)$$

$$n_{\text{дв.н}} = 1 - 0,02 \cdot 3000 = 2940 \text{ об / хв.}$$

$$\omega_{\text{дв.н}} = 1 - S_{\text{н}} \cdot \omega_{\text{o}}; \quad (2.5)$$

$$\omega_{\text{дв.н}} = 1 - 0,02 \cdot 314 = 307,88 \text{ об / с.}$$

Номінальна фазна напруга та номінальний фазний та лінійний струм (діючі значення) статора при схемі з'єднання обмоток зірка:

$$U_{1\text{ф.н}} = \frac{U_{1\text{лн}}}{\sqrt{3}}; \quad (2.6)$$

$$U_{1\text{ф.н}} = \frac{380}{\sqrt{3}} = 220 \text{ В.}$$

$$I_{1ф.н} = I_{1лн} = I_{дв.н} = \frac{P_{дв.н}}{3 \cdot U_{1фн} \cdot \cos \varphi_n \cdot \eta_n}; \quad (2.7)$$

$$I_{1ф.н} = I_{1лн} = I_{дв.н} = \frac{45000}{3 \cdot 220 \cdot 0,88 \cdot 0,92} = 84,2 \text{ А.}$$

Номінальне значення моменту двигуна [10]:

$$M_{дв.н} = \frac{P_{дв.н} \cdot 10^3}{\omega_{дв.н}}; \quad (2.8)$$

$$M_{дв.н} = \frac{45 \cdot 1000}{307,88} = 146,2 \text{ Н} \cdot \text{м.}$$

Максимальний струм двигуна при прямому пуску:

$$M_{1\text{макс}} = I_{1лн} \cdot K_{идв}; \quad (2.9)$$

$$M_{1\text{макс}} = 84,2 \cdot 7,5 = 631,5 \text{ А.}$$

Критичний момент двигуна на природній характеристиці:

$$M_k = m_k \cdot M_{дв.н}; \quad (2.10)$$

$$M_k = 2,8 \cdot 18,4 = 40,5 \text{ Н} \cdot \text{м.}$$

Пусковий момент двигуна при прямому пуску:

$$M_{дв.пуск} = m_{п} \cdot M_{дв.н}; \quad (2.11)$$

$$M_{дв.пуск} = 2 \cdot 18,4 = 36,8 \text{ Н} \cdot \text{м.}$$

Найбільш простою та зручною для інженерних розрахунків асинхронного двигуна є Т-подібна схема заміщення, представлена на рисунку 2.1 [2].

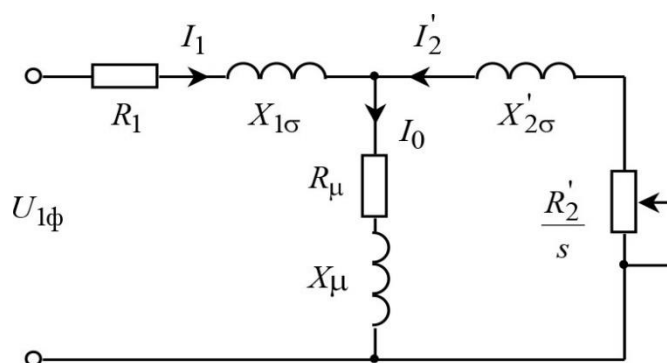


Рисунок 2.1 – Схема заміщення асинхронного двигуна

На рисунку 2.1 схеми заміщення є такі параметри:

$U_{1\phi}$ – фазна напруга підводиться до обмотки статора двигуна;

I_1 – струм обмотки статора;

R_1 – активний опір обмотки статора;

$X_{1\sigma}$ – індуктивний опір розсіювання обмотки статора;

I_2' – наведений струм обмотки ротора до статорної обмотки;

R_2' – наведений активний опір ланцюга обмотки ротора до ланцюга статора обмотки;

$X_{2\sigma}'$ – наведений індуктивний опір розсіювання ланцюга обмотки ротора до ланцюга обмотки статора;

I_0 – струм холостого ходу (намагнічування);

X_m – індуктивний опір контуру намагнічування.

Основні рівняння асинхронного двигуна, що відповідають даній схемі:

$$U_{1\phi} - E_m - j X_1 I_1 - R_1 I_1 = 0; \quad (2.12)$$

$$E_m + j X_2' I_2 + R_2' I_2 = 0; \quad (2.13)$$

$$I_1 + I_2 - I_0 = 0; \quad (2.14)$$

Векторна діаграма струмів, ЕРС та напруги зображена на рисунку 2.2.

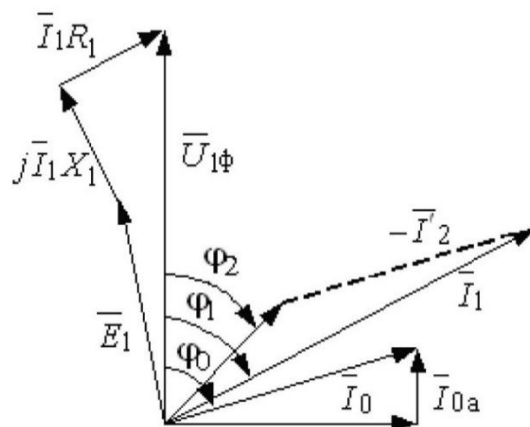


Рисунок 2.2 – Векторна діаграма асинхронної машини

Визначимо додаткові параметри асинхронного двигуна за каталожними даними. Параметри схеми заміщення визначаємо за методикою, запропонованою у [2].

Визначаємо попереднє значення струму холостого ходу асинхронного двигуна за виразом:

$$I_o = \sqrt{\frac{I_{11}^2 - \left[P_H \cdot I_{1H} \cdot \frac{1 - S_H}{1 - P_* \cdot S_H} \right]^2}{1 - \left[P_* \cdot \frac{1 - S_H}{I - P_* \cdot S_H} \right]^2}}; \quad (2.15)$$

$$I_{11} = \frac{P_* \cdot P_{дв.н}}{3 \cdot U_{1H} \cdot \cos \varphi_{p_*} \cdot \eta_{p_*}}; \quad (2.16)$$

де: $P_* = \frac{P}{P_H}$ – коефіцієнт завантаження двигуна, приймаємо $P_* = 0,75$;

$\eta_{p_*} = 0,92$ – ККД двигуна при частковому завантаженні, відповідно до таблиці 2.1 [2];

$\cos P_{p_*} = 0,85$ – коефіцієнт потужності при частковому завантаженні, відповідно до таблиці 2.1.

$$I_{11} = \frac{0,75 \cdot 45000}{3 \cdot 220 \cdot 0,85 \cdot 0,92} = 65,4 \text{ А.}$$

$$I_o = \sqrt{\frac{65,4^2 - \left[0,75 \cdot 84,2 \cdot \frac{1 - 0,02}{1 - 0,75 \cdot 0,02} \right]^2}{1 - \left[0,75 \cdot \frac{1 - 0,02}{I - 0,75 \cdot 0,02} \right]^2}} = 27,16 \text{ А.}$$

Приведений до обмотки статора активний опір обмотки ротора:

$$R_2' = \frac{3 \cdot U_{1\phi H}^2 - S_H}{2 \cdot m_k \cdot P_{лв.н} \cdot C_1^2 \cdot \left(\beta + \frac{I}{S_k} \right)}; \quad (2.17)$$

де: β – коефіцієнт, що характеризує співвідношення активних опорів статора і ротора, значення якого знаходиться в діапазоні $0,6 \div 2,5$, приймаємо $\beta = 1,45$;

C_1 – розрахунковий коефіцієнт, що характеризує співвідношення:

$$\frac{X_{\mu} + X_{1\sigma}}{X_{\mu}};$$

$$C_1 = 1 + \frac{I_0}{2 \cdot k_{i_{дв}} \cdot I_{дв.н}}; \quad (2.18)$$

$$C_1 = 1 + \frac{27,16}{2 \cdot 7,5 \cdot 84,2} = 1,022.$$

$$R_2' = \frac{3 \cdot 220^2 \cdot 1 - 0,02}{2 \cdot 2,8 \cdot 45 \cdot 1000 \cdot 1,022^2 \cdot \left(1,45 + \frac{I}{0,122}\right)} = 0,056 \text{ Ом.}$$

– критичне ковзання двигуна:

$$S_k = S_H \cdot \frac{m_k + \sqrt{m_k^2 - [I - 2 \cdot S_H \cdot \beta \cdot m_k - 1]}}{1 - 2 \cdot S_H \cdot \beta \cdot m_k - 1}; \quad (2.19)$$

$$S_k = 0,02 \cdot \frac{2,8 + \sqrt{2,8^2 - [I - 2 \cdot 0,02 \cdot 1,45 \cdot 2,8 - 1]}}{1 - 2 \cdot 0,02 \cdot 1,45 \cdot 2,8 - 1} = 0,122.$$

Активний опір статора обмотки в номінальному режимі:

$$R_1 = C_1 \cdot R_2' \cdot \beta; \quad (2.20)$$

$$R_1 = 1,022 \cdot 0,056 \cdot 1,45 = 0,083 \text{ Ом.}$$

Індуктивний опір короткого замикання у номінальному режимі:

$$X_{кн} = R_2' \cdot \gamma \cdot C_1; \quad (2.21)$$

де: γ – коефіцієнт, що характеризує співвідношення індуктивного опору короткого замикання та наведеного активного опору ротора.

$$\gamma = \sqrt{\frac{1}{S_k^2} - \beta^2}; \quad (2.22)$$

$$\gamma = \sqrt{\frac{1}{0,122^2} - 1,45^2} = 8,088.$$

$$X_{кн} = 0,056 \cdot 8,088 \cdot 1,022 = 0,462 \text{ Ом.}$$

Індуктивний опір розсіювання статора обмотки в номінальному режимі:

$$X_{1\sigma} = 0,42 \cdot X_{кн}; \quad (2.23)$$

$$X_{1\sigma} = 0,42 \cdot 0,462 = 0,194 \text{ Ом.}$$

Індуктивність обмотки статора, обумовлена потоком розсіювання, у номінальному режимі:

$$L_{1\sigma} = \frac{X_{1\sigma}}{2 \cdot \pi \cdot f_{1H}}; \quad (2.24)$$

$$L_{1\sigma} = \frac{0,194}{2 \cdot 3,14 \cdot 50} = 6,18 \cdot 10^{-4} \text{ Гн.}$$

Приведений до обмотки статора індуктивний опір розсіювання обмотки ротора в номінальному режимі:

$$X'_{2\sigma} = 0,58 \cdot \frac{X_{KH}}{C_1}; \quad (2.25)$$

$$X'_{2\sigma} = 0,58 \cdot \frac{0,462}{1,022} = 0,263 \text{ Ом.}$$

Наведена індуктивність обмотки ротора, обумовлена потоком розсіювання, у номінальному режимі:

$$L'_{2\sigma} = \frac{X'_{2\sigma}}{2 \cdot \pi \cdot f_{1H}}; \quad (2.26)$$

$$L'_{2\sigma} = \frac{0,263}{2 \cdot 3,14 \cdot 50} = 8,36 \cdot 10^{-4} \text{ Гн.}$$

Індуктивний опір контуру намагнічування (головний індуктивний опір):

$$X_{\mu} = \frac{E_1}{I_0}; \quad (2.27)$$

де:

$$E_1 = \sqrt{U_{1H} \cdot \cos \varphi_H - I_{1H} \cdot R_1^2 + U_{1H} \cdot \sin \varphi_H - I_{1H} \cdot X_{1\sigma}^2}; \quad (2.28)$$

де: E_{PC} – гілки намагнічування, наведена потоком повітряного зазору в статорній обмотці в номінальному режимі.

$$X_{\mu} = \frac{206,38}{27,16} = 7,6 \text{ Ом.}$$

$$E_1 = \sqrt{220 \cdot 0,88 - 84,2 \cdot 0,083^2 + 220 \cdot 0,88 - 84,2 \cdot 0,194^2} = 206,38 \text{ В.}$$

Результуюча індуктивність обумовлена магнітним потоком у повітряному зазорі:

$$L_{\mu} = \frac{X_{\mu}}{2 \cdot \pi \cdot f_{1H}}; \quad (2.29)$$

$$L_{\mu} = \frac{7,6}{2 \cdot 3,14 \cdot 50} = 0,02 \text{ Гн.}$$

Отримані розрахункові параметри Т-подібної схеми заміщення електродвигуна зведені у таблиці 2.2.

Таблиця 2.2 – Параметри схеми заміщення електродвигуна АІР200L2

$R_1, \text{ Ом}$	$X_{1\delta}, \text{ Ом}$	$L_{1\delta}, \text{ Гн}$	$X_{\mu}, \text{ Ом}$	$L_{\mu}, \text{ Гн}$	$R_2', \text{ Ом}$	$X_{2\delta}', \text{ Ом}$	$L_{2\delta}', \text{ Гн}$	$X_{кн}, \text{ Ом}$
0,083	0,194	$6,18 \cdot 10^{-4}$	7,6	0,024	0,056	0,263	$8,36 \cdot 10^{-4}$	0,462

2.2 Перевірка вибраних електродвигунів за перевантажувальною здатністю та за перегрівом

При знайдених параметрах проводиться розрахунок значення номінального електромагнітного моменту двигуна $M_{\text{ем.н}}^*$ і $M_{\text{ем.н}}^{**}$ [8]:

$$M_{\text{ем.н}}(S_H) = M_{\text{ем.н}}^* = \frac{3 \cdot U_{1\text{фн}}^2 \cdot R_2'}{\omega_0 \cdot S_H \cdot \left[(X_{кн})^2 + \left(R_1 + \frac{R_2'}{S_H} \right)^2 + \left(\frac{R_1 \cdot R_2'}{S_H \cdot X_{\mu}} \right)^2 \right]}; \quad (2.30)$$

$$M_{\text{ем.н}}(S_H) = M_{\text{ем.н}}^* = \frac{3 \cdot 220^2 \cdot 0,056}{314,16 \cdot 0,02 \cdot \left[0,462^2 + \left(0,083 + \frac{0,056}{0,02} \right)^2 + \left(\frac{0,083 \cdot 0,056}{0,02 \cdot 7,6} \right)^2 \right]} = 151,83 \text{ Н} \cdot \text{м.}$$

$$M_{\text{ем.н}}^{**} = \frac{3}{2} \cdot Z_p \cdot \frac{L_{\mu}}{(L_{\mu} + L_{2\delta}')^2} \cdot \Psi_{2H} \cdot \sqrt{2} \cdot \sqrt{I_{1H}^2 - I_0^2}; \quad (2.31)$$

$$\Psi_{2H} = \sqrt{2} \cdot I_0 \cdot I_{\mu}; \quad (2.32)$$

$$\Psi_{2H} = \sqrt{2} \cdot 27,16 \cdot 0,024 = 0,929 \text{ Вб.}$$

$$M_{\text{ем.н}}^{**} = \frac{3}{2} \cdot 1 \cdot \frac{0,24}{(0,024 + 8,36 \cdot 10^4)^2} \cdot 0,929 \cdot \sqrt{2} \cdot \sqrt{84,2^2 - 27,16^2} = 151,86 \text{ Н} \cdot \text{м.}$$

Повинні виконуватись дві умови [8]:

$$M_{\text{дв.н}} < M_{\text{ем.н}}^* \leq 1,1 \cdot M_{\text{дв.н}};$$

$$146,2 < 151,83 \leq 1,1 \cdot 146,2 = 160,78.$$

$$M_{\text{ем.н}}^{**} \approx M_{\text{ем.н}}^*;$$

$$151,86 \approx 151,83.$$

За результатами розрахунку ці умови виконуються, що говорить про адекватність розрахункових параметрів двигуна.

2.3 Модернізація системи автоматичного керування електроприводами насосної станції водопідготовки

2.3.1 Системи керування електроприводом

Багато провідних електротехнічних фірм світу сьогодні випускають регульовані автоматизовані електроприводи (АЕП) комплектно з мікропроцесорними засобами автоматизації у вигляді різнопрограмованих систем, що служать для широкого використання. Тому актуальність проектування АЕП насосного агрегату, виконаного у загальнопромисловому виконанні, полягає у вирішенні задачі вибору системи керування електроприводом (СКЕП) для підвищення ефективності роботи та продуктивності технологічного обладнання.

Виходячи з вимог до СКЕП, при проектуванні пропонуються до розгляду дві схеми керування: схема скалярного керування електроприводом насосної установки та векторного регулювання, виконаними за системою перетворювач частоти – коротко-замкнутий асинхронний електродвигун (ПЧ-АД).

Вибір одного із способів та принципів керування проводиться на підставі вимог до регулювання швидкості та показників якості регулювання: плавності, точності підтримки заданої швидкості, діапазону регулювання. Враховуються динамічні показники якості процесу регулювання: перерегулювання, швидкодія та ін. При виборі системи керування електроприводом обов'язковим

є облік характеру навантаження, створюваного робочим механізмом. Частотне керування електродвигунами проводиться двома способами [10].

Векторний принцип керування базується на примусовій взаємній орієнтації векторів потокозчеплень та струмів АД у полярній або декартовій системах координат відповідно до заданого закону регулювання. За рахунок регулювання модулів змінних і кутів між їх векторами забезпечується керування АД як у статиці, так і в динаміці, забезпечуючи тим самим помітне покращення якості перехідних процесів. Саме цей факт є визначальним при виборі системи з векторним керуванням та знаходить застосування в електроприводах із середньою та високою динамікою. Приводи таких механізмів, як насоси, займають проміжне положення між ними.

Скалярний принцип частотного керування є найпоширенішим в електроприводі. Властива технічна простота регулювання та вимірювання абсолютних значень змінних АД. Керування здійснюється за функціональною характеристикою, що зв'язує частоту та напругу статора електродвигуна (U/f -характеристикою), із застосуванням модуля IR-компенсації для підтримки сталості потокозчеплення статора відповідно до цієї характеристики. У статичних режимах дозволяє досягти за рахунок зворотних зв'язків бажаних властивостей електроприводу. Застосовується для приводів, де відсутні високі вимоги до динаміки.

У приводах тривалого режиму роботи з постійною швидкістю, діапазоном регулювання швидкості не більше 1:5 і без особливих вимог до динаміки доцільно застосування найпростіших структур та законів частотного керування [10]. Тому доцільно скалярний принцип частотного керування застосувати під час проектування СКЕП системою ПЧ-АД насосної установки [10].

2.3.2 Вибір закону частотного регулювання

Закон частотного регулювання U_1/f_1 при скалярному керуванні вибирається залежно від характеру навантаження виробничого механізму. Для механізмів з постійним навантаженням вибирається закон керування

$U_1/f_1 = \text{const}$, для механізмів з відцентровим навантаженням доцільно вибрати закон $U_1/f_1^2 = \text{const}$ [10].

Останній є більш складним у реалізації, але за рахунок додаткового зниження напруги дозволяє зменшити енергію, що споживається з мережі. Для підвищення пускового моменту на малих швидкостях необхідних значень має бути передбачено можливість налаштування вольт-частотної характеристики. Визначаючи параметри вольт-частотної характеристики, нижнім частотам ставлять у відповідність значення напруг вище, ніж при вибраному законі регулювання.

2.3.3 Вибір перетворювача частоти

Відповідно до рекомендацій [23] для регульованого асинхронного електроприводу насоса доцільно використовувати перетворювачі серії Altivar 630 фірми Schneider Electric, розроблений спеціально для застосування в галузі водопостачання, опалення, вентиляції.

Відповідно до умови для номінального струму інвертора I_{in} перетворювача частоти:

$$I_{in} \geq I_{1лн} = 85,2 \text{ А.}$$

вибираємо перетворювач частоти моделі Altivar 212, параметри якого наведено в таблиці 2.3 [23].

Таблиця 2.3 – Технічні параметри перетворювача частоти Altivar 630

Модель	Число фаз	Напруга живлення, В	Рекомендована потужність двигуна, кВт	Номінальний струм, А	Максимальний струм, А	Ступінь захисту
Altivar 630	3	380-500	45	110	176	IP55

Загальні технічні дані перетворювача частоти серії Altivar 630 представлені у таблиці 2.4.

Таблиця 2.4 – Характеристики перетворювача частоти Altivar 630

Напруга мережі живлення	3 фази, 380-500 В (±10%)
Частота мережі, Гц	50
Коефіцієнт потужності (не менше)	0,98
Максимальна вихідна частота, Гц	400
Перевантаження струмом (в % від номінального струму протягом 1 хв.)	160
Спосіб керування	Квадратичне U/f_2 Режим оптимізації енергоспоживання
Діапазон регулювання у розімкнутій системі	1:10
Вид регулятора для керування процесом із замкнутим зворотним зв'язком	ПІД
Види захисту	Низька напруга, Перенапруга, Перевантаження струмом, Перевантаження за потужністю, Коротке замикання, Перегрів двигуна, Перегрів перетворювача
Дискретні входи (параметровані)	6
Фіксовані частоти обертання	8
Релейні виходи	2, що параметруються 230 В АС / 1.0 А
Аналогові входи	2 (0 В до 10 В, 2 В до 10 В, -10 В до +10 В, 0/4 до 20 мА)
Аналогові виходи (параметровані)	2 (0/4 до 20 мА)
Послідовний інтерфейс	RS485
Рівень захисту	IP20, IP55
Параметри довкілля	
температура навколишнього середовища	від 0°C до +40°C
температура зберігання	від -30°C до +70°C
Висота над рівнем моря	1000м

Допустима відносна вологість (без утворення конденсату)	95
---	----

Зовнішній вигляд перетворювача частоти серії Altivar 630 показаний рисунку 2.3.



Рисунок 2.3 – Перетворювачі частоти серії Altivar 630

Схема вмикання перетворювача частоти наведена рисунку 2.4.

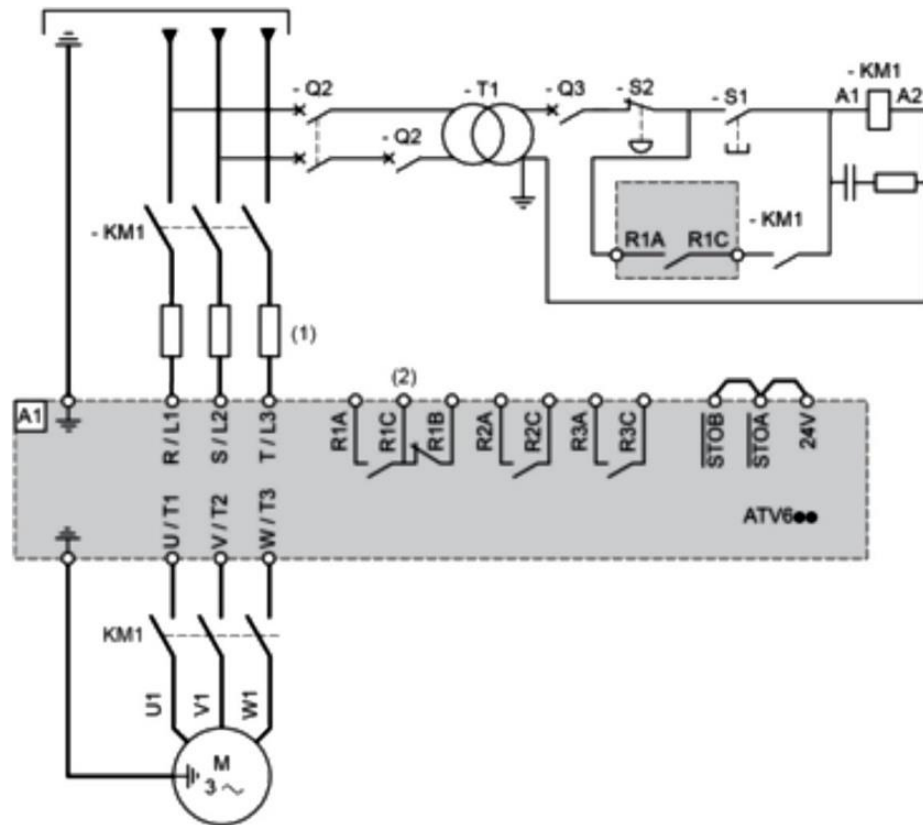


Рисунок 2.4 – Схема вмикання перетворювача частоти

2.4 Розрахунок природних характеристик електродвигуна

Розрахунок природних характеристик проводиться з метою оцінки ступеня збігу параметрів основних характерних точок розрахункових природних характеристик електродвигуна з параметрами двигуна, визначеними за довідковими технічними даними обраного електродвигуна [2].

2.4.1 Розрахунок природної механічної характеристики

Природна механічна характеристика асинхронного електродвигуна $\omega(M)$ розраховується для частоти $f_i=f_{1H}=50$ Гц за виразом:

$$M(s) = \frac{3 \cdot U_{1\text{фн}}^2 \cdot R_2'}{\omega_0 \cdot S \cdot \left[(X_{\text{кн}})^2 + \left(R_1 + \frac{R_2'}{S} \right)^2 + \left(\frac{R_1 \cdot R_2'}{S \cdot X_{\mu}} \right)^2 \right]}; \quad (2.33)$$

Задаємося ковзанням у межах $s = 0.01, 0.02 \dots 0.5$ та розраховуємо за програмою Mathcad природну механічну характеристику $\omega(M)$ (рис. 2.5), де $\omega = \omega_0 \cdot (I - S)$.

Також розраховуємо номінальне значення електромагнітного моменту двигуна $M_{ем.н}$:

$$M_{ем.н}(s_M) = M_{ем.н} \frac{3 \cdot U_{1фн}^2 \cdot R_2'}{\omega_0 \cdot S_M \cdot \left[(X_{кн})^2 + \left(R_1 + \frac{R_2'}{S_H} \right)^2 + \left(\frac{R_1 \cdot R_2'}{S_H \cdot X_\mu} \right)^2 \right]}; \quad (2.34)$$

$$M_{ем.н}(s_M) = M_{ем.н} = \frac{3 \cdot 220^2 \cdot 0,056}{314,16 \cdot 0,02 \cdot \left[(0,462)^2 + \left(0,083 + \frac{0,056}{0,02} \right)^2 + \left(\frac{0,083 \cdot 0,056}{0,02 \cdot 7,6} \right)^2 \right]} = 151,8 \text{ Н} \cdot \text{м}.$$

критичного ковзання:

$$S_k = R_2' \cdot \sqrt{\frac{1 + \left(\frac{R_1}{X_\mu} \right)^2}{R_1^2 + X_{кн}^2}}; \quad (2.35)$$

$$S_k = 0,056 \cdot \sqrt{\frac{1 + \left(\frac{0,083}{7,6} \right)^2}{0,083^2 + 0,462^2}} = 0,119.$$

та електромагнітного критичного моменту:

$$M_{ем.н}(s_k) = M_{ем.н} = \frac{3 \cdot U_{1фн}^2}{\omega_0 \cdot 2 \cdot \left[R_1 + \sqrt{(R_1^2 + X_{кн}^2)} \cdot \left(1 + \frac{R_1}{X_\mu} \right) \right]}; \quad (2.36)$$

$$M_{ем.н}(s_k) = M_{ем.н} = \frac{3 \cdot 220^2}{314,16 \cdot 2 \cdot \left[0,083 + \sqrt{(0,083^2 + 0,462^2)} \cdot \left(1 + \frac{0,083}{7,6} \right) \right]} = 420 \text{ Н} \cdot \text{м}.$$

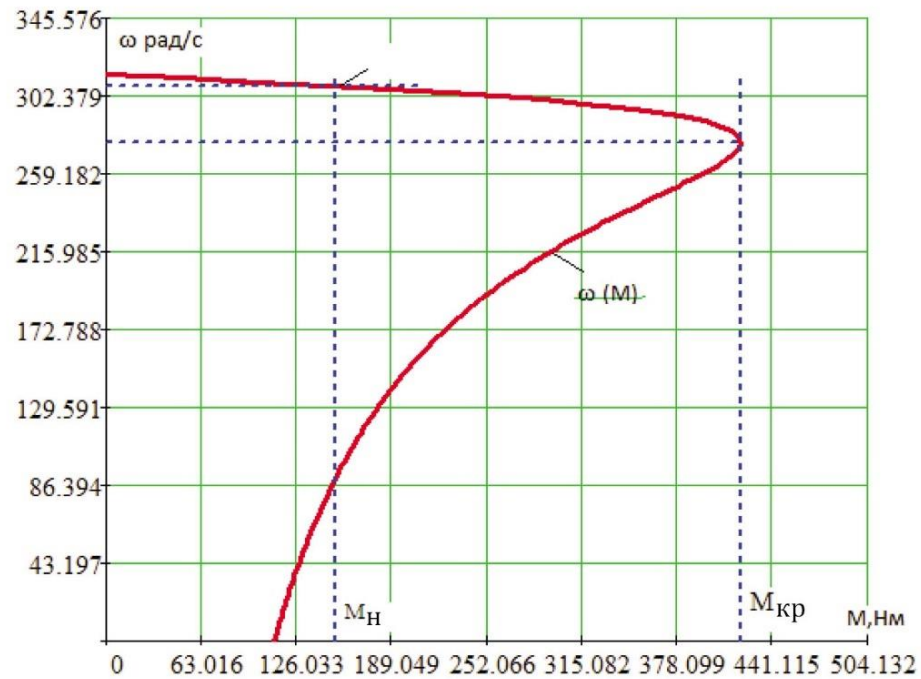


Рисунок 2.5 – Природна механічна характеристика асинхронного електродвигуна

2.4.2 Розрахунок природної електромеханічної характеристики

Природна електромеханічна характеристика $I_1(s)$ електродвигуна розраховується для значення частоти $f_i = f_{1H} = 50$ Гц за виразом:

$$I_1(s) = \sqrt{I_0^2 + I_2'^2(s) + 2 \cdot I_0 \cdot I_2'(s) \cdot \sin \varphi_2(s)}; \quad (2.37)$$

де:

$$I_2'(s) = \frac{U_{1\Phi H}}{\pm \sqrt{\left(R_1 + \frac{R_2'}{S}\right)^2 + (X_{кн})^2 + \left(\frac{R_1 \cdot R_2'}{S \cdot X_\mu}\right)^2}}; \quad (2.38)$$

$$\sin \varphi_2(s) = \frac{X_{кн}}{\sqrt{\left(R_1 + \frac{R_2'}{S}\right)^2 + (X_{кн})^2}}; \quad (2.39)$$

За наведеними вище виразами для ковзань $s=s_H$ і $s \rightarrow 0$ розраховуються значення струму статора $I_1(s_H)$ та струму холостого ходу I_0 :

$$I_0 = \frac{U_{1\phi H}}{\sqrt{R_1^2 + (X_{1\delta} + X_\mu)^2}}; \quad (2.40)$$

$$I_0 = \frac{220}{\sqrt{0,083^2 + (0,194 + 7,6)^2}} = 28,2 \text{ A.}$$

$$I_1(s_H) = \sqrt{I_0^2 + I_2'(s)^2 + 2 \cdot I_0 \cdot I_2'(s_H) \cdot \sin \varphi_2(s)}; \quad (2.41)$$

де:

$$I_2'(s_H) = \frac{U_{1\phi H}}{\pm \sqrt{\left(R_1 + \frac{R_2'}{S_H}\right)^2 + (X_{KH})^2 + \left(\frac{R_1 \cdot R_2'}{S_H \cdot X_\mu}\right)^2}}; \quad (2.42)$$

$$I_2'(s_H) = \frac{220}{\pm \sqrt{\left(0,083 + \frac{0,056}{0,02}\right)^2 + (0,462)^2 + \left(\frac{0,083 \cdot 0,056}{0,02 \cdot 7,6}\right)^2}} = 75,3 \text{ A.}$$

$$\sin \varphi_2(s) = \frac{X_{KH}}{\sqrt{\left(R_1 + \frac{R_2'}{S_H}\right)^2 + (X_{KH})^2}}; \quad (2.43)$$

$$\sin \varphi_2(s) = \frac{0,462}{\sqrt{\left(0,083 + \frac{0,056}{0,02}\right)^2 + (0,462)^2}} = 0,158.$$

$$I_1(s_H) = \sqrt{28,2^2 + 75,3^2 + 2 \cdot 28,2 \cdot 75,3 \cdot 0,158} = 84,5 \text{ A.}$$

За результатами розрахунку будемо природні електромеханічні характеристики струмів статора $I_1 = f(\omega)$ та ротора $I_2' = f(\omega)$, наведені на рисунку 2.6.

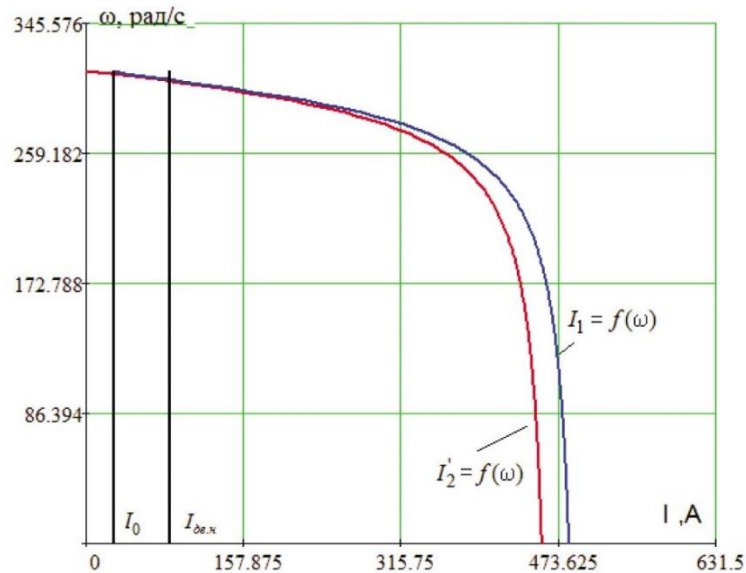


Рисунок 2.6 – Природні електромеханічні характеристики асинхронного електродвигуна

Порівнявши значення розрахункових параметрів характерних точок природних характеристик двигуна з його довідковими даними наведеними в таблиці 2.2 та розрахованими раніше, можна зробити висновок про адекватність розрахункових параметрів схеми заміщення двигуна.

2.4.3 Механічна характеристика насосу

Так як механічна характеристика двигуна розрахована для електромагнітного моменту, навантаження (повне) на валу електродвигуна повинна враховувати власний момент тертя двигуна. Момент від сил тертя на валу електродвигуна можна прийняти постійним та рівним:

$$\Delta M_{с.дв} = M_{ем.н} - M_{дв.н}; \quad (2.44)$$

$$\Delta M_{с.дв} = 151,8 - 114,2 = 37,6 \text{ Н} \cdot \text{м}.$$

Оскільки напір, що розвивається насосом, як показано в [10] пропорційний квадрату частоти обертання, то статичний момент опору на валу двигуна $M_c(\omega)$ змінюється залежно від швидкості обертання двигуна відповідно до виразу:

$$M_{c,дв}(\omega) = \Delta M_{c,дв} + (M_{c,макс} - \Delta M_{c,дв}) \cdot \left(\frac{\omega}{\omega_{дв,н}} \right)^3; \quad (2.45)$$

де: $M_{c,макс} = M_{c,н} = 151,8 \text{ Н} \cdot \text{м}$ – момент навантаження при швидкості обертання $\omega_{дв} = 307,88 \text{ рад/с}$, рівний номінальному електромагнітному моменту двигуна.

$$M_{c,дв}(\omega) = 5,6 + (151,8 - 5,6) \cdot \left(\frac{\omega}{307,88} \right)^3.$$

Механічні характеристики повного моменту опору на валу двигуна, що відповідають механічним характеристикам насоса, наведено на рисунку 2.7.

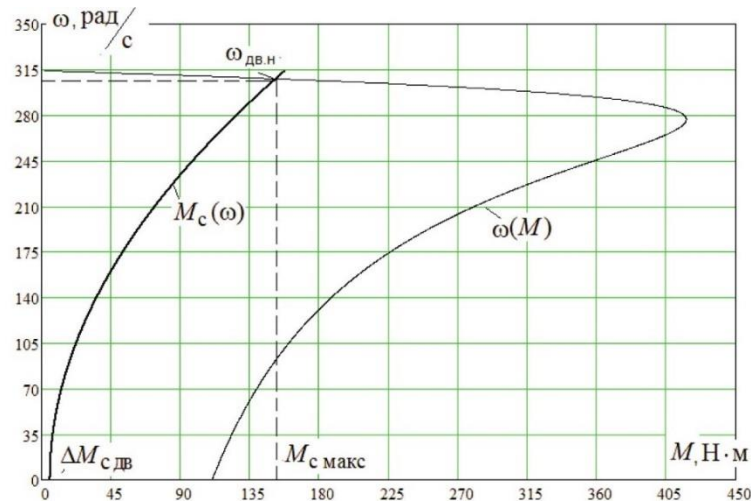


Рисунок 2.7 – Природна механічна характеристика двигуна $\omega(M)$ та характеристики повного моменту опору на валу двигуна $M_c(\omega)$

З аналізу наведених на рисунку 2.7 характеристик слідує, що електродвигун AIP200S2 забезпечує необхідне значення максимальної швидкості насоса TP 150-390/4 A-F-A-BAQE $\omega_{дв,н} = 307,88 \text{ рад/с}$, тривалу роботу при максимальному моменті навантаження та більш ніж дворазове навантаження за моментом.

2.4.4 Розрахунок статичних характеристик системи ПЧ-АД при частотному регулюванні

Вольт-частотна характеристика перетворювача при законі регулювання $U_1/f_1^3 = \text{const}$ [7]:

$$U_1 / f_1 = U \cdot \left(\frac{f_1}{f_{1н}} \right); \quad (2.46)$$

наведено на рисунку 2.8 (характеристика 1).

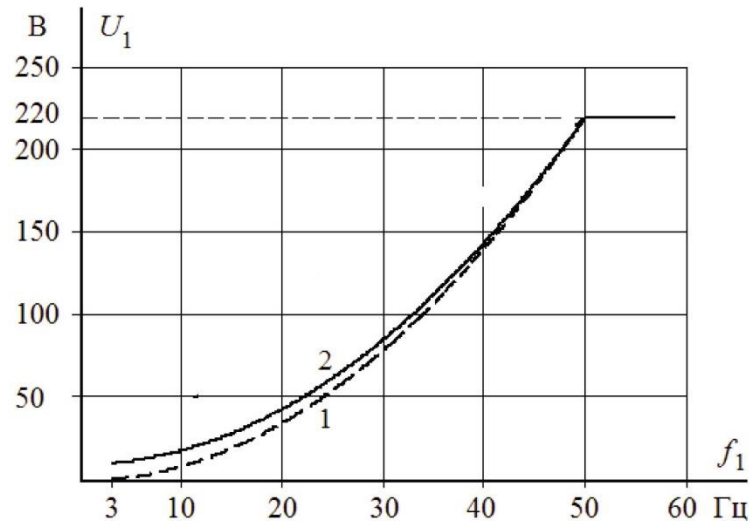


Рисунок 2.8 – Вольт-частотна характеристика перетворювача:

1 – при законі регулювання $U_1/f_1^2 = \text{const}$ відповідно до (2.46); 2 – при законі регулювання $U_1/f_1^2 = \text{const}$ відповідно (2.48).

Максимальну частоту інвертора, що відповідає номінальному режиму роботи насоса, визначаємо з умови забезпечення номінальної робочої швидкості двигуна $\omega_{\text{дв.н}} = 307,88 \text{ рад/с}$. Приймаємо максимальне значення частоти інвертора $f_{i \text{ макс}} = f_{1н} = 50 \text{ Гц}$. Для забезпечення пускової характеристики двигуна виходячи з необхідного діапазону регулювання швидкості 1:5 приймаємо мінімальну частоту інвертора $f_{i \text{ мін}} = 5 \text{ Гц}$.

2.4.5 Механічні характеристики системи перетворювач-двигун при законі регулювання $U_1/f_1^2 = \text{const}$

Механічні характеристики $\omega(M)$ розімкнутої системи перетворювач частоти – асинхронний двигун при законі регулювання $U_1/f_1^2 = \text{const}$ для ряду вибраних значень вихідної частоти інвертора: $f_{1н1} = 50 \text{ Гц}$; $f_{1н2} = 30 \text{ Гц}$; $f_{1н3} = 15 \text{ Гц}$; $f_{1н4} = 5 \text{ Гц}$ розраховуються за допомогою програми Mathcad за виразами [10]:

$$M(s)f_1 = \frac{3 \cdot U_1^2 \cdot f_1 \cdot R_2'}{\omega_0 + \frac{f_1}{f_{1H}} \cdot S \cdot \left[\left(X_{KH} \cdot \frac{f_1}{f_{1H}} \right)^2 + \left(R_1 + \frac{R_2'}{S} \right)^2 + \left(\frac{R_1 \cdot R_2'}{S \cdot X_{\mu} \cdot \frac{f_1}{f_{1HH}}} \right) \right]} \quad (2.47)$$

де:

$$U_1 / f_1 = U_{1\Phi H} \cdot \left(\frac{f_1}{f_{1H}} \right)^2 = 220 \cdot \left(\frac{f_1}{50} \right)^2.$$

$$\omega \cdot s \cdot f_1 = 314,16 \cdot \frac{f_1}{50} \cdot 1 - S;$$

За результатами розрахунку рисунку 2.9 побудовано сімейство механічних характеристик $\omega(M)$ системи перетворювач – двигун при зміні частоти.

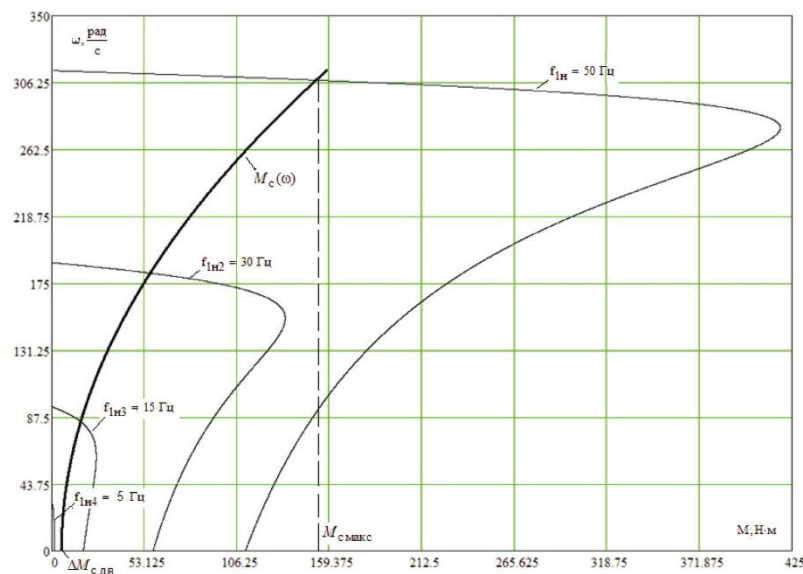


Рисунок 2.9 – Механічні характеристики $\omega(M)$ при законі регулювання

$$U_1/f_1^2 = \text{const}, \Delta M_{c_{дв}} = 5,6 \text{ Н} \cdot \text{м}, \Delta M_{c_{макс}} = 151,6 \text{ Н} \cdot \text{м}$$

Аналіз наведених на рисунку 2.9 механічних характеристик електроприводу та навантаження показує, що при законі регулювання $U_1/f_1^2 = \text{const}$ не вдається забезпечити пуск електроприводу під час вибору початкової частоти інвертора $f_{1\text{мін}} = 5 \text{ Гц}$.

З метою забезпечення дворазового пускового моменту експериментально виконано підбір параметрів початкової ділянки вольт-частотної

характеристики перетворювача. Остаточні обрані для початкової ділянки характеристики такі параметри (рис. 2.9): $U_{i\text{мін}} = 5 \text{ В}$, $f_{i\text{мін}} = 5 \text{ Гц}$.

В результаті вольт-частотна характеристика представлена залежністю:

$$U_i f_1 = U_{i\text{мін}} + U_{i\text{фн}} - U_{\text{фмін}} \cdot \left(\frac{f_1}{f_{1\text{н}}} \right)^2 = 5 + (220 - 5) \cdot \left(\frac{f_1}{50} \right)^2; \quad (2.48)$$

та наведено на рисунку 2.10 (характеристика 2).

Механічні характеристики системи перетворювач – двигун, розраховані за виразами (2.47) з урахуванням обраного налаштування вольт-частотної характеристики (2.48), наведено на рисунку 2.10.

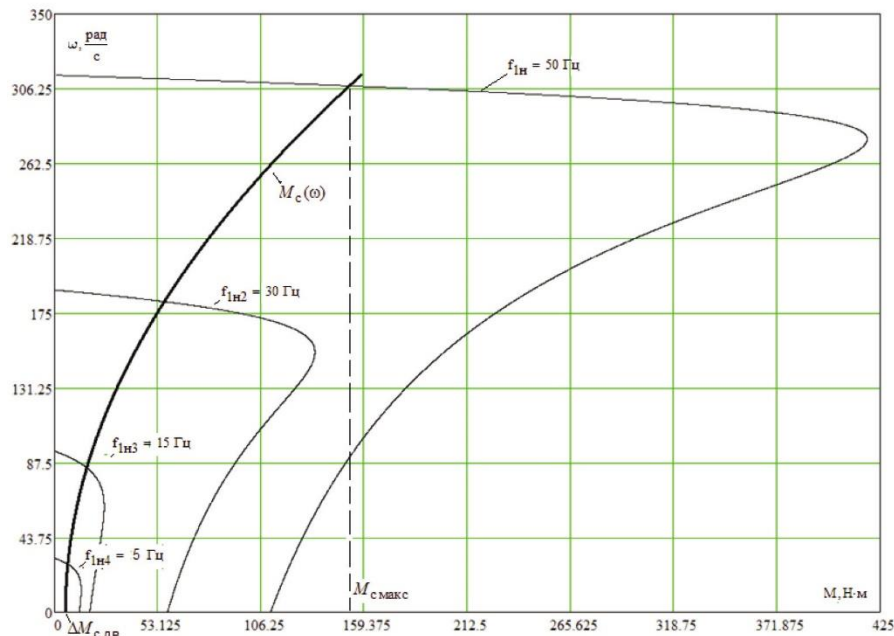


Рисунок 2.10 – Механічні характеристики $\omega(M)$ системи перетворювач – двигун при налаштуванні вольт-частотної характеристики відповідно до (2.48)

2.4.6 Електромеханічні характеристики системи перетворювач-двигун при законі регулювання $U_1/f_1^2 = \text{const}$

Електромеханічні характеристики $\omega(I_1)$ розімкнутої системи перетворювач частоти – асинхронний двигун після налаштування вольт-частотної характеристики перетворювача відповідно до (2.48) розраховуються для обраних раніше значень частоти за виразами [10]:

$$I_1 f_1 = \sqrt{I_0^2 \cdot f_1 - I_2^2 \cdot f_1 - 2 \cdot I_0 \cdot f_1 \cdot f_2' \cdot f_1 \cdot \sin \varphi_2 \cdot f_1}; \quad (2.49)$$

$$I_0 f_1 = \frac{U_1 f_1}{\sqrt{R_1^2 + X_{1\sigma} + X_\mu^2 \cdot \left(\frac{f_1}{f_{1H}}\right)^2}} = \frac{U_1 f_1}{\sqrt{0,083^2 + 0,194 \cdot 7,6^2 \cdot \left(\frac{f_1}{f_{1H}}\right)^2}}; \quad (2.50)$$

$$I_2 s f_1 = \frac{U_1 f_1}{\sqrt{\left(R_1 + \frac{R_2'}{S}\right)^2 + \left(X_{KH} \cdot \frac{f_1}{f_{1H}}\right)^2 + \left(\frac{R_1 \cdot R_2'}{S \cdot X_\omega \cdot \frac{f_1}{f_{1H}}}\right)^2}} = \quad (2.51)$$

$$\frac{U_1 f_1}{\sqrt{\left(0,083 + \frac{0,056}{S}\right)^2 + \left(0,462 \cdot \frac{f_1}{f_{1H}}\right)^2}};$$

де:

$$U_i f_1 = U_{i\min} + U_{1\text{фн}} - U_{\text{ф}\min} \cdot \left(\frac{f_1}{f_{1H}}\right)^2 = 5 + (220 - 5) \cdot \left(\frac{f_1}{50}\right)^2; \quad (2.52)$$

$$\omega \cdot s \cdot f_1 = 314,16 \cdot \frac{f_1}{50} \cdot 1 - S; \quad (2.53)$$

За результатами розрахунку на рисунку 2.10 побудовано сімейство електромеханічних характеристик $\omega(I_1)$ системи перетворювач двигун.

На рисунку 2.11 наведено характеристику повного моменту навантаження $M_c \omega$, а на рисунку 2.12 відповідна їй залежність статичного струму навантаження $I_{1c} \omega$, розрахована за виразами (2.49) – (2.52) в інтервалі частот $f_1 = f_{1H1} \div f_{1H4}$ для значень ковзання s , знайдених шляхом спільного чисельного розв'язування рівнянь для механічних характеристик двигуна та навантаження.

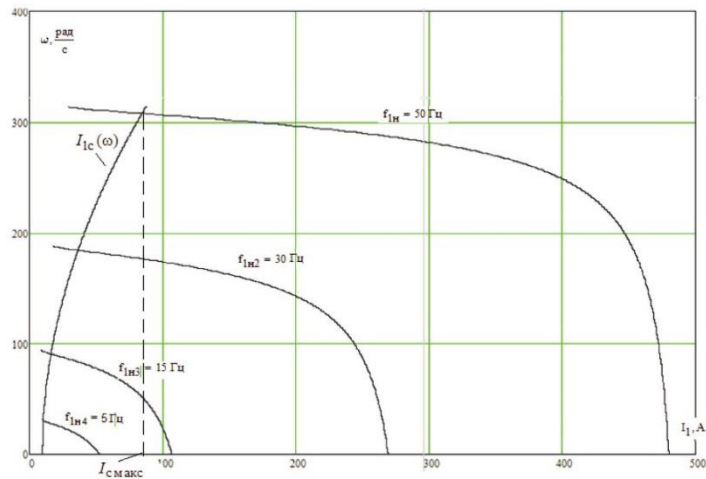


Рисунок 2.11 – Електромеханічні характеристики електроприводу $\omega(I_1)$ при скалярному керуванні після коригування вольт-частотної характеристики

Аналіз наведених на рисунку 2.10 та 2.11 характеристик електроприводу та навантаження показує, що при законі регулювання $U_1/f_1^2 = \text{const}$ та налаштування вольт-частотної характеристики відповідно до (2.48) асинхронний привід забезпечує пуск насоса з початкової частоти інвертора $f_{1\text{мін}} = 5 \text{ Гц}$, заданий діапазон регулювання швидкості та не менш ніж дворазове максимальне навантаження у всьому діапазоні регулювання швидкості.

2.5 Розробка структурних та функціональних схем керування електроприводами насосної станції водопідготовки

У найпростішому випадку частотно-регульований асинхронний електропривід із скалярним керуванням реалізується за розімкнутою структурою.

Функціональна схема такого частотно-регульованого асинхронного електроприводу зі скалярним керуванням, виконана за розімкнутою структурою, наведена на рисунку 2.14. АД виконаний у вигляді двофазної моделі у нерухомій системі координат α, β [10]. На функціональній схемі символом * позначені сигнали завдання та керування та прийняті такі позначення:

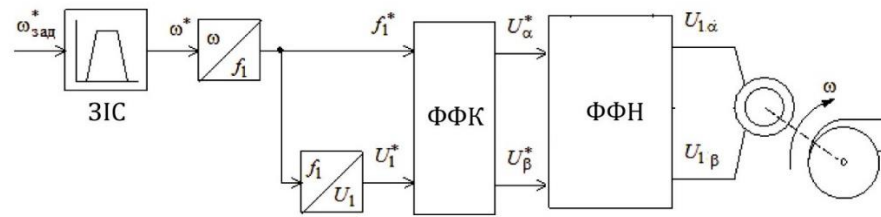


Рисунок 2.14 – Функціональна схема ЧРЕ зі скалярним керуванням ω – фактичне значення кутової швидкості обертання двигуна;
 ЗІШ – задатчик інтенсивності швидкості з лінійною характеристикою;
 ФНК – формувач напруг керування двофазним АД, який формує дві напруги змінного струму U_{α}^* і U_{β}^* при застосуванні структурної схеми АД у нерухомій системі координат статора α, β ; ФФН – формувач фазних напруг двофазного двигуна

У розімкнутій системі електроприводу зі скалярним керуванням при зменшенні частоти максимальний момент двигуна зменшується [5].

Основна причина цього – зростання впливу активного опору обмотки статора при зниженні частоти напруги живлення. При законі регулювання $U_1/f_1^2 = \text{const}$, як було показано вище, з метою забезпечення пускового моменту на малих швидкостях в перетворювачі повинна бути передбачена функція коригування (підвищення початкового значення напруги) вольт-частотної характеристики в області малих частот вихідної напруги інвертора. Або, як показано в [6], можна застосувати так звану IR – компенсацію (підвищення фазної напруги інвертора на величину падіння напруги на обмотці статора $I_1 R_1$) в області малих частот.

Для обмеження моменту та струму АД у пуско-гальмівних режимах електроприводу механізмів, у яких за технологією неможливі механічні навантаження (до таких механізмів можна віднести привід насосів), достатньо застосування задатчика інтенсивності з лінійною характеристикою, який встановлюється на вході електроприводу в каналі завдання швидкості. Відповідно до функціональної схеми, представленої на рисунку 2.15, з бібліотеки імітаційних моделей систем ПЛ-АД, запропонованих [6] у середовищі Simulink системи MatLAB, вибираємо модель, показану на рисунку

2.16. Імітаційні моделі блоків, що входять до неї, представлені на рисунках 2.17 - 2.21.

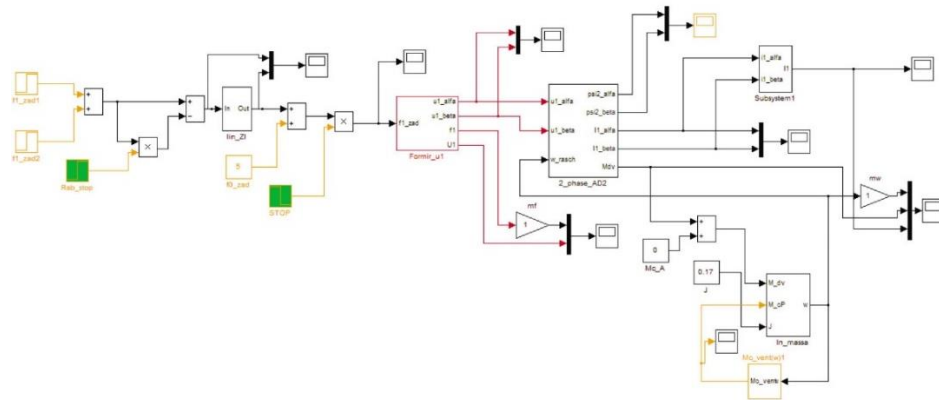


Рисунок 2.15 – Імітаційна модель розімкнутої системи ПЧ-АД із скалярним керуванням

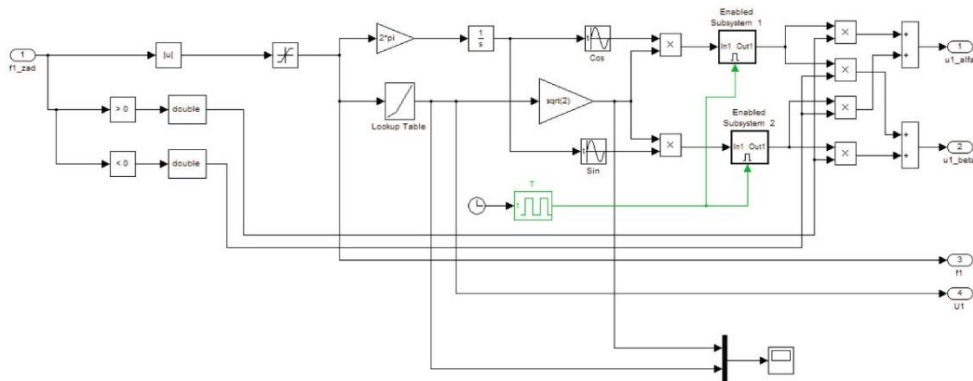


Рисунок 2.16 – Імітаційна модель формувача фазної напруги статорних обмоток двофазного двигуна в нерухомій системі координат α , β

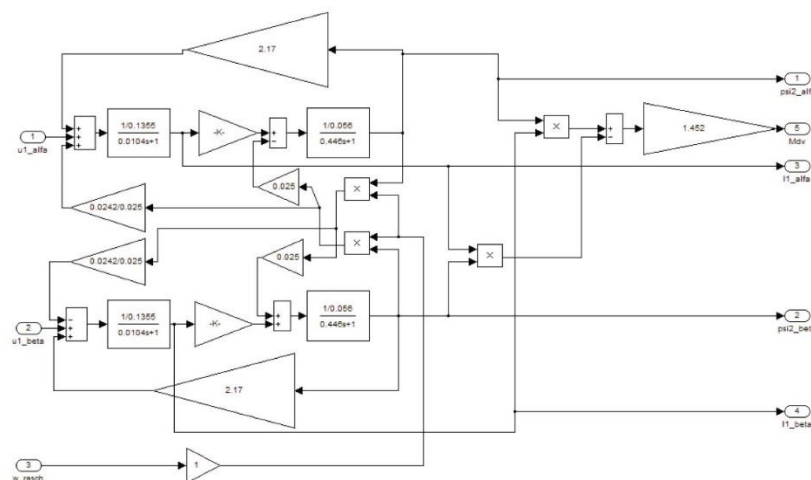


Рисунок 2.17 – Імітаційна модель АД у нерухомій системі координат α , β

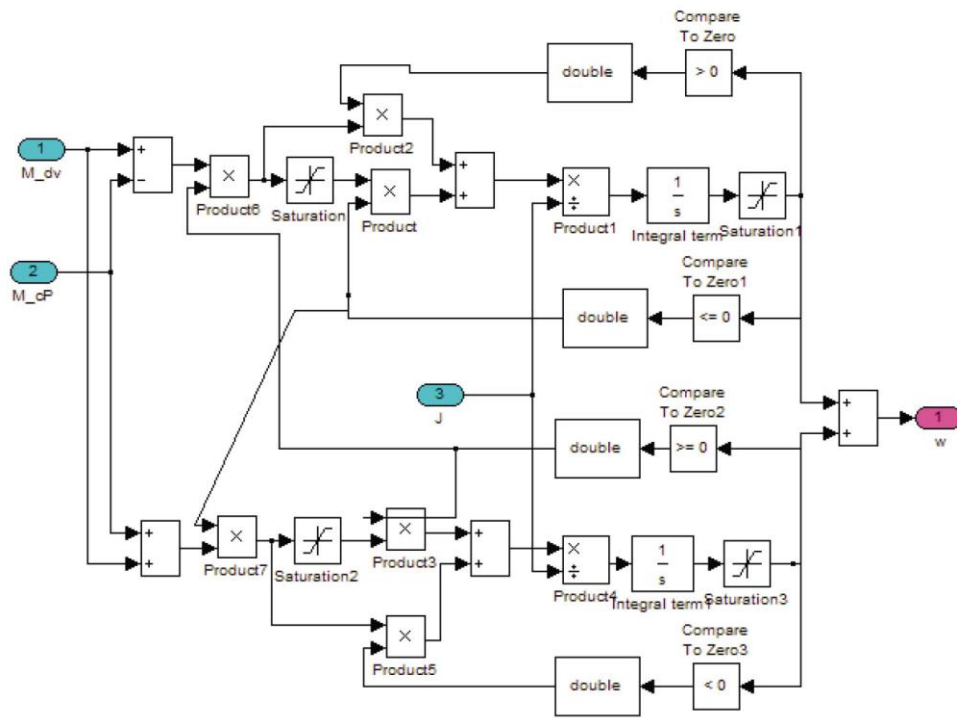


Рисунок 2.18 – Імітаційна модель одномасової механічної системи з моментом навантаження реактивного характеру

Імітаційна модель, що представляє насосне навантаження.

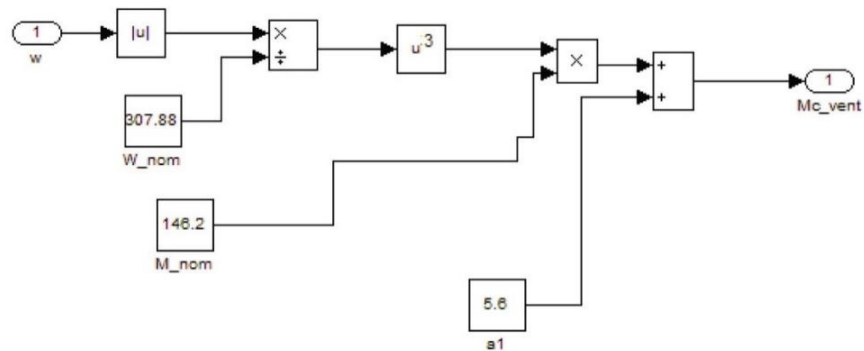


Рисунок 2.19 – Імітаційна модель насосного навантаження

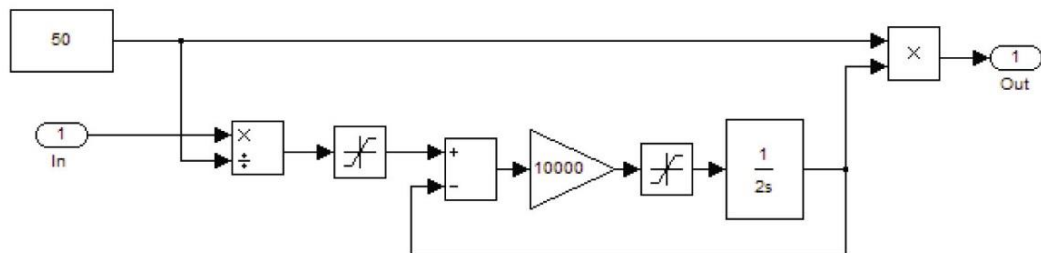


Рисунок 2. 20 – Імітаційна модель задатчика інтенсивності з лінійною вихідною характеристикою

На рисунку 2.21 представлена математично розрахована та апроксимована ламаними лініями крива залежності $U_1(f_1)$

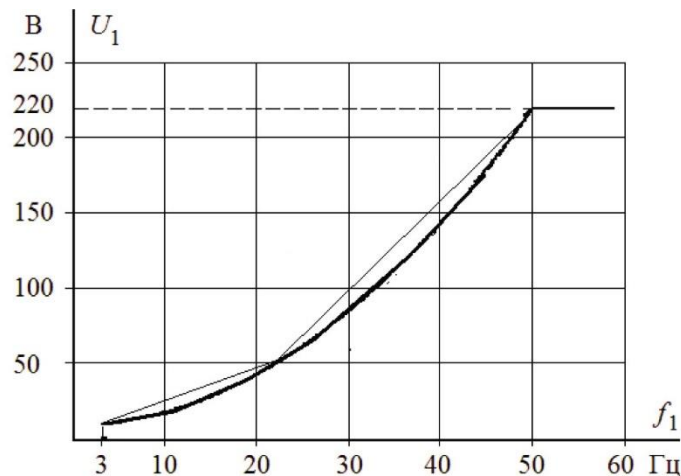


Рисунок 2.21 – Крива залежності $U_1(f_1)$

Крива залежності $U_1(f_1)$ апроксимується відрізками прямих представлена в таблиці 2.5, і набрана в нелінійному блоці Lookup Table в імітаційній моделі формувача фазних напруг.

Таблиця 2.5 – Параметри вольт-частотної характеристики перетворювача

f_1 , Гц	5	22	50
U_1 , В	5	50	220

Імітацію квантування за часом фазної напруги на виході автономного інвертора напруги перетворювача частоти (рис. 2.22), що відбувається в процесі його широтно-імпульсної модуляції (ШІМ) проводиться за допомогою стандартних блоків бібліотеки Simulink: Pulse Generator Enabled Subsystem.

Період квантування за часом напруги інвертора ПЧ приймаємо рівним величині постійного часу запізнення при ШІМ:

$$T_{\text{ін}} = \frac{1}{f_{\text{нч}}}; \quad (2.54)$$

де: $f_{\text{нч}} = 10000$ Гц – несуча частота інвертора.

$$T_{\text{ін}} = \frac{1}{10000} = 0,0001 \text{ с.}$$

2.6 Дослідження роботи електроприводів системи керування електроприводами насосної станції водопідготовки

Імітаційні дослідження електроприводу насоса проводяться з метою перевірки його працездатності в наступних основних технологічних режимах: запуск на будь-яку робочу швидкість насоса; перехід з однієї робочої швидкості насоса на іншу та зупинка насоса в режимі електричного гальмування. У процесі імітаційних досліджень розглянемо такі режими роботи системи електропривод – насос [9]:

- пуск електроприводу на мінімальну робочу швидкість;
- пуск електроприводу з мінімальної робочої швидкості на максимальну;
- гальмування електроприводу з максимальною швидкістю до мінімальної;
- зупинка електроприводу.

До електроприводу насоса не висувається жорстких вимог до динамічних показників. Тому при виборі параметрів налаштування задатчика інтенсивності швидкості передусім слід з умови забезпечення м'якого пуску електропривода. Під час імітаційних експериментів встановлено, що для забезпечення м'якого пуску насоса достатньо прийняти постійну часу задатчика $T_{zi}=5$ с.

Як приклад розглянуто відпрацювання електроприводом насоса наступного циклу:

- пуск на мінімальну частоту $f_{i\text{мін}} = 5$ Гц;
- перехід на максимальну робочу швидкість насоса $f_{p\text{макс}} = 50$ Гц;
- перехід на мінімальну частоту $f_{i\text{мін}} = 5$ Гц;
- зупинка електроприводу.

На рисунку 2.22 та 2.23 наведено тимчасові характеристики відпрацювання електроприводом насоса із законом регулювання $U_1/f_1^2 = \text{const}$ та налаштуванням вольт-частотної характеристики відповідно до таблиці 2.5 прийнятого циклу роботи та лінійної характеристики задатчика.

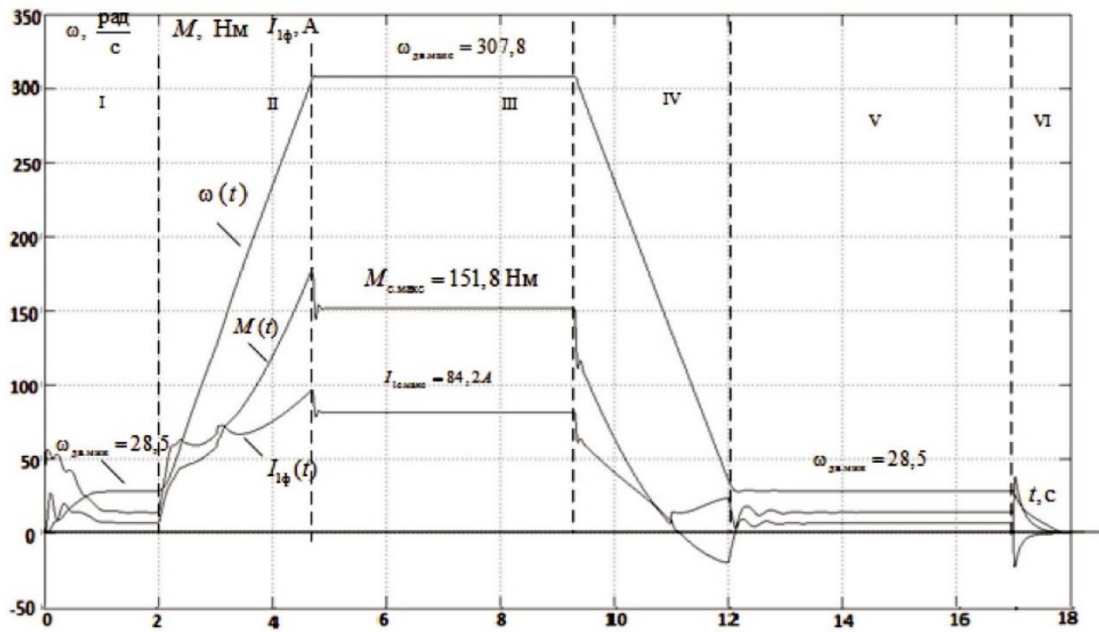


Рисунок 2.22 – Результати імітаційних досліджень відпрацювання електроприводом насоса заданого циклу з лінійним ЗІ за часом $T_{з1}=3$ с графіки перехідних процесів – швидкості $\omega(t)$, моменту $M(t)$, фазного струму двигуна $I_{\phi}(t)$

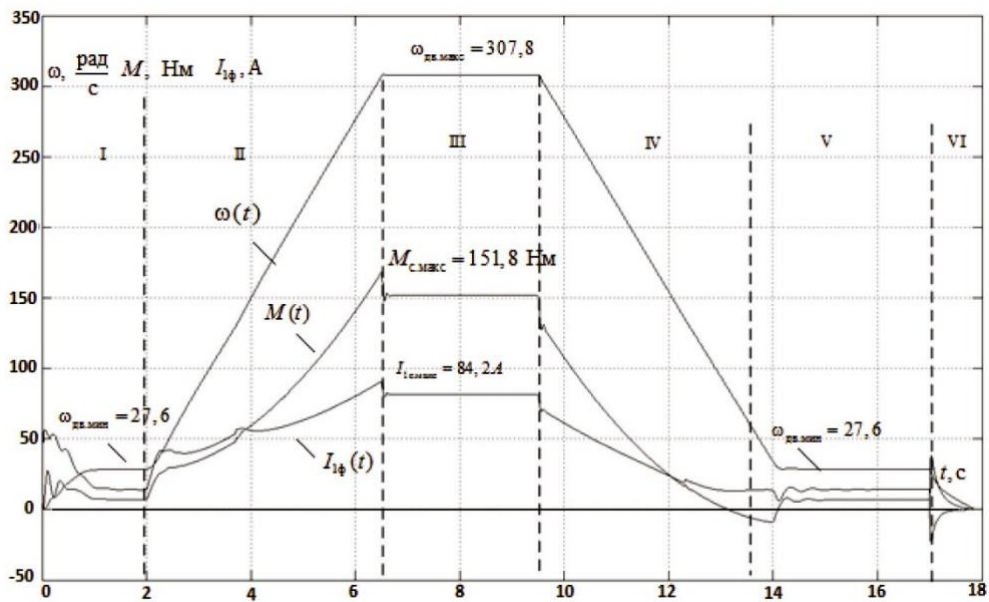


Рисунок 2.23 – Результати імітаційних досліджень відпрацювання електроприводом насоса заданого циклу з лінійним ЗІ за часом $T_{з1}=5$ с графіки перехідних процесів – швидкості $\omega(t)$, моменту $M(t)$, фазного струму двигуна $I_{\phi}(t)$

Для порівняння проведемо дослідження впливу на плавність зміни координат електроприводу застосування ЗІ з S-подібною характеристикою, вид якої показано на рисунку 2.24 [5].

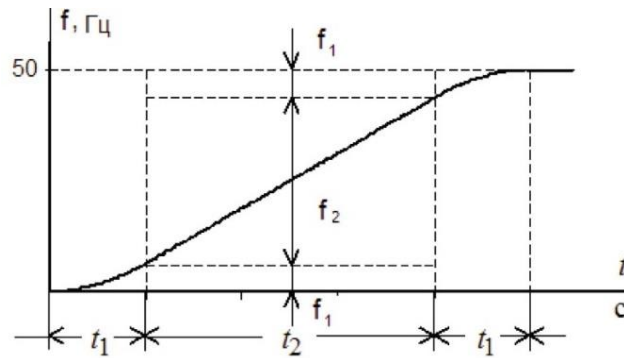


Рисунок 2.24 – Тимчасова характеристика s-подібного задатчика інтенсивності

Схема набору імітаційної моделі задатчика інтенсивності з S-образною характеристикою представлено на рисунку 2.25. З графіків рисунка 2.25 видно, що застосування задатчика інтенсивності з S-подібною характеристикою додатково підвищує плавність перехідних процесів швидкості $\omega(t)$, моменту $M(t)$, фазного струму двигуна $I_{1\phi}(t)$.

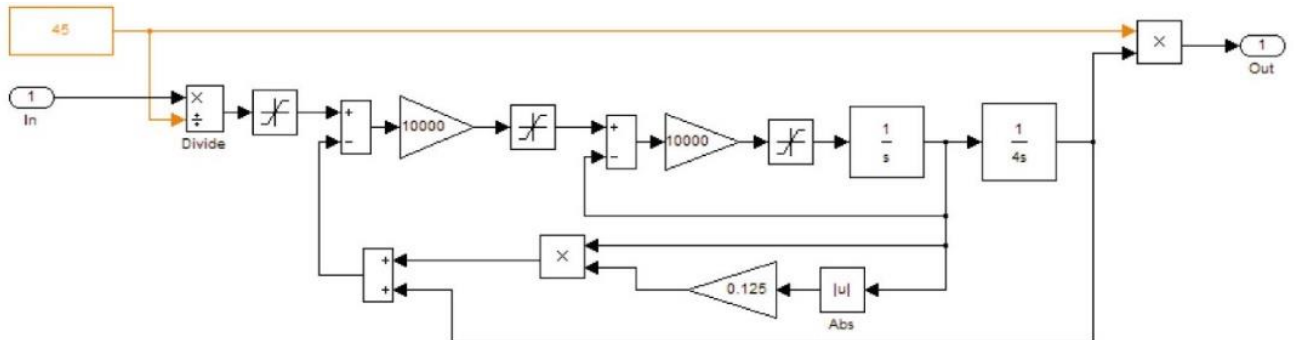


Рисунок 2.25 – Імітаційна модель задатчика інтенсивності з S-образною характеристикою

На рисунку 2.26 прийнято такі параметри характеристики ЗІ:

$$f_{\text{зад}} t \quad t_1=1 \text{ с}, t_2=1 \text{ с}, T_{\text{зн}}=2 \cdot t_1+t_2=2 \cdot 1+1=3 \text{ с}.$$

На рисунку 2.27 прийнято такі параметри характеристики ЗІ:

$$f_{\text{зад}} t \quad t_1=1 \text{ с}, t_2=3 \text{ с}, T_{\text{зн}}=2 \cdot t_1+t_2=2 \cdot 1+3=5 \text{ с}.$$

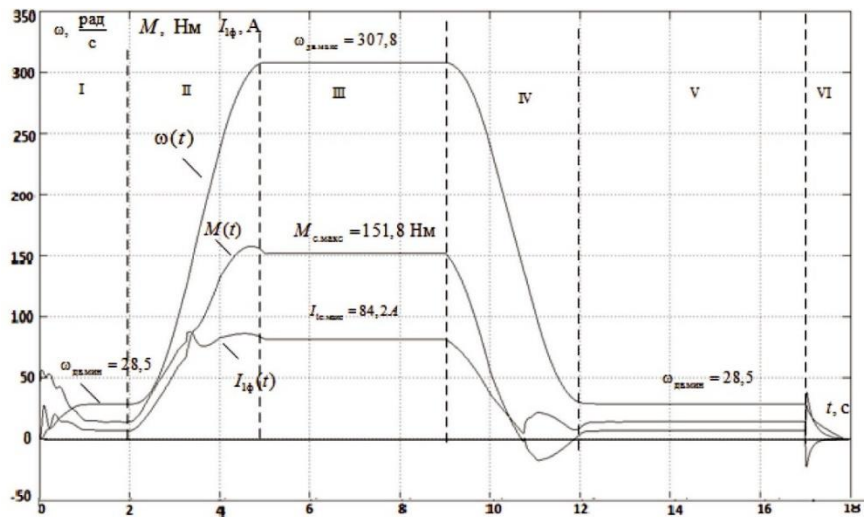


Рисунок 2.26 – Результати імітаційних досліджень відпрацювання електроприводом насоса заданого циклу із задатчиком інтенсивності з S-образною характеристикою при часі $T_{зі}=3$ с; графіки перехідних процесів – швидкості $\omega(t)$, моменту $M(t)$, фазного струму двигуна $I_{1\phi}(t)$

З графіків рисунків 2.26 і 2.27 видно, що застосування ЗІ з S-подібною характеристикою порівняно з ЗІ з лінійною характеристикою додатково підвищує плавність перехідних процесів швидкості $\omega(t)$, моменту $M(t)$, фазного струму двигуна $I_{1\phi}(t)$.

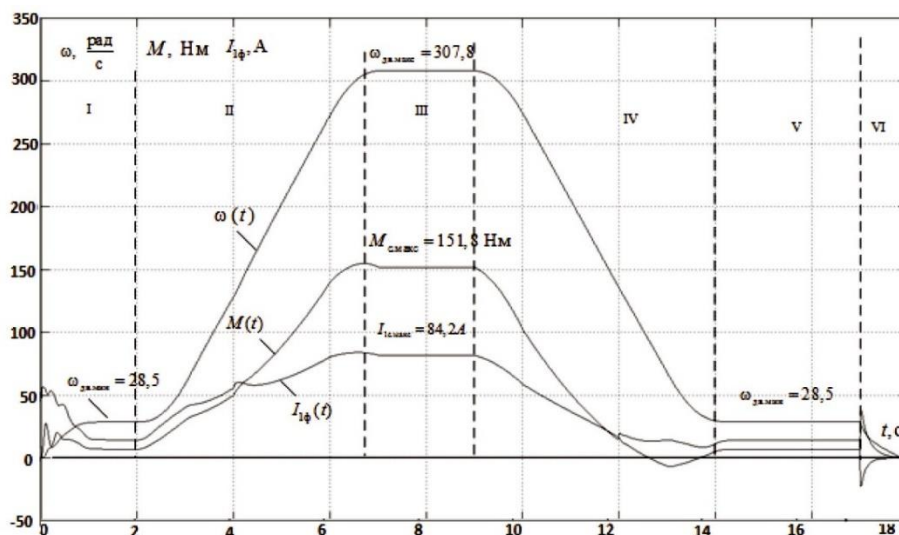


Рисунок 2.27 – Результати імітаційних досліджень відпрацювання електроприводом насоса заданого циклу із задатчиком інтенсивності з S-образною характеристикою при часі $T_{зі}=3$ с; графіки перехідних процесів – швидкості $\omega(t)$, моменту $M(t)$, фазного струму двигуна $I_{1\phi}(t)$

Отримані результати імітаційних досліджень доводять, що частотно-регульований асинхронний електропривод насоса під «вентиляторним» навантаженням при скалярному керуванні із законом керування $U_1/f_1^2 = \text{const}$ і коригуванням вольт-частотної характеристики відповідно (2.3) забезпечує пуск електроприводу з початкової частоти $f_{i_{\text{min}}} = 5 \text{ Гц}$ та потрібний діапазон регулювання швидкості насоса. Перехідні процеси в електроприводі особливо із задатчиком інтенсивності з S-подібною характеристикою протікають плавно з обмеженням динамічного моменту струмів двигуна і перетворювача. Час пуску та електричного гальмування електроприводу визначається та може бути змінено шляхом вибору значення постійного часу задатчика швидкості.

Застосування ЗІ з S-подібною характеристикою за однакового часу T_{zi} з лінійним ЗІ дозволяє підвищити плавність зміни координат, що сприятливо впливає на механічну частину електроприводу насоса.

2.7 Висновки за розділом

Виконали розрахунок необхідної потужності для підбору електродвигунів для напірних насосів. Для перевірки адекватності параметрів обраних електродвигунів перевірили їх за перевантажувальною здатністю та перегрівом. Обрали сучасну систему керування напірними насосами, що ґрунтується на скалярному принципі частотного керування. Виконали розрахунок та побудову природних характеристик електродвигуна, що доводять працездатність САК при заданому законі керування та налаштувань вольт-частотної характеристики.

РОЗДІЛ 3 УДОСКОНАЛЕННЯ СИСТЕМИ КЕРУВАННЯ СТАНЦІЄЮ ВОДОПІДГОТОВКИ

3.1 Розробка принципової схеми керування станцією водопідготовки

Принципові електричні схеми системи автоматизації визначають повний склад окремих елементів та пристроїв, що входять до її структури, з відповідними фізичними зв'язками між елементами та пристроями. Відповідно, за своєю сукупною та індивідуальною дією окремі елементи та пристрої в кожній системі автоматизації забезпечують виконання конкретних функціональних завдань: автоматичне керування (регулювання), автоматичний контроль, автоматична сигналізація та окремих конкретних функцій: автоматичний захист, автоматичне блокування та інші функції, що мають інше конкретне призначення та зміст.

Принципові схеми керування складаються з силових кіл чи кіл головного струму та допоміжних ланцюгів керування та захисту. При всьому різноманітті важливих електричних схем керування технологічними процесами і ступеня їх складності вони представляють належним чином складене поєднання окремих, досить елементарних електричних ланцюгів і типових функціональних вузлів, у заданій послідовності виконують ряд стандартних операцій.

Напруга мережі силового електрообладнання станції водопідготовки – $\sim 380/220\text{В}$ з системою заземлення TN-C-S, в якій функції нульового робочого та нульового захисного провідників розділено в частині проєктованої мережі. Для кіл керування використовується постійна напруга $+24\text{ В}$.

Робота системи починається з подачі напруги через автоматичні вимикачі QF та магнітні контактори КМ на компресорні насоси КН1 та КН2. Роботу насосів контролюють датчики витрати води FE1 та датчик тиску PE1. Для безперебійної роботи ДФ1 та ДФ2 передбачено керування від ШК через автоматичні вимикачі QF5-QF6. Схемою передбачено живлення ФОВ через відповідні магнітні вимикачі QF7-QF12.

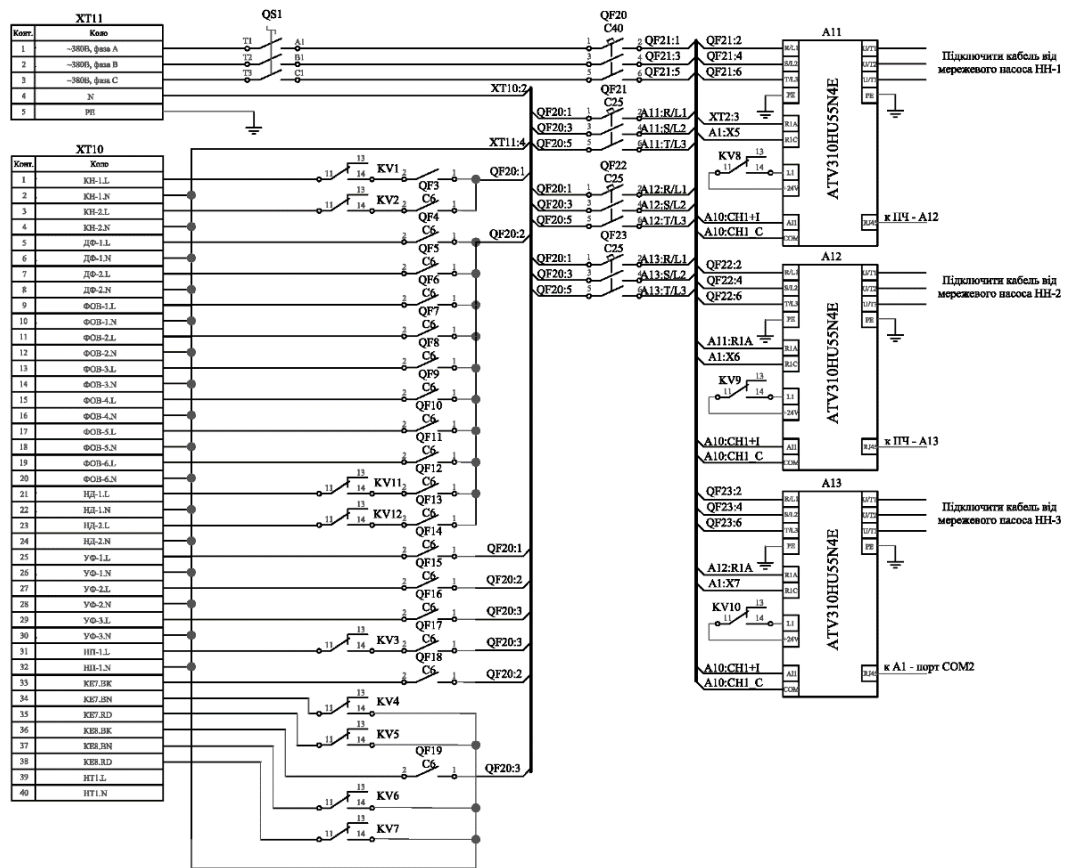


Рисунок 3.1 – Принципова електрична схема силового обладнання станції
ВОДОПІДГОТОВКИ

Живлення блоку знезараження відбувається через автоматичні вимикачі QF15-QF17. Окремо живиться промивний насос НС через автоматичний вимикач QF18 та відповідний магнітний контактор КМ. Також до цього блоку входить датчик тиску PE2.

Живлення блоку компенсаційних ємностей відбувається через автоматичні вимикачі QF18, що відповідають за живлення клапанів ємностей. До цього блоку входять живлення датчиків рівня LE1 та LE2.

Живлення напірний насосів НН1-НН3 відбувається через автоматичні вимикачі QF13-QF14 та відповідні магнітні контактори КМ. До цього блоку також входять датчики тиску PE3-PE6. Дані з датчиків надходять на ПЧ для керування НН.

Живлення кіл керування відбувається через автоматичний вимикач QF, що подає напругу на перетворювач 24В. Від перетворювача типу SDR-480-24 сигнал

подається на всі датчики, модулі та контролер системи керування станцією водопідготовки.

Можливість організувати обмін даними між контролером системи водопідготовки, об'єднаними в одну мережу Ethernet, що здійснюється незалежно від обміну по Modbus TCP забезпечують модулі розширення типу DVP04DA-S та DVP08SN11R. Схема під'єднання датчиків та клапанів до модулів розширення представлено на рисунку 3.2.

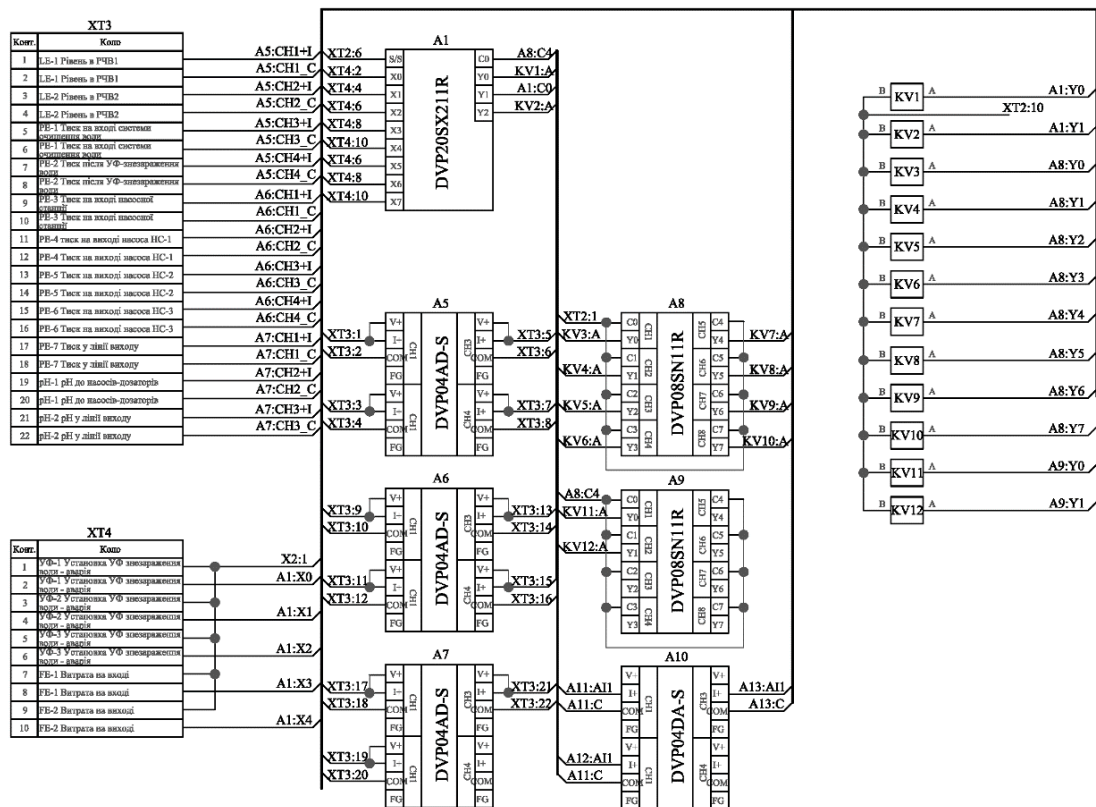


Рисунок 3.2 – Принципова електрична схема керування станцією водопідготовки

Сигнали від модулів розширення надходять на контролер типу DVP20SX211R. Контролери такого типу мають центральний процесор, модуль з 20 точками введення/виведення (8 дискретних вх. + 6 дискретних вих. + 4 аналогових вх. + 2 аналогових вих.), сумісний з усіма модулями розширення серії DVP-S для правосторонньої та лівосторонньої високошвидкісної шини розширення.

Сигнали від контролера надходять на перетворювач частоти Altivar 212 для керування напірними насосами типу AIP200L2.

3.2 Розрахунок та вибір провідників та елементів схеми керування станцією водопідготовки

Все обладнання автоматизованої системи керування НСВ можливо поділити на силове обладнання (табл. 3.1) та низьковольтне обладнання (табл. 3.2).

Таблиця 3.1 – Перелік силового обладнання системи НСВ

№	Найменування	Позн.	К-ть	кВт.,
1	Компресор повітряний напірний АІР180В2 електродвигун 22 кВт 3000 об/хв	КН-1 КН-2	2 шт.	22
2	Установка ультрафіолетового знезараження води	УФ-1, УФ-2, УФ-3	3 шт.	1
3	Насос промивний АІР200М2 електродвигун 37 кВт 3000 об/хв	НП-1	1 шт.	37
4	Насос напірний АІР200L2 електродвигун 45 кВт 3000 об/хв	НН-1, НН-2, НН-3	3 шт.	45
5	Цифровий насос для дозування хімреагентів (гіпохлориту натрію) АІР132М2 електродвигун 11 кВт 3000 об/хв	НД-1, НД-2	2 шт.	11

Таблиця 3.2 – Перелік низьковольтного обладнання системи НСВ

	Найменування	Позн.	К-ть
1	Датчик тиску	РЕ	5 шт.
2	Датчик рівня	LE	2 шт.
3	Датчик витрати	FE	2 шт.
4	Комунікаційний модуль	DVP	1 шт.
5	Модуль розширення	DVPE	4 шт.
6	Блок живлення на 24 В	SDR	1 шт.
7	Клапан з електроприводом	KE	14 шт.
8	Дисковий фільтр очищення води	ДФ	2 шт.

Без розрахунку перерізу провідника можна зіткнутися з однією із двох ситуацій:

1. Занадто сильний перегрів проводки. Виникає при недостатньому діаметрі провідника. Створює сприятливі умови для самозаймання та коротких замикань.

2. Невиправдані витрати на проведення. Таке відбувається у ситуаціях, коли було обрано провідники надлишкового діаметра. Звичайно, небезпеки тут немає, але кабель більшого перерізу коштує дорожче і не так зручний у роботі.

Для вибору перерізу кабельної лінії для силового електрообладнання розрахуємо струм у номінальному режимі:

$$I_{\text{ном}} = \frac{P_{\text{н.дв}}}{\sqrt{3} \cdot U \cdot \eta \cdot \cos \varphi}; \quad (3.1)$$

Для електропривода повітряного компресора:

$$I_{\text{ном}} = \frac{22000}{\sqrt{3} \cdot 0,81 \cdot 0,85 \cdot 380} = 41,04 \text{ А.}$$

Для електропривода промивного насоса:

$$I_{\text{ном}} = \frac{37000}{\sqrt{3} \cdot 0,92 \cdot 0,88 \cdot 380} = 69,44 \text{ А.}$$

Для електропривода напірного насоса:

$$I_{\text{ном}} = \frac{45000}{\sqrt{3} \cdot 0,92 \cdot 0,88 \cdot 380} = 84,45 \text{ А.}$$

Для електропривода дозуючого насоса:

$$I_{\text{ном}} = \frac{11000}{\sqrt{3} \cdot 0,884 \cdot 0,89 \cdot 380} = 21,24 \text{ А.}$$

Для установки ультрафіолетового зназараження використаємо наступну формулу для розрахунку номінального струму:

$$I_{\text{ном}} = \frac{P_{\text{н.дв}} \cdot K_C}{U \cdot \cos \varphi}; \quad (3.2)$$

$$I_{\text{ном}} = \frac{1000 \cdot 0,75}{220 \cdot 1} = 3,4 \text{ А.}$$

При проектуванні вибирають провідник з запасом 25-30 % від номінального струму. Це пов'язано в першу чергу з можливістю модернізації обладнання без модернізації електропроводки, збільшенням терміну експлуатації електропроводки, полегшенням вибору обладнання (елементів захисту) тощо.

$$I_p = I_{\text{ном.}} + 25 \% . \quad (3.3)$$

Для електропривода повітряного компресора:

$$I_p = 1,25 \cdot 41,04 = 51,3 \text{ А.}$$

Для електропривода промивного насоса:

$$I_p = 1,25 \cdot 69,44 = 86,8 \text{ А.}$$

Для електропривода напірного насоса:

$$I_p = 1,25 \cdot 84,45 = 105,56 \text{ А.}$$

Для електропривода дозуючого насоса:

$$I_p = 1,25 \cdot 21,24 = 26,55 \text{ А.}$$

Для установки ультрафіолетового знезараження:

$$I_p = 1,25 \cdot 3,4 = 4,25 \text{ А.}$$

Вибираємо кабель найбільш ближчий до I_p , тобто повинна виконуватись умова:

$$I_{\text{доп.}} \geq I_p, \quad (3.4)$$

де: $I_{\text{доп.}}$ – максимально допустимий струм провідника згідно таблиці 3.1;

I_p – номінальний струм навантаження із запасом 25% (розрахунковий струм).

Виберемо наступні кабельні лінії:

1. Трижильний кабель ВБбШнг 3x16 при прокладанні у повітрі з $I_p=75$ А для живлення електропривода повітряного компресора.

2. Трижильний кабель ВБбШнг 3x25 при прокладанні у повітрі з $I_p=95$ А для живлення електропривода промивного насоса.

3. Трижильний кабель ВБбШнг 3x35 при прокладанні у повітрі з $I_p=120$ А для живлення електропривода напірного насоса.

4. Трижильний кабель ВБбШнг 3x4 при прокладанні у повітрі з $I_p=35$ А для живлення електропривода дозуючого насоса.

5. Трижильний кабель ВБбШнг 3x1,5 при прокладанні у повітрі з $I_p=19$ А для живлення установки для ультрафіолетового знезараження.

Таблиця 3.3 – Параметри для вибору кабельних ліній

Параметри	$P_{\text{НОМ}}$, кВт	$I_{\text{НОМ}}$, А	I_p , А	l , м
Компресор повітряний напірний	22	41,04	51,3	15
Насос промивний	37	69,44	86,8	10
Насос напірний	45	84,45	105,56	15
Цифровий насос для дозування хімреагентів (гіпохлориту натрію)	11	21,24	26,55	11
Установка ультрафіолетового знезараження води	1	3,4	4,25	12

Кабель ВББШнг застосовується для прокладання в землі (траншеях), приміщеннях, тунелях, каналах, шахтах (крім прокладки в блоках), а також на відкритому повітрі, якщо кабель не наражається на значні зусилля, що розтягують, але за наявності небезпеки механічних пошкоджень у процесі експлуатації [8].

Таблиця 3.4 – Характеристика кабеля ВББШнг

Параметр	Значення
Номінальна змінна напруга	0,66/1 кВ
Номінальна частота	100Гц
Мінімально допустимий радіус вигину	7,5 діаметрів кабелю
Будівельна довжина	200-450 м
Допустимі зусилля при протяжці кабелю по трасі прокладки	50 Н/мм ²
Код ОКП КВББШнг	3533710600
Клас пожежної безпеки	П16.8.2.5.4
Температура навколишнього середовища під час експлуатації кабелю	от -50°C до 50°C
Стійкість до дії підвищеної відносної вологості при температурі навколишнього середовища до 35°C	98%
Мінімальна температура прокладання кабелю без попереднього підігріву	-15°C

Виконаємо перевірку провідників на нагрів. Вважаємо, що при температурі середовища +35°C, нормована температура жил кабелю або проводу дорівнює +65°C (температура середовища залежить від способу

прокладання провідника, а температура жил – від технічних характеристик провідника).

Знаходимо максимально допустимий струм провідника з урахуванням t_k .

$$I_{\text{доп.}t_k} = I_{\text{доп.}} \cdot t_k; \quad (3.5)$$

де: $t_k = 0,94$ - температурний коефіцієнт.

Повинна задовільнятись умова:

$$I_{\text{доп.}t_k} \geq I_p. \quad (3.6)$$

Для провідника електропривода повітряного компресора:

$$I_{\text{доп.}t_k} = 75,0 \cdot 0,94 = 70,5 \text{ А};$$

$$I_{\text{доп.}t_k} = 70,5 \geq 51,3 \text{ А.}$$

Для провідника електропривода промивного насоса:

$$I_{\text{доп.}t_k} = 95 \cdot 0,94 = 89,3 \text{ А};$$

$$I_{\text{доп.}t_k} = 89,3 \geq 86,8 \text{ А.}$$

Для провідника електропривода напірного насоса:

$$I_{\text{доп.}t_k} = 120 \cdot 0,94 = 112,8 \text{ А};$$

$$I_{\text{доп.}t_k} = 112,8 \geq 105,56 \text{ А.}$$

Для провідника електропривода дозуючого насоса:

$$I_{\text{доп.}t_k} = 35 \cdot 0,94 = 32,9 \text{ А};$$

$$I_{\text{доп.}t_k} = 32,9 \geq 26,55 \text{ А.}$$

Для установки ультрафіолетового зназараження:

$$I_{\text{доп.}t_k} = 19 \cdot 0,94 = 17,86 \text{ А};$$

$$I_{\text{доп.}t_k} = 17,86 \geq 4,25 \text{ А.}$$

Умова вибору провідників для силового електрообладнання НСВ на нагрів виконується.

Визначимо втрати напруги в кабельних лініях:

$$R_o = \frac{(1 + \alpha \cdot (t_{\text{каб}} - 20)) \cdot \rho_{20}}{S}; \quad (3.7)$$

де: p_{20} – питомий опір жили кабелю при 20°C з урахуванням нагартівки і скручування, приймається рівнем $0,0195 \text{ Ом}\cdot\text{мм}^2/\text{м}$;

s – площа перерізу жили кабелю, мм^2 ;

α – температурний коефіцієнт лінійного розширення міді, рівний $0,0041/^{\circ}\text{C}$;

$t_{\text{каб}}$ – температура жили кабелю.

Втрати напруги при номінальному струмі:

$$\Delta U = I_{\text{ном}} \cdot \gamma \cdot \cos \varphi + I_{\text{ном}} \cdot x \cdot \sin \varphi; \quad (3.8)$$

$$\gamma = R_o \cdot l; \quad (3.9)$$

$$x = X_o \cdot l; \quad (3.10)$$

$$\Delta U\% = \frac{\Delta U}{U_{\text{ном}}} \cdot 100\%; \quad (3.11)$$

Для провідника електропривода повітряного компресора:

$$R_o = \frac{(1 + 0,0041 \cdot (65 - 20)) \cdot 0,0195}{16} = 0,0014 \text{ Ом} / \text{м}.$$

$$\Delta U = 51,3 \cdot (0,0014 \cdot 0,85 \cdot 15 + 0,005 \cdot 0,59) = 1,1 \text{ В}.$$

$$\Delta U\% = \frac{1,1}{380} \cdot 100\% = 0,3\%.$$

Для провідника електропривода промивного насоса:

$$R_o = \frac{(1 + 0,0041 \cdot (65 - 20)) \cdot 0,0195}{25} = 0,0009 \text{ Ом} / \text{м}.$$

$$\Delta U = 86,8 \cdot (0,0009 \cdot 0,88 \cdot 10 + 0,005 \cdot 0,58) = 0,96 \text{ В}.$$

$$\Delta U\% = \frac{0,96}{380} \cdot 100\% = 0,25\%.$$

Для провідника електропривода напірного насоса:

$$R_o = \frac{(1 + 0,0041 \cdot (65 - 20)) \cdot 0,0195}{35} = 0,00066 \text{ Ом} / \text{м}.$$

$$\Delta U = 105,56 \cdot (0,00066 \cdot 0,88 \cdot 15 + 0,005 \cdot 0,59) = 1,23 \text{ В}.$$

$$\Delta U\% = \frac{1,23}{380} \cdot 100\% = 0,33\%.$$

Для провідника електропривода дозуючого насоса:

$$R_o = \frac{(1 + 0,0041 \cdot (65 - 20)) \cdot 0,0195}{4} = 0,0057 \text{ Ом / м}$$

$$\Delta U = 26,55 \cdot (0,0014 \cdot 0,89 \cdot 11 + 0,005 \cdot 0,6) = 1,58 \text{ В.}$$

$$\Delta U\% = \frac{1,58}{380} \cdot 100\% = 0,42\%.$$

Для установки ультрафіолетового зназараження:

$$R_o = \frac{(1 + 0,0041 \cdot (65 - 20)) \cdot 0,0195}{1,5} = 0,0154 \text{ Ом / м.}$$

$$\Delta U = 4,25 \cdot (0,0154 \cdot 1,0 \cdot 12 + 0,005 \cdot 1,0) = 0,8 \text{ В.}$$

$$\Delta U\% = \frac{0,8}{380} \cdot 100\% = 0,21\%.$$

Як бачимо, вибраний переріз відповідає вимогам, тому остаточно приймаємо вибрані кабелі з попередньо розрахованим перерізом для НСВ.

Для живлення низьковольтного обладнання (датчики, модулі, клапани) будемо використовувати кабель КВБбШнг, характеристики якого приведено в таблиці 3.5.

Таблиця 3.5 – Характеристика кабелю КВБбШнг

Параметр	Значення
Номінальна змінна напруга	0,66 кВ
Номінальна частота	100Гц
Мінімально допустимий радіус вигину	10 діаметрів кабелю
Будівельна довжина	200-450 м
Допустимі зусилля при протяжці кабелю по трасі прокладки	50 Н/мм ²
Код ОКП КВБбШнг	3563
Клас пожежної безпеки	П16.8.2.5.4
Температура навколишнього середовища під час експлуатації кабелю	від -50°С до 50°С

Для живлення ПЧ від автоматичного вимикача будемо використовувати аналогічні провідники як і від ПЧ до електропривода.

Автоматичний вимикач – це комутаційний апарат, призначений для захисту електричних кіл від перевантажень та короткого замикання. Він працює в автоматичному режимі, розмикаючи ланцюг у разі аварійних ситуацій. Основне призначення автоматичного вимикача – захист електропроводки та ввімкнених пристроїв від перевантажень та коротких замикань. Він забезпечує безпеку електричних систем у житлових, промислових та комерційних об'єктах, запобігаючи пожежам та пошкодженню обладнання.

Для розподільних кіл, які живлять розподільні, групові та інші щити, а також групових кіл з робочим струмом більше 32 А час автоматичного вимикання не повинен перевищувати 5 с. Як правило сучасні автоматичні вимикачі, наприклад, фірми Siemens, АВВ задовольняють цим вимогам.

Виберемо автоматичний вимикач, який призначений для захисту проводів, кабелів, електроустаткування від короткого замикання та перевантажень у ПЧ та АД. Для цього має бути наступна умова:

$$I_{\text{спрац.теп.}} = 1,25 \cdot I_{\text{ном.}}; \quad (3.12)$$

$$I_{\text{уст.елект.вст.}} = 1,5 \cdot I_{\text{п.}} \quad (3.13)$$

де: $I_{\text{спрац.теп.}}$ – номінальний струм нерегульованого та регульованого теплового або комбінованого розчеплювача автоматичного вимикача;

$I_{\text{уст.елект.в.}}$ – струм уставки (спрацьовування) електромагнітного розчіплювача миттєвої дії (відсікання);

$I_{\text{ном}}$ – струм, який споживає двигун $I_{\text{спож.}}$;

$I_{\text{пуск}}$ – струм, який споживає двигун при лінійному розгоні $I_{\text{спож.р.}}$.

Для електропривода повітряного компресора:

$$I_{\text{спрац.теп.}} = 1,25 \cdot 51,3 = 64,13 \text{ А};$$

$$I_{\text{уст.елект.вст.}} = 1,5 \cdot 64,13 = 96,19 \text{ А}.$$

Аналогічно розрахуємо номінальний струм теплового розчеплювача та струм уставки для інших споживачів та занесемо до таблиці 3.6.

Таблиця 3.6 – Параметри для вибору автоматичних вимикачів

Параметри	$P_{\text{ном}}, \text{кВт}$	$I_p, \text{А}$	$I_{\text{уст. елект.}}, \text{А}$	$I_{\text{вимикача}}, \text{А}$
Компресор повітряний напірний	22	51,3	96,19	100
Насос промивний	37	86,8	162,75	200
Насос напірний	45	105,56	197,93	200
Цифровий насос для дозування хімреагентів (гіпохлориту натрію)	11	26,55	49,78	50
Установка ультрафіолетового знезараження води	1	4,25	7,97	10

Для схеми електропостачання НСВ обираємо автоматичні вимикачі фірми АВВ. Компанія АВВ є світовим технологічним лідером в галузі електрифікації та автоматизації. Ми бачимо свою мету в тому, щоб забезпечити більш стале та ресурсоефективне майбутнє. Поєднуючи наш досвід у галузі інженерії та цифровізації, ми допомагаємо галузям промисловості працювати з високою продуктивністю, водночас стаючи більш ефективними, продуктивними та сталими, щоб перевершити їхні очікування.

Для лінії живлення промивного та напірного насосів вибираємо автоматичний вимикач АВВ Formula A2B 250 TMF 200-2000 3р, параметри якого представлено в таблиці 3.7 [15].



Рисунок 3.3 – Загальний вигляд автоматичного вимикача АВВ Formula A2B 250 TMF 200-2000 3р

Таблиця 3.7 – Характеристики автоматичного вимикача АВВ Formula А2В 250 ТМФ 200-2000 3р

Параметр	Значення
Конструктивне виконання	Корпусний
Кількість полюсів	3Р
Номинальний струм	200 А
Напруга	380 В
Тип розчіплювача	Термодинамічний
Ступінь пиловолгозахисту	IP40
Діапазон робочих температур	від -25 до +70°C
Вимикаюча здатність	18кА

Для лінії живлення компресора повітря вибираємо автоматичний вимикач АВВ S203-С100 3р, параметри якого представлено в таблиці 3.8 [15].



Рисунок 3.4 – Загальний вигляд автоматичного вимикача АВВ S203-С100 3р

Таблиця 3.8 – Характеристики автоматичного вимикача АВВ Formula А2В 250 ТМФ 200-2000 3р

Параметр	Значення
Конструктивне виконання	Модульний
Кількість полюсів	3Р
Номинальний струм	100 А
Напруга	380 В
Механічна зносостійкість	20 тис. циклів
Ступінь пиловолгозахисту	IP40
Діапазон робочих температур	від -25 до +55°C
Вимикаюча здатність	6кА

Для лінії живлення цифрового насосу для дозування хімреагентів вибираємо автоматичний вимикач АВВ Formula A1B 125 TMF 50-500 3р, параметри якого представлено в таблиці 3.9 [15].



Рисунок 3.5 – Загальний вигляд автоматичного вимикача
ABB Formula A1B 125 TMF 50-500 3р

Таблиця 3.9 – Характеристики автоматичного вимикача АВВ Formula
ABB Formula A1B 125 TMF 50-500 3р

Параметр	Значення
Конструктивне виконання	Корпусний
Кількість полюсів	3Р
Номінальний струм	50 А
Напруга	380 В
Тип розчіплювача	Термодинамічний
Ступінь пиловолгозахисту	IP40
Діапазон робочих температур	від -25 до +70°С
Вимикаюча здатність	18кА

Для лінії живлення установки ультрафіолетового знезараження вибираємо автоматичний вимикач АВВ SH201-B10 тип В, параметри якого представлено в таблиці 3.10 [15].



Рисунок 3.6 – Загальний вигляд автоматичного вимикача
ABB SH201-B10 тип В

Таблиця 3.10 – Характеристики автоматичного вимикача ABB SH201-
B10 тип В

Параметр	Значення
Конструктивне виконання	Модульний
Кількість полюсів	3Р
Номінальний струм	100 А
Напруга	230 В
Механічна зносостійкість	6 тис. циклів
Ступінь пиловолгозахисту	IP20
Діапазон робочих температур	від -25 до +55°С
Вимикаюча здатність	6кА

3.3 Синтез системи регулювання тиску

Одним з найважливіших контурів автоматизованої системи НСВ є контур регулювання тиску на напірних насосах.

Розрахуємо середню швидкість течії води у трубі:

$$v_{\text{ср}} = \frac{Q}{\pi \cdot \frac{D^2}{4}}; \quad (3.14)$$

де: $Q = 0,136 \text{ м}^3/\text{с}$ – номінальна подача насоса;

D – діаметр труби, приймаємо $D = 0,6 \text{ м}$.

$$v_{\text{сеп}} = \frac{0,136}{3,14 \cdot \frac{0,6^2}{4}} = 0,86 \text{ м / с.}$$

Розрахунковий тиск під час руху води в трубі:

$$P = \frac{\rho \cdot v_{\text{сеп}}^2}{2} \cdot \rho \cdot g \cdot H + P_{\text{дод}}; \quad (3.15)$$

де: $\rho = 1000 \text{ кг / м}^3$ – щільність води;

$g = 9,81 \text{ м/с}^2$ – прискорення вільного падіння;

$P_{\text{дод}} = 255317 \text{ Па}$ – додатковий статичний тиск;

$H = 20 \text{ м}$ – натиск.

Найпростіша модель насоса є динамічною ланкою, в якій перетворюється кутова швидкість обертання двигуна в тиск, представлений аперіодичною ланкою на рисунку 3.7.

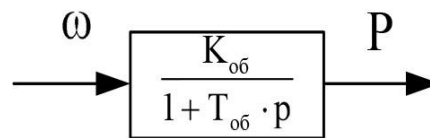


Рисунок 3.7 – Модель насосу

Параметри аперіодичної ланки моделі насоса мають такі значення:

$T_{\text{об}} = 0,1 \text{ с}$ – постійна часу аперіодичного ланки приймаємо рівним час розгону насоса;

$$K_{\text{об}} = \frac{P}{\omega_{\text{дв}}} = \frac{6}{307,88} = 0,0195 \frac{\text{атм} \cdot \text{с}}{\text{рад}} \text{ – коефіцієнт передачі насоса,}$$

де: $\omega_{\text{дв.н}} = 307,88 \text{ рад / с}$ – номінальна швидкість двигуна насоса

$P = 6 \text{ атм}$ – тиск при швидкості $\omega_{\text{дв.н}} = 307,88 \text{ рад / с}$.

Інвертор напруги перетворювача частоти представимо аперіодичною ланкою. Його передатна функція:

$$W_{\text{i.н}}(p) = \frac{k_{\text{iн}}}{T_{\text{iн}} \cdot p + 1} = \frac{1}{0,0001p + 1}; \quad (3.16)$$

де: $k_{\text{iн}} = 1$ коефіцієнт передачі інвертора;

$T_{ин} = T_{\mu} = 0,0001c$ – еквівалентна постійна часу інвертора перетворювача частоти.

Проведемо синтез регулятора тиску. Для цього складемо структурну схему стабілізації тиску на базі асинхронного регульованого приводу шляхом створення контуру регулювання технологічного параметра – тиску на базі вбудованого технологічного регулятора перетворювача частоти [5].

На рисунку 3.8 представлено структурну схему контуру тиску.

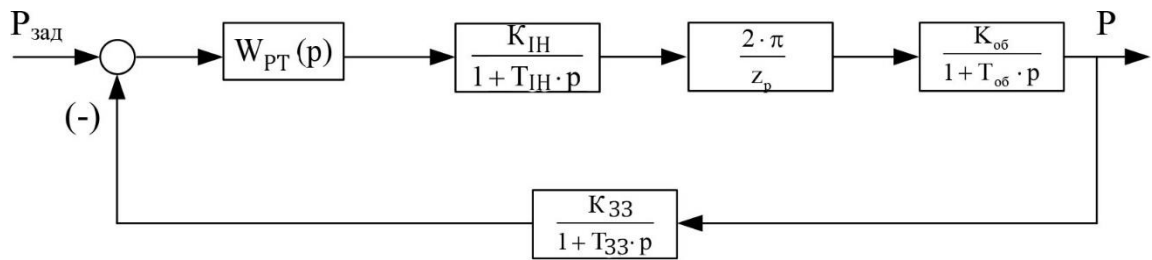


Рисунок 3.8 – Структурна схема контуру тиску

На рисунку 3.8 прийнято такі позначення:

$W_{рл}(p)$ – передатна функція регулятора ваги;

$K_{ин}$ – коефіцієнт передачі інвертора;

$K_{об}$ – коефіцієнт передачі насоса;

$K_{зс}$ – коефіцієнт передачі зворотного зв'язку;

$T_{ин}$ – постійна часу запізнення автономного інвертора напруги;

$T_{об}$ – постійна час розгону насоса;

$T_{оз}$ – постійна часу запізнення зворотного зв'язку;

$z_p=1$ – число пар полюсів асинхронного двигуна.

Проведемо синтез контуру тиску на модульний оптимум [6].

Розімкнений контур тиску, налаштований на модульний оптимум, повинен мати наступну передатну функцію:

$$W_{мо}(p) = \frac{1}{2 \cdot T_{\mu k} p \cdot (T_{\mu k} p + 1)}; \quad (3.17)$$

де: $T_{\mu k}$ – мала постійна часу контуру тиску.

Передатна функція розімкнутого контуру тиску:

$$W_{\text{раз}}(p) = W_{\text{рад}}(p) \cdot \frac{2\pi}{z_p} \cdot \frac{K_{\text{ин}}}{1 + T_{\text{ин}}p} \cdot \frac{K_{\text{об}}}{1 + T_{\text{об}}p} \cdot \frac{K_{\text{ос}}}{1 + T_{\text{ос}}p}; \quad (3.18)$$

З виразу (2.69) отримуємо передатну функцію регулятора тиску:

$$W_{\text{раз}}(p) = \frac{1}{2 \cdot T_{\mu}p \cdot (T_{\mu k}p + 1)} \cdot \frac{(T_{\text{ин}}p + 1) \cdot (T_{\text{jc}}p + 1) \cdot (T_{\text{об}}p + 1)}{K_{\text{ин}} \cdot K_{\text{об}} \cdot K_{\text{ос}}} \cdot \frac{z_p}{2 \cdot \pi}; \quad (3.19)$$

При оптимізації, інерційність у каналі зворотного зв'язку відноситься до «малої», і за малу постійну часу, що не компенсується, всього контуру приймаємо:

$$T_{\mu k} = T_{\text{ин}} + T_{\text{ос}}; \quad (3.20)$$

де: $T_{\text{ос}}=0,125\text{с}$ – постійна часу запізнення ланцюга зворотного зв'язку вимірювання тиску.

$$T_{\mu k} = 0,0002 + 0,125 = 0,1252\text{с.}$$

$$W_{\text{раз}}(p) = \frac{1}{2 \cdot T_{\mu}p \cdot (T_{\mu k}p + 1)} \cdot \frac{(T_{\text{ин}}p + 1) \cdot (T_{\text{об}}p + 1)}{k_{\text{ин}} \cdot k_{\text{об}} \cdot k_{\text{ос}}} \cdot \frac{z_p}{2 \cdot \pi} = \frac{1}{2 \cdot T_{\mu k}p} \cdot \frac{(T_{\text{об}}p + 1)}{k_{\text{ин}} \cdot k_{\text{об}} \cdot k_{\text{ос}}} \cdot \frac{z_p}{2 \cdot \pi}; \quad (3.21)$$

Після скорочення до множимо і розділимо отриманий вираз на величину $T_{\text{об}}$, після чого наведемо вираз до канонічного вигляду:

$$W_{\text{раз}}(p) = \frac{T_{\text{об}} \cdot z_p}{2 \cdot T_{\mu k} \cdot k_{\text{пч}} \cdot k_{\text{об}} \cdot k_{\text{ос}} \cdot 2 \cdot \pi} \cdot \frac{(T_{\text{об}}p + 1)}{T_{\text{об}}p}; \quad (3.22)$$

$$W_{\text{раз}}(p) = \frac{0,1 \cdot 1}{2 \cdot 0,1252 \cdot 1 \cdot 0,0195 \cdot 2 \cdot 3,14} \cdot \frac{(0,1p + 1)}{0,1p}.$$

Коефіцієнт посилення регулятора тиску $K_{\text{рад}}=6,26$.

Постійна часу регулятора тиску $T_{\text{рд}}=0,1\text{с}$.

Очікувані показники перехідного процесу у контурі тиску [12]:

$$t_{\text{рк1}}^{(5)} = t_{\text{рк2}}^{(5)} = 4,1 \cdot T_{\mu k}; \quad (3.23)$$

$$t_{\text{рк1}}^{(5)} = t_{\text{рк2}}^{(5)} = 4,1 \cdot 0,1252 = 0,51\text{с.}$$

$$\sigma = 43\%;$$

Схема набору імітаційної моделі контуру тиску згідно з структурною схемою, зібрана в середовищі MatLAB, наведена на рисунку 3.9 а перехідний процес $P(t)$ в контурі на стрибок вхідного впливу $P_{зад} = 4$ атмосфери показано на рисунку 3.10 [6].

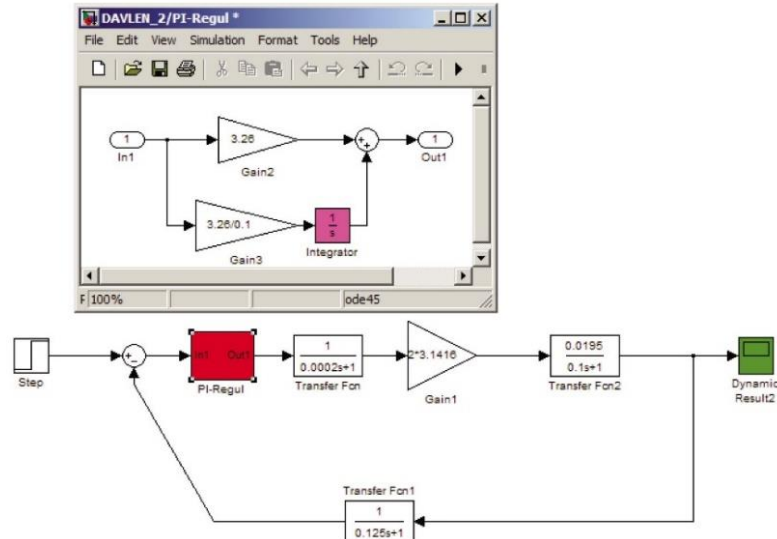


Рисунок 3.9 – Імітаційна модель контуру тиску

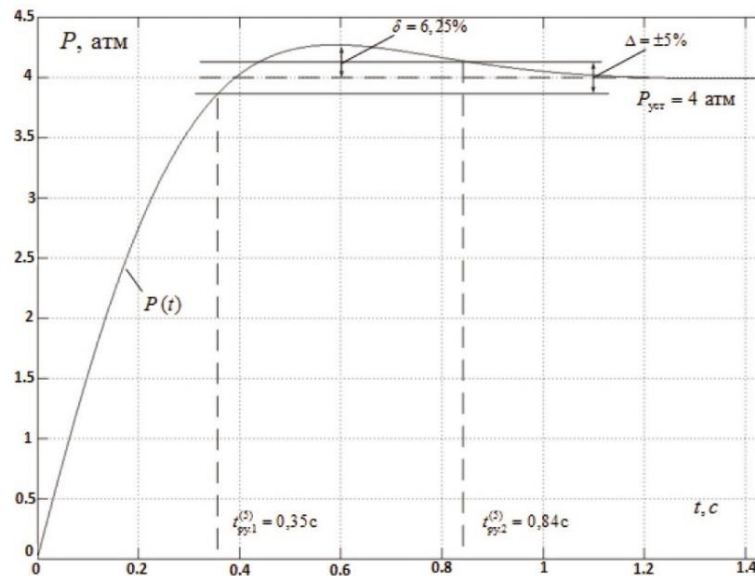


Рисунок 3.10 – Перехідний процесів контуру тиску

Таблиця 3.11 – Показники якості роботи контуру тиску

$t_{PV1}^{(5)}, c$	$t_{PV2}^{(5)}, c$	$\sigma, \%$	$\Delta P_{yCT}, A$
Очікувані показники			
0,513	0,513	4,3	0
Результати моделювання			
0,35	0,84	6,25	0

Порівнюючи очікувані показники якості роботи контуру тиску з результатами моделювання можна зробити висновок про те, що синтезований регулятор тиску дозволяє забезпечити показники якості близькі до очікуваних.

Імітаційна модель автоматичної системи регулювання тиску на рисунку 3.11, доповнена моделлю електроприводу, побудованою за системою ПЧ-АД на рисунку 3.12.

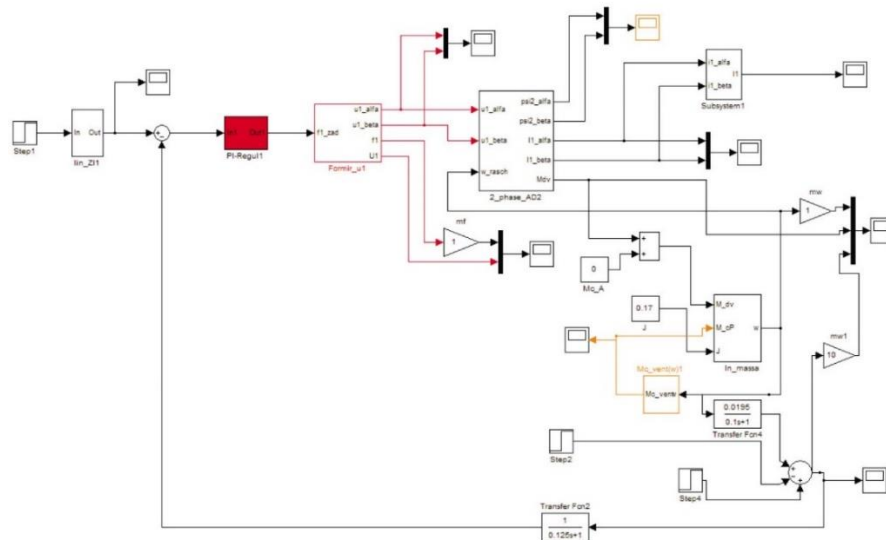


Рисунок 3.11 – Імітаційна модель автоматичної системи регулювання тиску

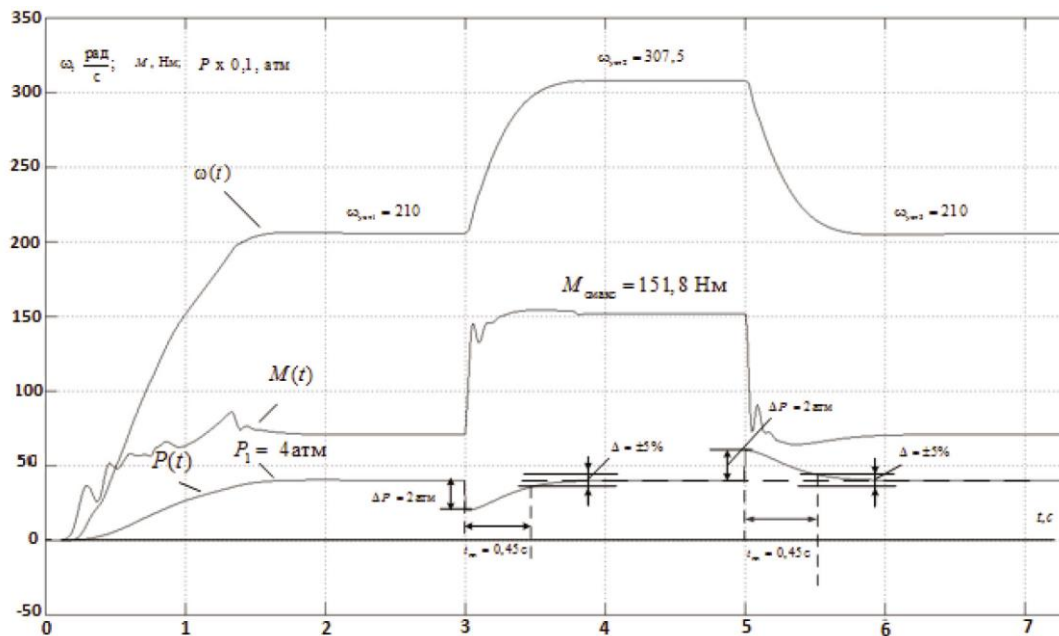


Рисунок 3.12 – Перехідна характеристика тиску $P(t)$, швидкості двигуна $\omega(t)$, електромагнітного моменту $M(t)$ АД під час пуску, відкриття та закриття клапана

На рисунку 3.12 наведено перехідні процеси тиску, швидкості двигуна та електромагнітного моменту АД, отримані при імітації відкриття та закриття клапана. Приймаємо задану величину тиску в системі рівним $P_{\text{зад}} = 4$ атм, яке необхідно підтримувати при зміні величини витрати. Стрибкоподібне збільшення величини витрати води в системі імітується при різкому відкритті клапана. Тиск у системі при цьому падає на величину $\Delta P = 2$ атм. Як видно з перехідних процесів САР тиску відпрацьовує заданий перепад тиску за час $t_{\text{пп}} = 0,45$ с. При цьому швидкість двигуна зростає від швидкості $\omega_{\text{уст1}} = 210$ рад / с до $\omega_{\text{уст2}} = 307,5$ рад / с і момент двигуна зростає від значення $M_{\text{с.1}} = 72,3$ Н·м до значення $M_{\text{смакс}} = 151,8$ Н·м.

При закритті клапана моделюється підвищення стрибком тиску на величину $\Delta P = 2$ атм. САР тиску відпрацьовує цей перепад тиску також за час $t_{\text{пп}} = 0,45$ с. Швидкість двигуна та електромагнітний момент відповідно зменшуються.

Отримані результати імітаційних досліджень підтверджують здатність розробленого САР тиску на базі частотно-регульованого асинхронного електроприводу насоса ефективно забезпечити стабілізацію величини тиску в системі при зміні витрати згідно з характеристикою насоса.

3.4 Висновки за розділом

Розробили принципову схему автоматизації НСВ. Описали напрямки живлення силового та низьковольтного обладнання. Розрахували та обрали основні елементи схеми керування. Одним з найважливіших контурів автоматизованої системи НСВ є контур регулювання тиску на напірних насосах, для якого провели імітаційне моделювання.

РОЗДІЛ 4 РОЗРОБКА АВТОМАТИЗОВАНОЇ СИСТЕМИ КЕРУВАННЯ СТАНЦІЄЮ ВОДОПІДГОТОВКИ ТА ВИБІР ЇЇ ЕЛЕМЕНТІВ

4.1 Розробка автоматизованої системи керування станцією водопідготовки

Керування та контроль стану мережевих насосів, клапанів керування, рівнів у баках очищеної води, тиску в мережі господарсько-питного водопостачання здійснюється станційною мікропроцесорною системою автоматики з шафи автоматизації керування системою НСВ.

Системою керування установкою очищення води передбачено автоматичний та ручний режим роботи установки та можливість блокування роботи установки із зовнішньої системи керування за будь-якого режиму роботи установки.

Контроль за комплексною роботою системи фільтрації здійснюється блоками керування, які автоматично реалізують усі стадії роботи фільтрації відповідно до заданих алгоритмів.

Передбачені ручний та автоматичний режими роботи системи, можливість блокування роботи установки із зовнішньої системи керування за будь-якого режиму роботи установки.

В автоматичному режимі роботи установки ШК забезпечує:

- 1) автоматичну роботу обладнання на заданих параметрах;
- 2) автоматичне промивання фільтрів;
- 3) місцевий контроль тиску, витрати води, рН води;
- 4) облік кількості та витрати води;
- 5) автоматичне дозування та контроль рівня реагентів;
- 6) передачу відомостей про стан та параметри роботи системи на зовнішній диспетчерський пульт.

На шафі автоматизації керування системою очищення води передбачено індикацію на 10 дюймовій панелі наступних даних:

- 1) установка ввімкнена;
- 2) аварія установки;
- 3) стан обладнання установки;
- 4) несправності устаткування установки.

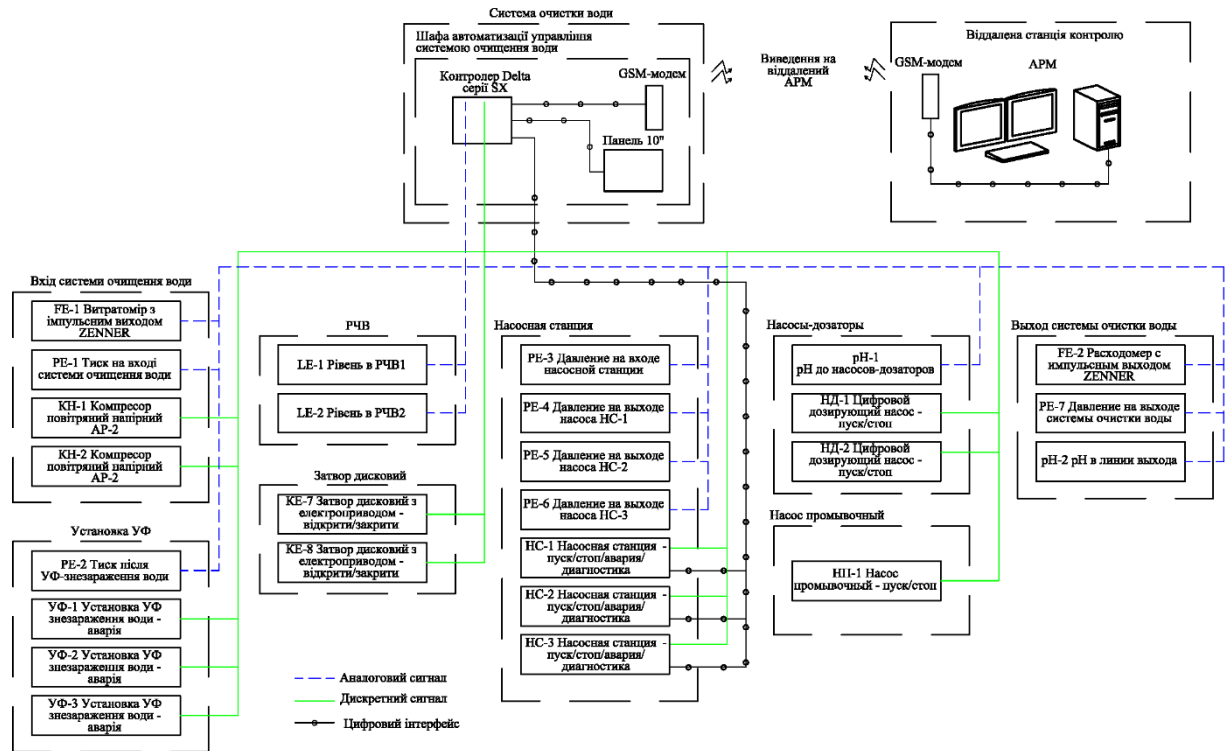


Рисунок 4.1 – Структурна схема інформаційних потоків НСВ

Передбачено подання звукового та світлового сигналу на місці під час аварії установки, відмови у роботі будь-якого обладнання системи, а також дублювання аварійних сигналів на диспетчерський пульт.

Вода, що надходить на систему НСВ, потрапляє на вузол обліку вхідної води. Витратомір FE-1 передає імпульсні сигнали на ШК для контролю обсягів води, що надійшла на НСВ.

За сигналом із ШК запускаються компресори КН-1 та КН-2. Зупинка роботи компресорів з відсічення таймера з ШК після закінчення потоку води через витратомір FE-1.

Далі вода надходить на блок очищення води на дискових фільтрах ДФ-1 та ДФ-2. Працюють одночасно чи індивідуально (задається вручну на гідравлічних вентилях). Для безперебійної роботи необхідно подача живлення

на локальні шафи ШК ДФ-1 і ШК ДФ-2. Промивання фільтрів здійснюється за локальними алгоритмами, запрограмованими в локальних шафах керування.

Вода, що пройшла попереднє механічне очищення, потрапляє на блок очищення на фільтрах освітлення води (ФОВ 1...6). Керування режимами фільтрації здійснюється на керуючих клапанах Clack V2CIBTZ. Алгоритм «робота» та «сервіс» задається вручну на панелі керування в процесі пуско-налагоджувальних робіт та коригується в процесі обслуговування. Визначальний чинник – значення, задане таймері кожного клапана керування. У режимі «сервіс» керуючий клапан працює разом з 2-ходовим клапаном з електроприводом Clack V3063-NHWP (KE-1...6), що перекриває потік у трубопроводі очищеної води. Керуючі сигнали на нього передаються з клапана керування. Для забезпечення їхньої роботи необхідно:

- 1) забезпечити живлення керуючих клапанів Clack V2CIBTZ;
- 2) здійснити вмикання 2-ходового клапана з електроприводом Clack V3063-NHWP до керуючого клапана для живлення та керування.

Далі вода, що пройшла очищення, надходить на блок УФ-знезараження води (УФ-1, УФ-2, УФ-3). Працюють паралельно. Ввімкнення відбувається автоматично в міру роботи системи очищення. Вимкнення відбувається при зупинці струму води із затримкою на 30 секунд. Все керування процесом роботи зосереджено на локальних шафах керування. Для роботи УФ-установок необхідно забезпечити подачу електроживлення на локальні шафи керування. Робота промивного насоса НП-1 здійснюється персоналом вручну. Для забезпечення його роботи здійснюється його живлення від ШК.

Після цього вода подається в компенсаційні ємності РЧВ-1 і РЧВ-2. Подача води в них здійснюється дисковими затворами з електричними приводами і датчиками рівня в ємностях L1 і L2. За сигналом датчика рівня «низький рівень», затвори дисковими відкриваються для подачі води в РЧВ. За сигналом від датчиків «верхній рівень» затвори перекривають потік води в ємності.

Датчики рівня забезпечують контроль наступних уставок рівня води:

- 1) «нижній аварійний рівень»;
- 2) «нижній рівень»;
- 3) «нижня робота»;
- 4) «верхня робота»;
- 5) «верхній рівень у ємності»;
- 6) «верхній аварійний».

Ємності об'єднані є сполученими через колектор на виході (В1-6), але керування наповненням здійснюється індивідуально.

З РЧВ-1 та РЧВ-2 вода забирається насосами НН-1, НН-2 та НН-3, що входять до складу насосної станції II підйому для подачі води в мережу господарсько-побутового водопостачання. Робота насосів здійснюється за алгоритмом: 2 – «основних», 1 – «резервний». Алгоритм вибору – плаваючий.

Запуск насосів здійснюється за гідростатичним принципом: при перепаді тиску на колекторі (за сигналом від датчика тиску РЕ-3) і на напірному колекторі (за сигналом від датчиків тиску РЕ-4, РЕ-5 і РЕ-6) більш, ніж на 1 бар, запускаються два робочі насоси. Після вирівнювання тиску між колекторами насоси зупиняються. Додатково видають параметри: «робота» та «аварія» на кожен із насосів. Запуск насосів здійснюється через перетворювач частоти, встановлений на кожному агрегаті.

Вода перед подачею в мережу господарсько-побутового водопостачання проходить обов'язковий блок знезараження хлором, що складається з двох насос-дозаторів (НД-1 і НД-2). Працюють за принципом «основний» та «резервний». За сигналом витратоміра FE-2 запускається насос-дозатор НД-1. Запуск насоса-дозатора здійснюється при дозволі вбудованого датчика заповнення рівня в ємності зберігання реагенту. При незапуску НД-1, запускається НД-2, на пульт видається сигнал «аварія».

Вода, що надходить на вузол обліку очищеної води, проходить через витратомір FE-2, що передає імпульсні сигнали на ШК контролю об'ємів очищеної на НХВП води.

На різних ділянках трубопроводів додатково змонтовані датчики тиску (PE-1, PE-2, PE-7) та датчики рН води (PH-1 та PH-2), що передають дані на ШК та забезпечують роботу НСВ.

Подача напруги подається відповідно до заданих алгоритмів. Сигнал «несправність» установки водоочищення формується при несправності або при перевищенні допустимих параметрів будь-якого обладнання.

4.2 Вибір засобів автоматизації системи керування станцією водопідготовки

Сучасна технологія виробництва висуває високі вимоги до автоматизації технологічних процесів та виробництв, до вибору оптимальних засобів комплексної автоматизації виробничих та промислових процесів. Побудова оптимальної за всіма критеріями системи автоматизації технологічних процесів та виробництв є складним інженерним завданням, що потребує застосування різноманітних інформаційних технологій та спеціальних рішень.

Автоматизований процес НСВ можна умовно поділити на 3 рівні:

- нижній – польовий рівень (датчики);
- середній – рівень базової автоматизації процесів виробництва (керівні контролери);
- верхній – рівень керування технологією (централізований контроль та керування технологічним процесом).

Для вимірювання тиску в системі НСВ в якості PE1-PE7 будуть використовуватись інтелектуальний датчик диференціального тиску MDM7000-DP, параметри якого представлені в таблиці 4.1 [17].

Таблиця 4.1 – Параметри датчика MDM7000-DP

Параметр	Значення
Точність	$\pm 0,075\%$, $\pm 0,05\%$, $\pm 0,1\%$
Діапазон тиску	60мбар~100бар
Довготривала стабільність	$\pm 0.1\%/5$ років
Переналаштування діапазонів	100:1



Рисунок 4.2 – Загальний вигляд датчика тиску MDM7000-DP

Інтелектуальний датчик диференціального тиску MDM7000-DP є високоякісним і надійним пристроєм у системах автоматичного контролю, регулювання та керування технологічними процесами. Дякуючи передовій п'єзорезистивній технології, яка використовує монокристалічний кремній, та міцного корпусу, датчик забезпечує високу точність та стабільність. MDM7000-DP доступний з трьома різними рівнями точності: 0,075%, 0,05% та 0,1%. Він має можливість переналаштування діапазонів вимірювання у співвідношенні 100:1, що робить його дуже гнучким під час налаштування. Вихідні сигнали 4mA ~ 20mA DC+HART або MODBUS RS485 дозволяють віддалено налаштувати, контролювати та тестувати пристрій. Крім того, використовується високопродуктивний модуль захисту від перешкод, що забезпечує стійкість до завад і надійність вимірювань у складному середовищі.

Для вимірювання кількості витрат води FE1-FE2 обираємо витратоміри Proline Promag 55S, параметри якого представлені в таблиці 4.2 [18].

Таблиця 4.2 – Параметри витратоміру Proline Promag 55S

Параметр	Значення
Макс. похибка виміру	±0,2% за обсягом
Діапазон виміру	0...9'600 м ³ /год
Діапазон температур продукту	-40...+180°C

Переваги Proline Promag 55S:

- стабільність вимірювального сигналу завдяки унікальній технології обробки сигналу;
- максимальна безпека – вимірювальні електроди та футерування, оптимізовані для галузі;

- енергоефективний вимір витрати – немає втрат тиску завдяки повнопрохідній конструкції сенсора;
- висока працездатність – інтегрований вимір вмісту твердих частинок у рідині;
- найвища безпека – вбудована функція самоочищення електродів;
- автоматичне відновлення даних для простого обслуговування;
- не вимагає технічного обслуговування – немає рухомих частин.



Рисунок 4.3 – Загальний вигляд витратоміру Proline Promag 55S

В якості датчиків рівня обираємо перетворювач вимірювальний рівня Deltapilot FMB50, параметри якого представлено в таблиці 4.3 [19].

Таблиця 4.3 – Параметри датчика рівня Deltapilot FMB50

Параметр	Значення
Похибка	0,2% опція 0,1%
Робоча температура	-10°C...100°C
Діапазон вимірювання тиску	100мбар...10бар
Макс. значення виміру	100м Н ₂ O



Рисунок 4.4 – Загальний вигляд витратоміру Proline Promag 55S

Переваги Deltapilot FMB50:

- вимірювальна комірка Contite з герметичним ущільненням, стійка до конденсату, мала основна похибка: $\pm 0,2\%$, опціонально до $\pm 0,1\%$ з мінімальним впливом температури;
- модульна конструкція для простої заміни дисплея або електроніки;
- проста та незалежна системна інтеграція (HART/PA/FF);
- проста пусконаладження меню через локальний дисплей, 4 ... 20 мА з використанням протоколу HART, PROFIBUS PA, FOUNDATION Fieldbus;
- можливість застосування у будь-якій точці світу завдяки наявності великої кількості сертифікатів.

В якості клапанів перекриття потоку KE1-KE6 застосовуємо систему NHWB (No HardWater Bypass). Системи NHWB застосовується у системах водопідготовки для запобігання подачі неочищеної води споживачеві під час регенерації фільтрів. Системи складаються з: клапана (1), NHWB V3070FMnhwb – кришки з прозорим ковпачком (2), гайки (3), розривного кільця (4), ущільнювального кільця (5), двигуна, розподільного складання, передавального механізму (6).

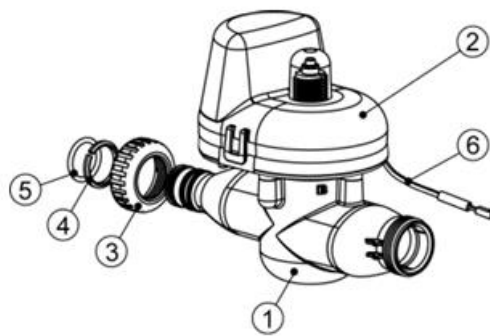


Рисунок 4.5 – Загальний вигляд системи NHWB

В якості установок УФ1-УФ3 обрали ультрафіолетову установку Viqua Professional SHF-140/2 – це пристрій, який працює надійно, витрачає мало електроенергії, має широке застосування і не виробляє шкідливих речовин. Ультрафіолетові лампи використовуються для прибирання шкідливих речовин у воді, яка потім буде використовуватися для питного водопостачання [16].



Рисунок 4.6 – Загальний вигляд ультрафіолетової установки Viqua Professional SHF-140/2

У установці Viqua Professional SHF-140/2 є чотири ультрафіолетові лампи, які забезпечують ефективне очищення великої кількості води. Контролери керування лампою мають екран, де можна бачити роботу пристрою. Вони також мають пристрій для налаштування, який виставляє звуковий та візуальний сигнал у разі виникнення проблем. Встановлення соленоїда дозволяє працювати разом з аварійною системою, щоб припинити подачу води, якщо датчик з'ясує, що немає електроенергії або води достатньої кількості для роботи лампи. Використовується разом з соленоїдним клапаном, який добре закривається. Вода надходить на очищення через ультрафіолетову реакційну камеру, потім проходить через чотири лампи, які захищено спеціальними кварцовими рукавами від високої температури. Після цього вода стає готовою для споживання. Ви можете бути впевнені, що в ній немає додаткових хімічних речовин, які можуть вплинути на ваш імунітет.

Таблиця 4.4 – Технічні параметри ультрафіолетової установки Viqua Professional SHF-140/2

Параметр	Значення
Продуктивність	28-70 м ³ /год
Максимальний тиск	8,6 бар
Робоча температура	2-40 °C
Потужність	350 Вт
Електроживлення	120-240 В

В якості датчику рН обираємо 4-канальний передавач Liquiline CM444, параметри якого представлено в таблиці 4.5 [20].

Таблиця 4.5 – Технічні параметри 4-канального передавача Liquiline CM444

Параметр	Значення
Вхідний сигнал	1...4 цифрових входу Memosens 2 входи 0/4...20 мА (опція) 2...4 цифрових входів (опція)
Вихідний сигнал	2...8 струмових виходів 0/4...20 мА Сигнальне реле 4 реле Profibus DP Modbus RS485 Modbus TCP Ethernet
Ступінь захисту	IP66/IP 67



Рисунок 4.7 – Загальний вигляд датчика рН

Переваги Liquiline CM444:

- розумна простота: один контролер для всіх параметрів і застосувань, інтуїтивно зрозумілий користувацький інтерфейс, автоматичне розпізнавання датчиків, гаряче вмикання та робота з попередньо каліброваними датчиками Memosens.

- найвища гнучкість: Універсальні модулі для всіх параметрів мінімізують запаси запасних частин і забезпечують легке розширення одним клацанням до 8 каналів у будь-який час.

- безшовна системна інтеграція: Унікальний портфель комунікаційних стандартів підходить для кожної розподіленої системи керування (РСК).

- просте та безпечне введення в експлуатацію: Збереження конфігурації на SD-карті забезпечує швидке налаштування дублікатних установок.

□ дистанційне керування процесами: Вбудований веб-сервер, який дозволяє оператору дистанційно переглядати діагностичні дані, виконувати налаштування або отримувати доступ до параметрів пристрою в будь-якому веб-браузері - навіть через смартфон.

□ вища доступність, нижчі витрати: Технологія Heartbeat забезпечує технічне обслуговування на основі стану та легку перевірку всієї точки вимірювання та допомагає виконувати оптимізаційні заходи.

□ вмикання приводу: Модуль Liquiline Edge CYY7 передає дані процесу до Netilion незалежно від польової шини. Це дозволяє здійснювати віддалений огляд та використовувати сервіси ІоТ. Він доступний у нових продуктах або як оновлення до встановлених платформ Liquiline.

Панель оператора — це спеціальний пристрій, який дозволяє взаємодіяти між людиною і промисловим обладнанням. Вона використовується для керування та налаштування параметрів технологічного процесу [21].



Рисунок 4.8 – Загальний вигляд панелі оператора Weintek cMT2108X2

В якості панелі оператора обираємо Weintek cMT2108X2, параметри якої представлено в таблиці 4.6 [21].

Таблиця 4.6 – Технічні параметри панелі оператора

Параметр	Значення
Діагональ	10.1
Тип сенсора	4x провідний резистивний
Напруга живлення	24 ±20% VDC
Робоча температура	0 – 50, °C
Роз'єм живлення	3x контактний з фіксацією
Віддалений доступ	VNC, FTP, EasyAccess

Модуль DVPEN01-SL поставляється у корпусі відкритого типу. Для його встановлення необхідно застосовувати закриті шафи керування, щоб запобігти попаданню всередину модуля вологи, пилу та металевих частинок [24].



Рисунок 4.9 – Загальний вигляд модуля розширення DVPEN01-SL

Таблиця 4.7 – Технічні параметри модуля DVPEN01-SL

Параметр	Специфікація
Інтерфейс	RJ-45 з автовизначенням MDI/MDI-X
Кількість портів	1 порт
Метод передачі	IEEE802.3, IEEE802.3u
Категорія кабелю	Категорія 5e
Швидкість передачі	10/100 Мб/хв
Мережеві протоколи	ICMP, IP, TCP, UDP, DHCP, SMTP, NTP, Modbus TCP

Модуль надає такі можливості (починаючи з версії Firmware 2.00):

- підтримка протоколу Modbus TCP (одночасно Master та Slave);
- надає можливість організувати обмін даними між контролерами DVP28SV11T(R), об'єднаними в одну мережу Ethernet, який здійснюється незалежно від обміну по Modbus TCP. За цією комунікаційною технологією можна об'єднати до 24-х контролерів DVP28SV11T(R);
- автоматичне визначення швидкості передачі 10/100 Мб/с;
- мережні протоколи, що підтримуються: ICMP, IP, TCP, UDP, DHCP, SMTP, NTP;
- дозволяє надсилати e-mail повідомлення (без автентифікації на поштовому сервері);

- не вимагає перехрещеного кабелю при з'єднанні крапка-крапка- (автовизначення MDI/MDI-X);
- здійснює автоматичне коригування годинника реального часу контролера за даними сервера єдиного часу (за його наявності в мережі);
- має явно задану MAC-адресу, дозволяє налаштувати IP-фільтр та таблицю ARP (відповідність IP-адрес MAC-адрес);
- дозволяє завантажувати робочу програму в ПЛК віддаленим способом через мережу Ethernet, а також дистанційно здійснювати налагодження та on-line моніторинг роботи контролера;
- дозволяє зовнішнім керуючим пристроям (HMI та SCADA) отримувати дані та здійснювати вплив на ПЛК, зберігаючи при цьому можливість для контролера самому отримувати дані від інших пристроїв.

Програмовані логічні контролери Delta DVP-S – компактне рішення для надійної автоматизації.

Серія DVP-S від Delta Electronics – це лінійка високоякісних ПЛК, що поєднує продуктивність, стабільність та доступну ціну. Контролери DVP-S широко використовують для автоматизації обладнання, виробничих ліній, HVAC-систем, систем освітлення та енергозбереження. Завдяки модульному підходу, вони легко масштабуються та налаштовуються під потреби будь-якого об'єкта [22].



Рисунок 4.10 – Загальний вигляд ПЛК Delta DVP-S

Таблиця 4.8 – Параметри ПЛК Delta DVP-S

Напруга живлення	24V DC (-15%~20%) із захистом від переполюсування
Захист від короткочасної втрати живлення	При пропаданні живлення не більше ніж на 5 сек. пристрій збереже працездатність
Споживана потужність	2 Вт
Опір ізоляції	понад 5 Мом, (всі входи до землі – 500 VDC)
Перешкодостійкість	ESD (IEC 61131-2, IEC 61000-4-2): 8 КВ Повітряний розряд EFT (IEC 61131-2, IEC 61000-4-4): Лінія живлення: 2 КВ, цифрові входи/виходи: 1 КВ аналог та зв'язок входи/виходи: 1 КВ живлення: 1КВ, цифрові входи/виходи: 1КВ RS (IEC 61131-2, IEC 61000-4-3): 26MHz ~ 1GHz, 10 В/м
Заземлення	Діаметр кабелю заземлення повинен бути не меншим перерізом, ніж кабелі фази і нейтралі. Якщо з'єднуються кілька пристроїв, необхідно простежити, щоб вони були заземлені.
Зовнішнє середовище	Робота: 0 ° C ~ 55 ° C, 50 % ~ 95 % відносної вологості, ступінь забруднення 2 зберігання: -25 ° C ~ 70 ° C, 5 % ~ 95 % відносної вологості
Вібростійкість	Відповідає стандартам: IEC61131-2, IEC 68-2-6 (TEST Fc)/IEC61131-2 & IEC 68-2-27 (TEST Ea)

Основні переваги серії DVP-S:

- модельний ряд: включає базові (DVP-SS2, SA2), розширені (DVP-SX2, SV2) та спеціалізовані моделі.
- компактний дизайн: ідеальний для обмеженого простору у шафах керування.
- висока швидкість обробки: година виконання інструкцій – до 0,24 мкс.
- модульна структура: легке вмикання розширень – аналогових, цифрових, температурних, позиціонуючих.
- підтримка комунікаційних протоколів: Modbus RTU, ASCII, CANopen, Ethernet (у відповідних моделях).
- потужне ПЗ DVP-ES2 та WPLSoft: зручна середовище розробки програм із підтримкою стандарту IEC 61131-3.

до 4 портів зв'язку: гнучке вмикання до НМІ, датчиків, приводів та SCADA-систем.

4.3 Розробки системи диспетчеризації даних

Системою автоматизації та диспетчеризації НСВ мають бути забезпечені: моніторинг, керування та диспетчеризація обладнання НСВ. Функціональна схема системи диспетчеризації НСВ представлена на рисунку 4.11.

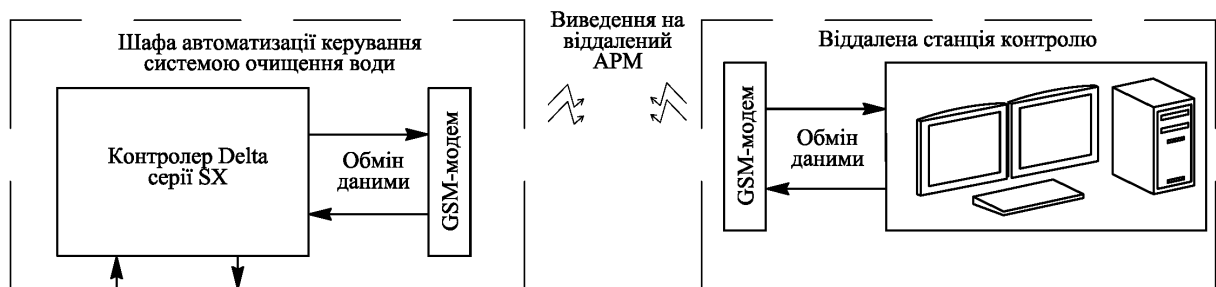


Рисунок 4.11 – Функціональна схема диспетчеризації НСВ

Дані від датчиків тиску, рівня, витрати надходять на ПЛК, з якого за допомогою GSM/GPRS модемів надходить на АРМ.

Для НСВ обираємо GSM/GPRS модеми з можливістю налаштування параметрів передачі даних типу iRZ TU41. Вони призначені для організації каналу зв'язку, що підтримує стандарти GSM та GPRS, а також для трансляції відомостей від приладів обліку та телеметрії на контрольний пристрій, що керує даними.

GSM-модем iRZ TU41 – промисловий GSM-модем, призначений для прийому та передачі даних по мережах стільникового зв'язку, текстових повідомлень. Завдяки вбудованому TCP/IP-стеку та відкритій Java-платформі, легко інтегрується в багато M2M-рішення: телеметрія і телемеханіка, автоматизовані системи бездротового збору даних з датчиків, системи вендингової торгівлі, платіжні термінали, дистанційне спостереження, керування та сигналізація [25].

Таблиця 4.9 – Параметри iRZ TU41

Діапазони частот	900/1800 МГц для GSM/GPRS/EDGE
Вихідна потужність	33 дБм (клас 4) для EGSM900 26 дБм (клас E2) для GSM1800 8-PSK
Стандарти зв'язку	SMS: MT, MO, Текст та PDU
Електроживлення	напруга живлення від 7 до 40В
Фізичні характеристики	діапазон робочих температур від -40 ° С до +65 ° С
Інтерфейси та роз'єми	розривний клемний конектор - живлення модему, вмикання комунікаційного кабелю, інтерфейс RS485/RS422, живлення зовнішнього інтерфейсу +3,3В

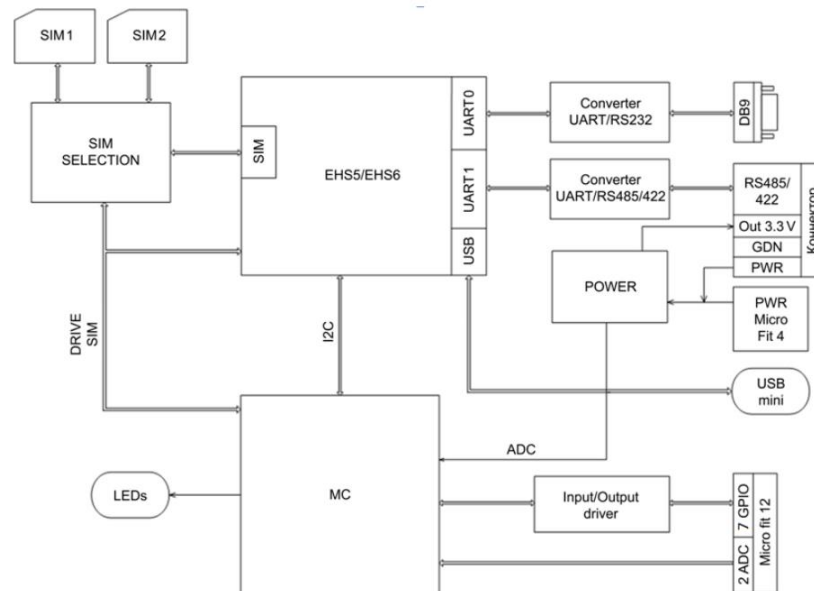


Рисунок 4.12 – Функціональна схема GSM-модему TU41

При подачі живлення на модем загоряються всі індикатори на 1,5 секунди (перевірка всіх індикаторів). Потім модем починає роботу. У разі встановлення одного з двох SIM-лотків модем знаходиться в робочому режимі – робота з SIM-картою, що знаходиться в даному SIM-лотку. Якщо встановлено обидва SIM-лотки, модем знаходиться в робочому режимі – робота з SIM-карткою №1.

Якщо при обох встановлених лотках протягом трьох хвилин немає доступу до мережі за допомогою SIM-картки №1, модем перемикається на роботу з SIM-карткою №2. Якщо в цьому випадку не вдається ввімкнутись до мережі протягом трьох хвилин, модем знову перемикається на роботу з SIM-

карткою №1. Вибір між SIM-картою №1 та SIM-картою №2 здійснюється за допомогою АТ команди at\$sim (at\$sim1 – робота з SIM-картою №1, at\$sim2 – робота з SIM-картою №2). Живлення модему можна подавати на будь-який із трьох роз'ємів: роз'єм живлення, USB-роз'єм або розривний конектор.

Віддалений доступ у режимі реального часу, оперативні реагування на стан НСВ, формування бази даних показників датчиків – це можна отримати від запровадження АРМ.

Функції АРМ НСВ:

- реєстрація оператора на устаткуванні або кількох одиницях обладнання;
- вибір оператором змінного завдання;
- реєстрація оператором виконуваної технологічної операції;
- реєстрація оператором причин простою обладнання;
- відображення ходу виконання змінного завдання;
- введення оператором звіту про виконання змінного завдання.

4.4 Висновки за розділом

Розробили структурну схему інформаційних потоків НСВ, що чітко ілюструє взаємодію елементів САК НСВ. Обрали сучасні засоби автоматизації, що забезпечать точність, швидкість роботи розробленої САК. Для зручності та безперебійності контролю за НСВ спроектовано АРМ та систему диспетчеризації даних.

ВИСНОВКИ

У ході виконання кваліфікаційної роботи магістра досягнуті всі поставлені завдання. Всебічно досліджено технологічний процес водопідготовки та можливість удосконалення системи керування ним з урахуванням вимог сучасності: швидкодії, точності та мінімальності засобів автоматизації.

У першому розділі виконали аналіз існуючих технологій водопідготовки та основного обладнання, що виконує найважливіші функції та завдання. Найперспективнішими насосними станціями водопідготовки є станції блочно-модульного типу, так як мають низку переваг серед конкурентів. Більша частина такого обладнання базується на автоматичі, що має моральний та фізичний знос та потребує негайних сучасних оновлень. Окреслили напрямки удосконалення системи електроприводів насосів та САК насосною станцією в цілому.

У другому розділі виконали розрахунок необхідної потужності для підбору електродвигунів для напірних насосів. Для перевірки адекватності параметрів обраних електродвигунів перевірили їх за перевантажувальною здатністю та перегрівом. Обрали сучасну систему керування напірними насосами, що ґрунтується на скалярному принципі частотного керування. Виконали розрахунок та побудову природних характеристик електродвигуна, що доводять працездатність САК при заданому законі керування та налаштувань вольт-частотної характеристики.

У третьому розділі розробили принципову схему автоматизації НСВ. Описали напрямки живлення силового та низьковольтного обладнання. Розрахували та обрали основні елементи схеми керування. Одним з найважливіших контурів автоматизованої системи НСВ є контур регулювання тиску на напірних насосах, для якого провели імітаційне моделювання.

У четвертому розділі розробили САК станцією водопідготовки, а також здійснили вибір засобів автоматизації.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. ДБН В.2.5-74:2013 «Водопостачання. Зовнішні мережі та споруди. Основні положення проектування» – Київ Міністерство регіонального розвитку, будівництва та житлово-комунального господарства України, 2019.
2. Донець О. В. Теорія електропривода: конспект лекцій (для студентів усіх форм навчання за спеціальністю 141 – Електроенергетика, електротехніка, електромеханіка) / В. І. Колотіло, О. В. Донець ; – Харків. нац. ун-т міськ. госп-ва ім. О. М. Бекетова. – Харків : ХНУМГ ім. О. М. Бекетова, 2021. – 148 с.
3. Дорощенко В.В., Коцюба І.Г., Єльнікова Т.О., Уваєва О.І. Водопідготовка: навчальний посібник. / В.В. Дорощенко, І.Г. Коцюба, Т.О. Єльнікова, О.І. Уваєва. – Житомир: Державний університет «Житомирська політехніка», 2020 – 153 с.
4. Коньшин В.І. «Водопідготовка. Інженерні розрахунки схем водопідготовки в енергетиці» [Електронний ресурс]: навч. посіб. для здобувачів ступеня бакалавра спеціальностей: 142 «Енергетичне машинобудування» (освітня програма «Інженерія і комп'ютерні технології теплоенергетичних систем»), 143 «Атомна енергетика» (освітня програма Атомні електричні станції) / укладач В.І.Коньшин; КПІ ім. Ігоря Сікорського. – Київ : КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2024 – 157 с.
5. Моделювання систем управління в SIMULINK : навч. посібник / [В. О. Богомолів, О. Г. Гурко, В. І. Клименко, Д. М. Леонт'єв, О. М. Красюк] ; М-во освіти і науки України. –Харків ХНАДУ, 2018. –220 с.
6. Невлюдов І. Ш. Автоматичне управління технологічними об'єктами [Електронний ресурс]: Підручник / І. Ш. Невлюдов, О. В. Токарева; М-во освіти і науки України, ХНУРЕ. – Харків: ХНУРЕ, 2018. – 190 с.
7. Орлов В. О. Водопостачання промислових підприємств : навч. посібник / В. О. Орлов, Л. Л. Литвиненко, А. М. Орлова. – Київ : Знання, 2014. – 278 с.

8. Світ сучасної водопідготовки: Словник основних термінів: монографія / за заг. наук. ред. Мітченко Т. Є. – Київ : ВУВТ WATERNET, 2019. –65с.

9. Технологія питної води та водопідготовки харчових виробництв [Електронний ресурс]: наук.-допом. бібліогр. покажч. / [упоряд. О. В. Олабоді] ; Нац. ун-т харч. технол., Наук.-техн. б-ка. – Київ, 2021. – 191 с.

10. Теорія автоматичного керування. Частина 1: комп'ютерний практикум [Електронний ресурс]: навч. посіб. для студ. спеціальності 141 «Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка», освітньої програми «Управління, захист та автоматизація енергосистем» / КПП ім. Ігоря Сікорського; уклад.: А.А. Марченко, В.С. Гулий. –Київ : КПП ім. Ігоря Сікорського, 2022. – 54 с.

11. Толстопалова Н.М. Теоретичні основи хімії та технології водопідготовки [Електронний ресурс]: підруч. для здобувачів ступеня бакалавра за спец. 161 Хімічні технології та інженерія / Н. М. Толстопалова, Т. І. Обушенко, О. В. Сангінова ; КПП ім. Ігоря Сікорського. – Київ : КПП ім. Ігоря Сікорського, 2024. – 255 с.

12. Чуб І. М. Масообмінні процеси водопідготовки: навч. посібник / І. М. Чуб ; Харків. нац. ун-т міськ. гос-ва ім. О. М. Бекетова. – Харків : ХНУМГ ім. О. М. Бекетова, 2020. –161 с.

13. Каталог електродвигунів АІР. – Режим доступу: <https://systemax.ua/ua/elektrodivigateli/trehfaznye-obshepromyshlennye-elektrodivigateli/air/air20012--45-kvt-3000-ob-min-.html>

14. Каталог насосів. – Режим доступу: <https://product-selection.grundfos.com/ua/products/tp-tpe/tp/tp-150-3904-96306150?pumpsystemid=2809812939&tab=variant-curves>

15. Каталог автоматичних вимикачів АВВ. – Режим доступу: <https://axiomplus.com.ua/ua/avtomaticheskie-vyklyuchateli/abb/?srsltid=AfmB0opGev11fd1fU80JKgRIXGt6-I7OwW0mBPHGXmEiG4tzMQokzwOa>

16. Каталог ультрафіолетових установок. – Режим доступу: <https://vodavdom.ua/ua/Product/2201>

17. Каталог датчиків тиску. – Режим доступу: <https://www.dubai-sensor.com/smart-differential-pressure-transmitter-mdm7000-dgp-dap-series/?srsltid=AfmBOooIlvxItKY82q5m79rhLm2cfwZsuC4ZooXpoCyBzvHuvQAeF6oF>

18. Каталог витратомірів. – Режим доступу: https://www.eus.endress.com/en/field-instruments-overview/flow-measurement-product-overview/electromagnetic-flowmeter-promag-55s?t.tabId=product-overview&store_locale=en

19. Каталог датчиків рівня. – Режим доступу: https://www.eus.endress.com/en/field-instruments-overview/pressure/Hydrostatic-level-Deltapilot-FMB50?store_locale=en&t.tabId=product-overview

20. Каталог датчиків рН. – Режим доступу: https://www.eus.endress.com/en/field-instruments-overview/liquid-analysis-product-overview/digital-field-transmitter-cm444?store_locale=en&t.tabId=product-overview

21. Каталог панелей оператора. – Режим доступу: <https://www.weintek.net/cMT2108X2.html>

22. Каталог програмованих логічних контролерів. – Режим доступу: <https://privodok.com.ua/plc-delta-electronics-dvp20sx211r>

23. Каталог перетворювачів частоти. – Режим доступу: <https://www.se.com/ua/uk/product/ATV630D45N4/%D0%BF%D0%B5%D1%80%D0%B5%D1%82%D0%B2%D0%BE%D1%80%D1%8E%D0%B2%D0%B0%D1%87-%D1%87%D0%B0%D1%81%D1%82%D0%BE%D1%82%D0%B8-atv630>

24. Каталог модулів розширення. – Режим доступу: <https://privodok.com.ua/modul-delta-electronics-dvpen01-sl>

25. Каталог модемів. – Режим доступу: <https://shop.rcom.com.ua/m2m/irz-tu41-modem-gsm-umts-terminal>

ДОДАТКИ

ДОДАТОК А (ТЕЗИ)

ДОДАТОК Б

Міністерство освіти та науки України
Національний університет «Полтавська політехніка імені Юрія Кондратюка»

Кафедра автоматики, електроніки та телекомунікацій

**Удосконалення системи автоматичного керування станцією
водопідготовки в блочно-модульному виконанні**

Кваліфікаційна робота магістра

Виконав:

студент 601МЕ групи

Керівник:

д.т.н, професор

Білоус О.Ю.

Леві Л.І.

Полтава 2025

Метою магістерської роботи пошук сучасних рішень поліпшення якості та швидкодії системи керування насосною станцією водопідготовки з використанням сучасного обладнання.

Об'єктом магістерської роботи є система керування насосною станцією водопідготовки в блочно-модульному виконанні для побутових та промислових споживачів.

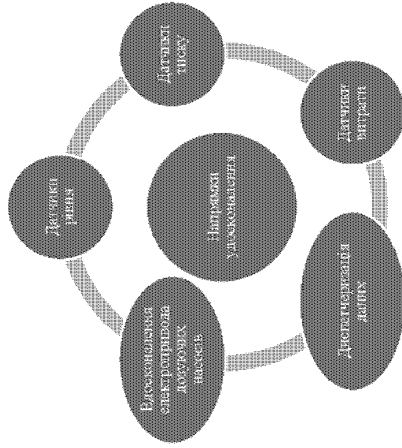
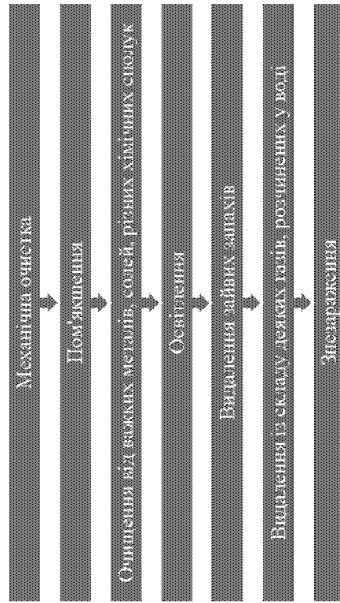
Предметом магістерської роботи є дослідження можливості та доцільності удосконалення системи керування насосною станцією водопідготовки в блочно-модульному виконанні для побутових та промислових споживачів.

Для досягнення поставленої мети необхідно виконати наступні **завдання**:

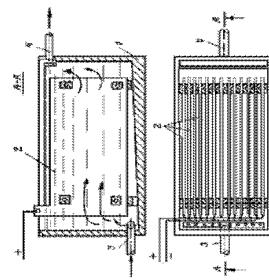
- вивчити існуючі технології водопідготовки для споживачів;
- проаналізувати технологічний процес водопідготовки в насосних станціях блочно-модульного типу як об'єкта модернізації;
- оцінити технологічні рішення для удосконалення системи водопідготовки;
- обрати напрямки удосконалення системи керування насосною станцією водопідготовки;
- здійснити модернізацію електроприводів та систем керування ними;
- розробити функціональні та структурні схеми електроприводів;
- здійснити дослідження статичних та динамічних режимів роботи електроприводів;
- виконати вибір провідників та елементів захисту системи керування електроприводами;
- розробити автоматизовану систему керування насосною станцією водопідготовки;
- розрахувати та вибрати сучасні засоби автоматизації системи керування насосною станцією водопідготовки;
- розробити систему диспетчеризації даних.

Аналіз технологій та технічних рішень з удосконалення САК станцією

ВОДОПІДГОТОВКИ

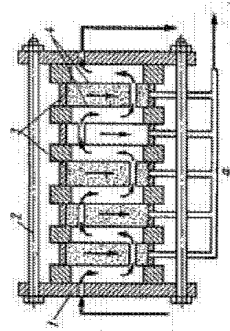


Етапи водопідготовки



Електрокоагулятор

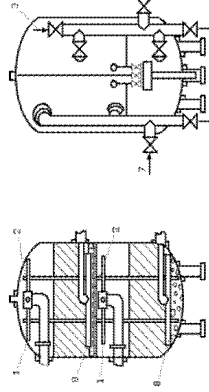
- 1 – корпус; 2 – пластини з металу;
- 3 – вхід води; 4 – вихід води



Мембранний фільтр-прес

- 1 – шита; 2 – стяжний болт;
- 3 – підкладка; 4 – мембрана; 5 – отвір

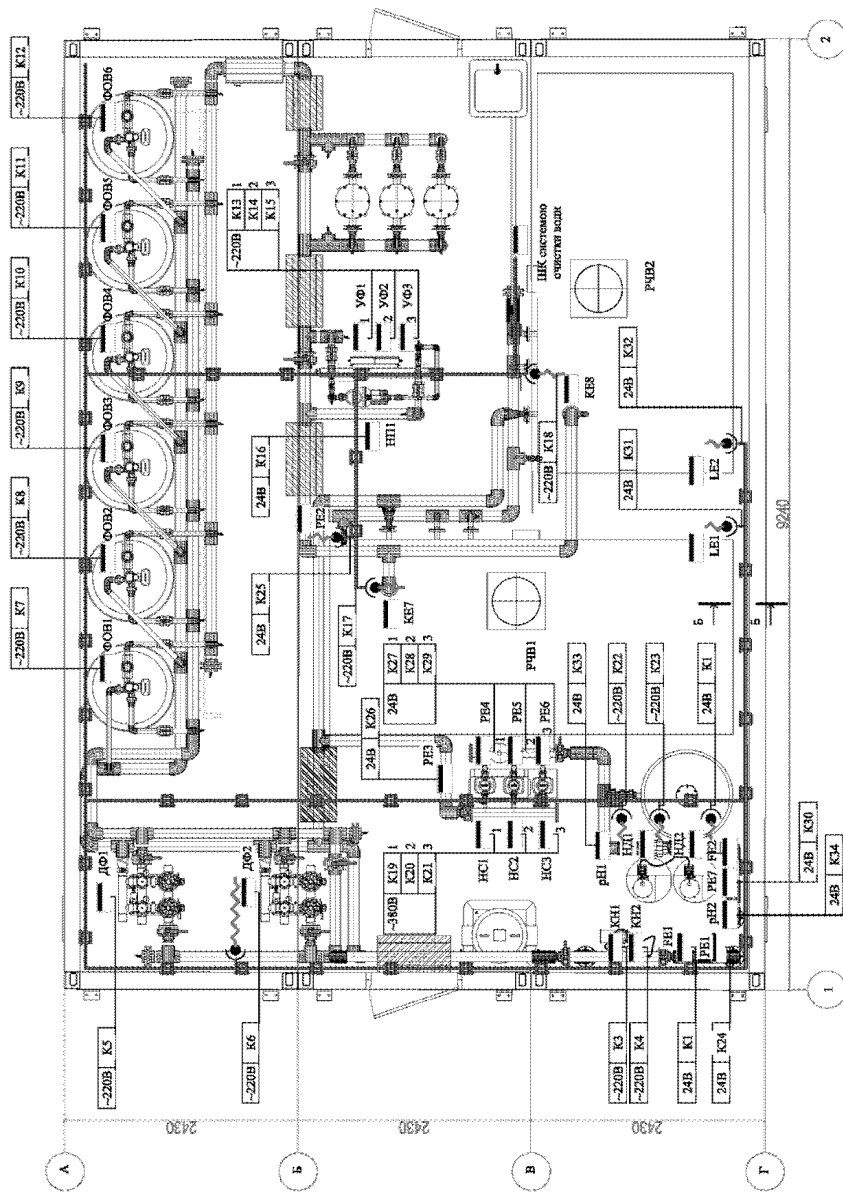
Напрями удосконалення САК станцією водопідготовки



Двокамерний освітлювальний фільтр

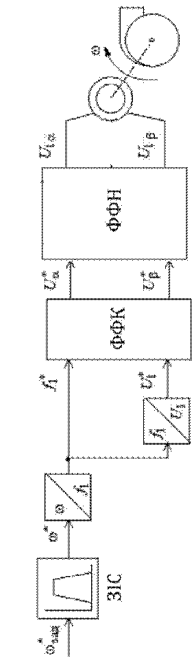
- 1 – труба для вирівнювання тиску між камерами;
- 3 – підведення промивної води; 4 – вихід фільтрату;
- 5 – спуск перших порцій фільтрату; 6 – вихід промивної води; 7 – оброблювана вода; 8 – нижній дренажно-розподільний пристрій

Розробка плану розташування обладнання станції водопідготовки

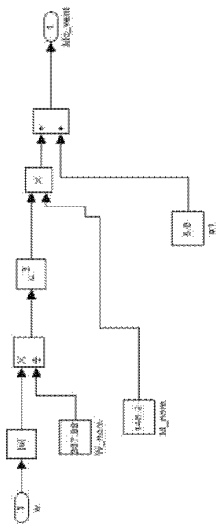


Функціональна схема модернізації електроприводів насосів станції

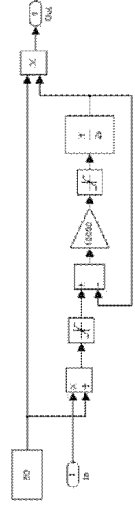
ВОДОПІДГОТОВКИ



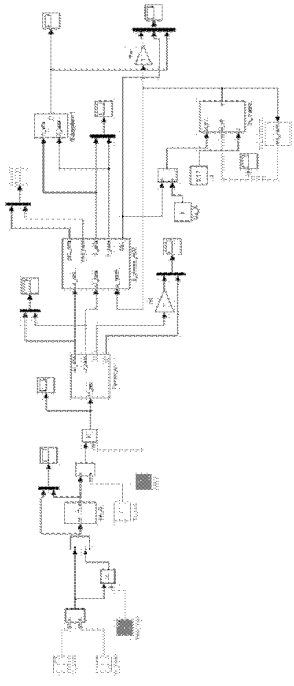
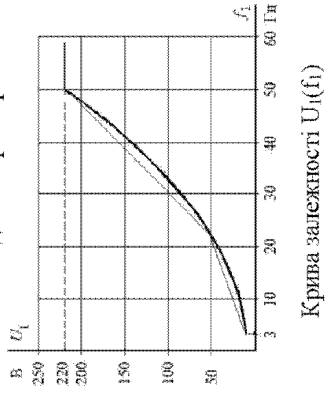
Функціональна схема ЧРЕ зі скалярним керуванням
 ω – фактичне значення кутової швидкості обертання двигуна;
 ЗІС – задавач інтенсивності швидкості з лінійною характеристикою; ФФК – формувач напруг керування двофазним АД, який формує дві напруги змінного струму $U^* i$
 $U^* i$ при застосуванні структурної схеми АД у неруходій системі координат статора α, β ; ФФН – формувач фазних напруг двофазного двигуна



Імітаційна модель насосного навантаження



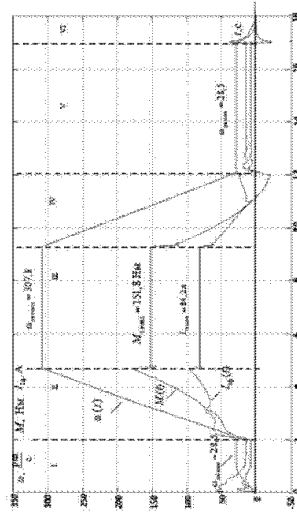
Імітаційна модель задавача інтенсивності з лінійною вихідною характеристикою



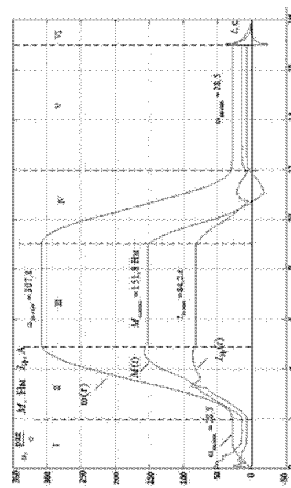
Імітаційна модель розімкнутої системи ПЧ-АД із скалярним керуванням

Дослідження динамічних режимів роботи електроприводів насосів станції

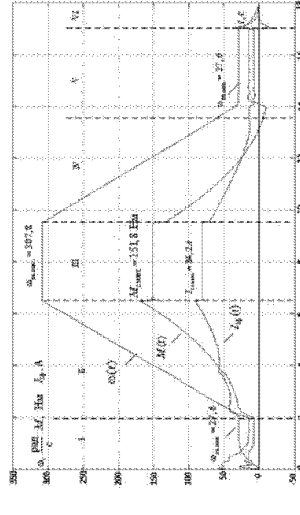
ВОДОПІДГОТОВКИ



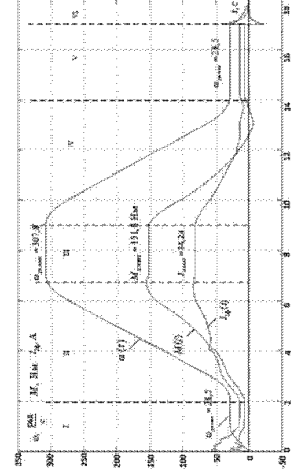
Результати імітаційних досліджень відпрацювання електроприводом насоса заданого циклу з лінійним ЗІ за часом $T_{st}=3$ с і графіки перехідних процесів – швидкості $\omega(t)$, моменту $M(t)$, фазного струму двигуна $I_{\phi}(t)$



Результати імітаційних досліджень відпрацювання електроприводом насоса заданого циклу із задатником інтенсивності з S-образною характеристикою при часі $T_{st}=3$ с; графіки перехідних процесів – швидкості $\omega(t)$, моменту $M(t)$, фазного струму двигуна $I_{\phi}(t)$

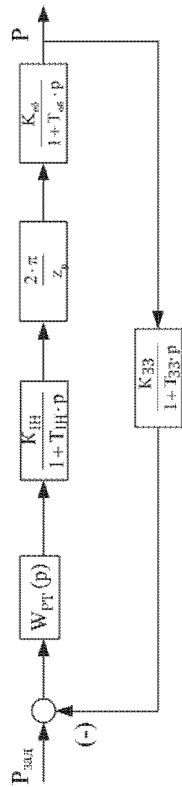


Результати імітаційних досліджень відпрацювання електроприводом насоса заданого циклу з лінійним ЗІ за часом $T_{st}=5$ с і графіки перехідних процесів – швидкості $\omega(t)$, моменту $M(t)$, фазного струму двигуна $I_{\phi}(t)$



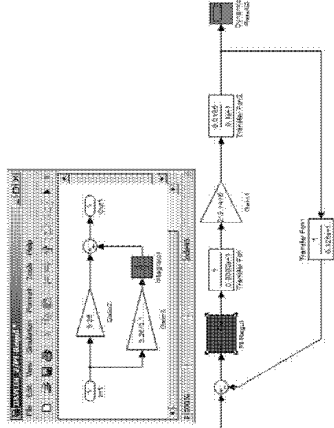
Результати імітаційних досліджень відпрацювання електроприводом насоса заданого циклу із задатником інтенсивності з S-образною характеристикою при часі $T_{st}=5$ с; графіки перехідних процесів – швидкості $\omega(t)$, моменту $M(t)$, фазного струму двигуна $I_{\phi}(t)$

СИНТЕЗ СИСТЕМИ РЕГУЛЮВАННЯ ТИСКУ

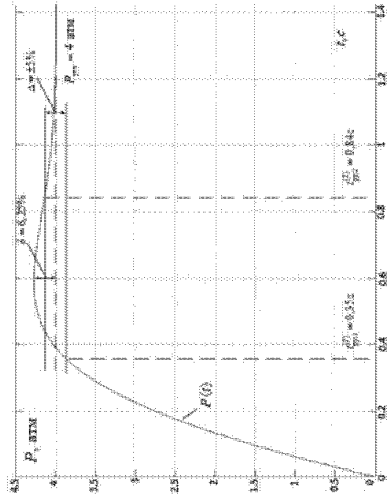


Структурна схема контуру тиску

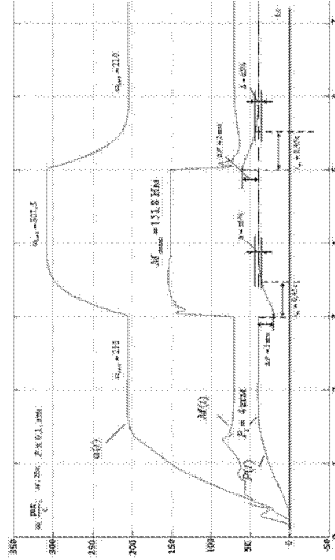
$W_{рп}(p)$ – передатна функція регулятора ваги; $K_{ін}$ – коефіцієнт передачі інвертора; $K_{ос}$ – коефіцієнт передачі насоса; $K_{зв}$ – коефіцієнт передачі зворотного зв'язку; $T_{ін}$ – постійна часу запізнення автономного інвертора напруги; $T_{ос}$ – постійна часу розгону насоса; $T_{зв}$ – постійна часу запізнення зворотного зв'язку; $z_p=1$ – число пар полюсів асинхронного двигуна



Імітаційна модель контуру тиску

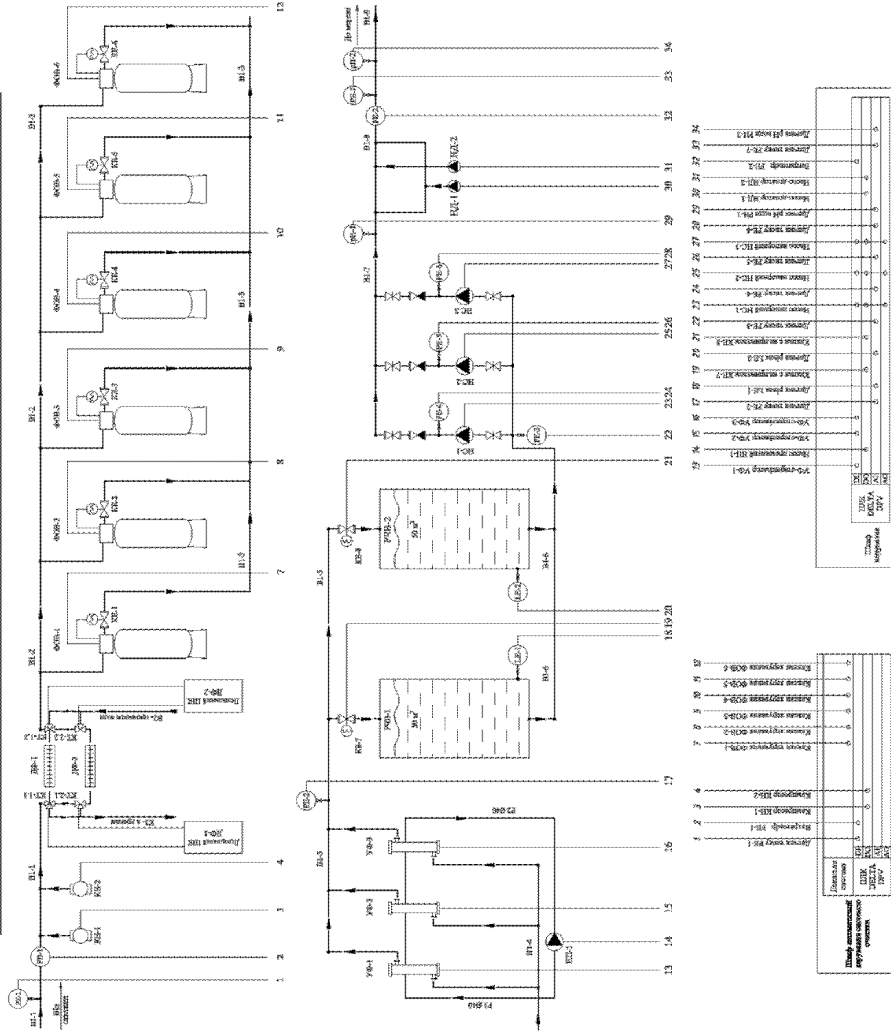


Перехідний процес контуру тиску

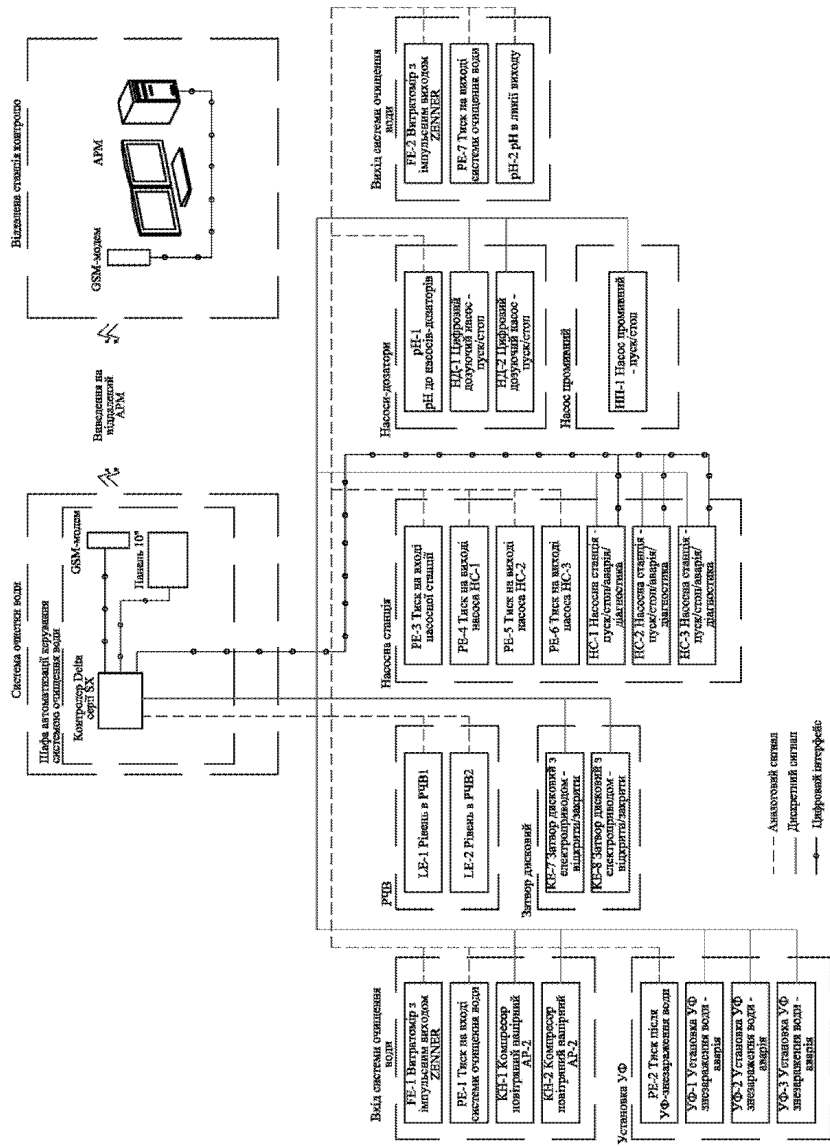


Перехідна характеристика тиску $P(t)$, швидкості двигуна $\omega(t)$, електромагнітного моменту $M(t)$
АД під час пуску, відкриття та закриття клапана

Автоматизована САК станцією водопідготовки



Алгоритм роботи САК станцією водопідготовки



Загальні висновки

У ході виконання кваліфікаційної роботи магістра досягнуті всі поставлені завдання. Всебічно досліджено технологічний процес водопідготовки та можливість удосконалення системи керування ним з урахуванням вимог сучасності: швидкодії, точності та мінімальності засобів автоматизації.

У першому розділі виконали аналіз існуючих технологій водопідготовки та основного обладнання, що виконує найважливіші функції та завдання. Найперспективнішими насосними станціями водопідготовки є станції блочно-модульного типу, так як мають низку переваг серед конкурентів. Більша частина такого обладнання базується на автоматичі, що має моральний та фізичний знос та потребує негайних сучасних оновлень. Окреслили напрямки удосконалення системи електроприводів насосів та САК насосною станцією в цілому.

У другому розділі виконали розрахунок необхідної потужності для підбору електродвигунів для напорних насосів. Для перевірки адекватності параметрів обраних електродвигунів перевірили їх за перевагтажувальною здатністю та перегрівом. Обрали сучасну систему керування напорними насосами, що ґрунтується на скалярному принципі частотного керування. Виконали розрахунок та побудову природних характеристик електродвигуна, що доводять працездатність САК при заданому законі керування та налаштувань вольт-частотної характеристики.

У третьому розділі розробили принципову схему автоматизації НСВ. Описали напрямки живлення силового та низьковольтного обладнання. Розрахували та обрали основні елементи схеми керування. Одним з найважливіших контурів автоматизованої системи НСВ є контур регулювання тиску на напорних насосах, для якого провели імітаційне моделювання.

У четвертому розділі розробили САК станцією водопідготовки, а також здійснили вибір засобів автоматизації.

Дякую за увагу!