

Міністерство освіти і науки України
Західноукраїнський національний університет
Факультет комп'ютерних інформаційних технологій
Кафедра спеціалізованих комп'ютерних систем

ЯЩУК Вікторія Олександрівна

СИСТЕМА АВТОМАТИЗОВАНОГО УПРАВЛІННЯ НАСОСНОЮ
УСТАНОВКОЮ ПОДАЧІ ЛЬОДЯНОЇ ВОДИ ПРИ МОЛОКОПЕРЕРОБЦІ. /
AUTOMATED CONTROL SYSTEM OF THE ICE WATER SUPPLY PUMP
UNIT DURING MILK PROCESSING.

спеціальність: 151 – Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології
освітньо-професійна програма – Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані
технології

Випускна кваліфікаційна робота
здобувача першого (бакалаврського) рівня освіти

Виконала: студентка групи АКІТ–41
В. О. Ящук

Науковий керівник:
к.т.н., доцент А. І. Сегін

Випускну кваліфікаційну роботу
допущено до захисту:
" ____ " _____ 2024 р.

Завідувач кафедри СКС
_____ А. І. Сегін

Тернопіль 2024

Факультет комп'ютерних інформаційних технологій
Кафедра спеціалізованих комп'ютерних систем
Освітній ступінь "бакалавр"
спеціальність: 151 – Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології
освітньо-професійна програма – Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані
технології

ЗАТВЕРДЖУЮ:

зав. кафедри СКС

_____ А. І. Сегін
" ____ ". _____ 2023р.

З А В Д А Н Н Я
НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ СТУДЕНТЦІ

Ящук Вікторії Олександрівни

(прізвище, ім'я по-батькові)

1. Тема кваліфікаційної роботи

Система автоматизованого управління насосною установкою подачі льодяної води при молокопереробці. / Automated control system of the ice water supply pump unit during milk processing.

керівник роботи к.т.н., доцент Сегін А. І.

затверджено наказом по університету від « 12 » грудня 2023 р. № 753

2. Строк подання студентом закінченої кваліфікаційної роботи

10 травня 2024р.

3. Вихідні дані до кваліфікаційної роботи:

1. Технічні характеристики та режими роботи насосної установки подачі крижаної води при молокопереробці.

2. Вимоги до системи автоматичного управління насосною установкою подачі льодяної води на молокопереробних підприємствах.

3. Інтеграція розробленої системи автоматизованого управління в АСУ ТП підприємства.

4. Основні питання, які потрібно розробити

1. Оцінка технічної ефективності при впровадженні автоматизованої системи управління насосною станцією подачі крижаної води.

2. Підбір та розрахунок параметрів силового обладнання та засобів автоматизації для системи управління насосною установкою подачі крижаної води.

3. Розробити загальну структуру та функціональну схему АСУ ТП насосної станції подачі крижаної води.

4. Розробити алгоритмічне та програмне забезпечення для системи управління насосною установкою подачі крижаної води.

5. Перелік графічного матеріалу у роботі

1. Загальна конструкція центрального кондиціонера.
2. Структурна схема електроприводу насосної станції.
3. Функціональна схема АСУ ТП насосної станції подачі крижаної води.
4. Принципова електрична схема АСУ ТП насосної станції подачі крижаної води.
5. Графіки перехідних процесів регульованих параметрів.

6. Консультанти розділів кваліфікаційної роботи

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		Завдання видав	Завдання прийняв
1	Сегін А. І.		
2	Сегін А. І.		
3	Сегін А. І.		

7. Дата видачі завдання 12 грудня 2023р.

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назви етапів кваліфікаційної роботи	Строк виконання етапів роботи	Примітка
1	Аналіз технологічного процесу та автоматизованих систем управління насосними станціями подачі крижаної води існуючих на молокопереробних підприємствах	15.12.2023р. – 31.01.2024р.	виконано
2	Силове обладнання установки подачі крижаної води	01.02. 2024р.– 15.03.2024р.	виконано
3	Розробка автоматизованої системи управління насосною станцією подачі льодяної води	16.03.2024р. – 30.04.2024р.	виконано
4	Остаточне оформлення та подача кваліфікаційної роботи на перевірку щодо плагіату	1.05.2024р. – 10.05.2024	виконано

Студентка

_____ (підпис)

Ящук В. О.

Керівник роботи

_____ (підпис)

к.т.н., доц. Сегін А. І.

АНОТАЦІЯ

ЯЦУК В. О. Система автоматизованого управління насосною установкою подачі льодяної води при молокопереробці.

Дослідження на здобуття освітнього ступеня «бакалавр» за спеціальністю 151 – Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології, освітньо-професійною програмою – Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології. – Західноукраїнський національний університет, Тернопіль. 2024.

У кваліфікаційній роботі проведено аналіз існуючих систем автоматизованого управління насосними станціями подачі крижаної води на молокопереробних підприємствах, а також досліджено науково-інформаційні джерела з проектування САУ оборотного водопостачання.

На основі цього було розроблено сучасну енергоефективну автоматизовану систему управління насосною станцією подачі крижаної води молокопереробного підприємства.

Використання розробленої автоматизованої системи управління насосною станцією подачі крижаної води на підприємстві дозволить значно заощадити електроенергію у порівнянні з попередньою системою управління насосною станцією, а також забезпечити простий та доступний рівень обслуговування, налаштування та коригування роботи об'єкта.

ANNOTATION

Yashchuk V. O. Automated control system of the ice water supply pump unit during milk processing.

Research for obtaining a bachelor's degree in the specialty 151 - Automation and computer-integrated technologies, educational and professional program - Automation and computer-integrated technologies. – Western Ukrainian National University, Ternopil. 2024.

In the qualification work, an analysis of the existing systems of automated control of ice water supply pumping stations at milk processing enterprises was carried out, and scientific and informational sources on the design of ACS of circulating water supply were also investigated.

Based on this, a modern energy-efficient automated control system for the ice water supply pumping station of the milk processing enterprise was developed.

The use of the developed automated control system for the ice water supply pumping station at the enterprise will allow significant energy savings compared to the previous pumping station control system, as well as provide a simple and affordable level of maintenance, adjustment and adjustment of the facility's operation.

ЗМІСТ

ВСТУП.....	7
1. АНАЛІЗ ТЕХНОЛОГІЧНОГО ПРОЦЕСУ ТА АВТОМАТИЗОВАНИХ СИСТЕМ УПРАВЛІННЯ НАСОСНИМИ СТАНЦІЯМИ ПОДАЧІ КРИЖАНОЇ ВОДИ ІСНУЮЧИХ НА МОЛОКОПЕРЕРОБНИХ ПІДПРИЄМСТВАХ.....	10
1.1. Опис технологічного процесу подачі крижаної води насосною станцією та аналіз системи управління нею на молокопереробному підприємстві.....	10
2.2. Технічні характеристики системи подачі крижаної води молокопереробного підприємства.....	13
1.3 Оцінка технічної ефективності при впровадженні автоматизованої системи управління насосної станцією подачі крижаної води.....	14
1.3.1. Розрахунок витрати електроенергії протягом року під час використання існуючої системи управління насосної станцією подачі крижаної води.....	19
1.3.2. Розрахунок витрати електроенергії протягом року під час використання автоматизованої системи управління насосної станцією подачі крижаної води.....	20
1.4 Формування вимог до технологічного процесу подачі крижаної води при впровадженні АСУ.....	21
1.4.1 Функціональна схема технологічного процесу під час використання АСУ.....	21
1.4.2 Вимоги до електроприводу та системи автоматики.....	25

					ДП.АКІТ.8872457.00.00.000 ПЗ			
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата				
Розроб.		Ящук В.О.			Система автоматизованого управління насосною установкою подачі льодяної води при молокопереробці	Лім.	Арк.	Акрушів
Перевір.		Сегін А.І.				5	88	
Консульт.		Сегін А. І.				ЗУНУ.ФКІТ.АКІТ-41		
Н. Контр.		Заставний О.М.						
Затверд.		Сегін А.І.						

2. СИЛОВОЕ ОБЛАДНАННЯ УСТАНОВКИ ПОДАЧІ КРИЖАНОЇ ВОДИ.....	27
2.1 Обґрунтування вибору електроприводу та типу струму	27
2.2 Обґрунтування вибору перетворювача частоти Electric Ativa-312.....	31
2.3 Розрахунок параметрів характеристики електроприводу.....	35
2.4 Розрахунок параметрів частотного регулювання навантаження на насос та налаштування перетворювача частоти.	37
3 РОЗРОБКА АВТОМАТИЗОВАНОЇ СИТЕМИ УПРАВЛІННЯ НАСОСНОЮ СТАНЦІЄЮ ПОДАЧІ ЛЬОДЯНОЇ ВОДИ.....	45
3.1 Загальна структура та функціональна схема АСУ ТП насосної станції подачі крижаної води.....	45
3.2 Мнемосхеми технологічної лінії та ПЗ насосної станції для автоматичного режиму	49
3.3 Обґрунтування вибору та налаштування регулятора витрати на ТО.....	65
3.4 Програмування ПЛК Siemens Simatic ET-200	72
3.5 Обґрунтування вибору технічних засобів системи автоматизованого управління.....	75
ВИСНОВКИ.....	86
ПЕРЕЛІК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ.....	88

ВСТУП

Актуальність теми. Проблема енергозбереження на сьогоднішній день стає одним із найголовніших завдань сучасного людства. Одним з підходів для досягнення ефекту при вирішенні зазначеної проблеми є удосконалення виробничо-технологічних процесів з метою зменшення затрат енергії [1-2].

Одним із шляхів вирішення завдань енергозбереження в ході виробничо-технологічних процесів є їхня автоматизація. Одними з таких технологічних процесів, внаслідок автоматизації яких може бути досягнуто енергозберігаючого ефекту, є процеси оборотного водопостачання (повторної подачі відпрацьованої води на виробничі потреби) на промислових підприємствах. Більшість сучасних підприємств є активними споживачами водних ресурсів. Щоб заощадити чисту воду, власники часто віддають перевагу прогресивному способу оборотного водопостачання, що передбачає багаторазове використання цього ресурсу. Оборотне водопостачання складається із систем підготовки води та подачі. Системи підготовки на сучасних підприємствах відрізняються залежно від галузі виробництва та вимог технологічного процесу, на відміну від систем подачі, основою яких є електропривод насосних станцій.

Частковим випадком оборотного водопостачання є забезпечення крижаною водою споживачів (обладнання) на харчових підприємствах для охолодження продукції (молоко, продукти кисломолочні, соки вино, газовані напої) [3-6].

Забезпечення крижаною водою на таких підприємствах також складається із систем підготовки крижаної води (баки накопичувачі льоду, компресори, чилери) та подачі (насосні станції).

На сьогоднішній день процес подачі крижаної води на харчових підприємствах автоматизовано не достатньо. Найчастіше витрати електроенергії на подачу води призводять до надмірного енергоспоживання.

					ДП.АКІТ.8872457.00.00.000 ПЗ	Арк.
						7
Зм.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата		

На одній технологічній лінії подачі крижаної води може бути до десятка споживачів. Особливістю споживачів (технічного обладнання) на харчових підприємствах є задані витрати, прописані в паспорті обладнання/Його необхідно суворо дотримуватися, щоб не змінити параметри технологічного процесу. Робота проводиться за чітко заданим графіком протягом доби.

У цій пояснювальній записці подані результати роботи досліджень та проектування по одному з напрямків автоматизації – розробка проекту сучасної енергоефективної автоматизованої системи управління насосною станцією подачі крижаної води харчового молокопереробного підприємства.

Мета кваліфікаційної роботи. Основною метою кваліфікаційної роботи є забезпечення строгого дотримання параметрів технологічного процесу та скорочення енергоспоживання за допомогою розробки системи автоматизованого управління електроприводом насосної станції, технічного оснащення, алгоритмів та програмного забезпечення її роботи. А також інтегрування її в АСУТП підприємства.

Для досягнення поставленої було вирішено такі завдання:

1. Досліджено технологічний процес подачі крижаної води на молокопереробних підприємствах
2. Оцінка технічної ефективності при впровадженні автоматизованої системи управління насосною станцією подачі крижаної води.
3. Обґрунтувати підбір силового обладнання для забезпечення процесу подачі крижаної води із зменшенням енергозатрат.
4. Розрахувати параметри характеристики електроприводу, частотного регулювання навантаження на насос та налаштування перетворювача частоти.
5. Розробити загальну структуру та функціональну схему АСУ ТП насосної станції подачі крижаної води
6. Спроекувати мнемосхеми технологічної лінії подачі крижаної води

					ДП.АКІТ.8872457.00.00.000 ПЗ	Арк.
						8
Зм.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата		

в системі для автоматичного режиму і ручного режиму.

7. Розробити алгоритм автоматизованого керування електроприводом насосної станції подачі крижаної води.

8. На основі алгоритму управління розробити програмне забезпечення для обраного програмованого логічного контролера та інтегрувати в загальну АСУ ТП підприємства.

Об'єкт дослідження. Замкнута технологічна лінія подачі крижаної води на ділянку виробництва кисломолочної продукції молокопереробного підприємства.

Предмет дослідження. Система автоматизованого управління насосною установкою подачі крижаної води на підприємстві молокопереробки.

Методи дослідження. В роботі використовувалися методи спостереження технологічного процесу молокопереробки, вимірювання необхідних параметрів, комплексні методи аналізу та синтезу структурних схем, методів теорії автоматичного управління.

Практичне значення одержаних результатів полягає у тому, що розроблена система автоматизованого управління насосною установкою подачі крижаної води на підприємстві молокопереробки дозволить визначати споживачів, відкритих для прийому крижаної води, та підбирати швидкість обертання валу електродвигуна, таким чином, щоб не було надлишкового енергоспоживання та переохолодження продукції.

Апробація.

Андрій Сегін, Вікторія Ящук, Петро Головацький. Система автоматизованого управління насосною установкою подачі крижаної води для молокопереробних підприємств / Збірник матеріалів проблемно-наукової міжгалузевої конференції «Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології» (АКІТ - 2024), Тернопіль, 2024. -с. 11-17

					ДП.АКІТ.8872457.00.00.000 ПЗ	Арк.
						9
Зм.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата		

1. АНАЛІЗ ТЕХНОЛОГІЧНОГО ПРОЦЕСУ ТА АВТОМАТИЗОВАНИХ СИСТЕМ УПРАВЛІННЯ НАСОСНИМИ СТАНЦІЯМИ ПОДАЧІ КРИЖАНОЇ ВОДИ ІСНУЮЧИХ НА МОЛОКОПЕРЕРОБНИХ ПІДПРИЄМСТВАХ

1.1. Опис технологічного процесу подачі крижаної води насосною станцією та аналіз системи управління нею на молокопереробному підприємстві

Насосна станція подачі крижаної води це складний електрогідравлічний технічний комплекс споруд та обладнання, в якому здійснюється перетворення електричної енергії на механічну енергію потоку рідини та управління цим процесом перетворення 1 .

Насосні станції подачі крижаної води на молокопереробних підприємствах мають забезпечити [6-7]:

- дотримання необхідного графіка подачі крижаної води для нормальних та аварійних умов;
- дотримання параметрів технологічного процесу при охолодженні молочної продукції;
- необхідний ступінь надійності та певного ступеня безперебійної роботи;
- експлуатацію при безперервно змінюваних обсягах, режимах споживання і складі споживачів, що змінюються, розташованих на замкнутій технологічній лінії подачі крижаної води.

Розглянемо, як здійснюється процес управління насосними станціями подачі крижаної води на прикладі кількох молокопереробних підприємств.

На досліджуваному підприємстві автоматизованої системи управління подачі крижаної води відсутня. Управління електродвигунами насосів здійснюється за допомогою електромагнітних пускачів із кнопок,

					ДП.АКІТ.8872457.00.00.000 ПЗ	Арк.
						10
Зм.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата		

розташованих на шафах управління насосними станціями.

Можна зробити висновок, що на сьогоднішній день процес подачі крижаної води на молокопереробному підприємстві не автоматизовано.

Розглянемо, які рішення пропонують провідні виробники насосних станцій оборотного водопостачання та АСУ для них. У науково-інформаційних джерелах різних авторів можна назвати п'ять основних схем побудови автоматизованих систем управління насосними станціями оборотного водопостачання [6].

1) Електродвигуни насосів станції підключаються безпосередньо до мережі через пускачі. При потужності двигунів понад 4 кВт запуск здійснюється за схемою зірка/трикутник. Контур регулювання виконаний на основі зовнішнього контролера. До нього підключається датчик тиску напірного і всмоктується колектора, а також котушки пускачів. [6]

2) Один із насосів у станції має вбудований децентралізований перетворювач частоти. Контур регулювання виконаний з урахуванням зовнішнього контролера з ПІ регулятором, який змінює продуктивність головного насоса по шині зв'язку. У разі збільшення необхідного напору системи регулятор за допомогою вбудованих реле контролера комутує котушки пускачів додаткових насосів. При потужності електродвигунів більше 4 кВт запуск проводиться за схемою зірка/трикутник [7].

3) Всі насоси станції мають вбудовані частотні перетворювачі, Контур регулювання виконаний на основі ПІ регулятора одного з перетворювачів частоти. Регулятор по єдиній шині здійснює підключення і відключення підлеглих перетворювачів частоти, а також формує для них завдання швидкості обертання [7].

4) У системі керування присутній зовнішній перетворювач частоти, який має додаткову можливість перемикання на будь-який електродвигун насосів станції за допомогою комутації пускачів силових вихідних ланцюгів. Контур регулювання також виконаний на його програмному ПІ регуляторі.

					ДП.АКІТ.8872457.00.00.000 ПЗ	Арк.
						11
Зм.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата		

Котушки пускачів додаткових насосів комутуються від кількох реле перетворювача частоти. При потужності електродвигунів понад 5 кВт підключення та відключення додаткових двигунів здійснюється за схемою зірка/трикутник [8].

5) Усі електродвигуни насосів управляються від зовнішніх перетворювачів частоти. Контур регулювання виконаний, але базі ПП регулятора одного з перетворювачів частоти Регулятор здійснює підключення та відключення підлеглих перетворювачів частоти, а також по єдиній шині формує для них задання швидкості обертання [8].

Ознайомившись із переліченими типовими конфігураціями автоматизованих систем управління насосними станціями можна дійти негативного висновку, що: на сьогодні, існуючі автоматизовані системи управління насосних станцій оборотного водопостачання мають істотний недолік – вони не враховують технічні характеристики споживачів, а саме необхідний розхід.

Існуючі САУ насосних станцій оборотного водопостачання, критично не підходять для впровадження на молокопереробних підприємствах, оскільки вони не в змозі визначити, яке обладнання відкрито для споживання води і підібрати для нього оптимальну витрату, що відповідає його технічним характеристикам. Це призводить до роботи насоса з більшою потужністю, оскільки він перекачує більші обсяги рідини, ніж необхідно споживачам, що призводить до надмірного енергоспоживання та зміни параметрів технологічного процесу.

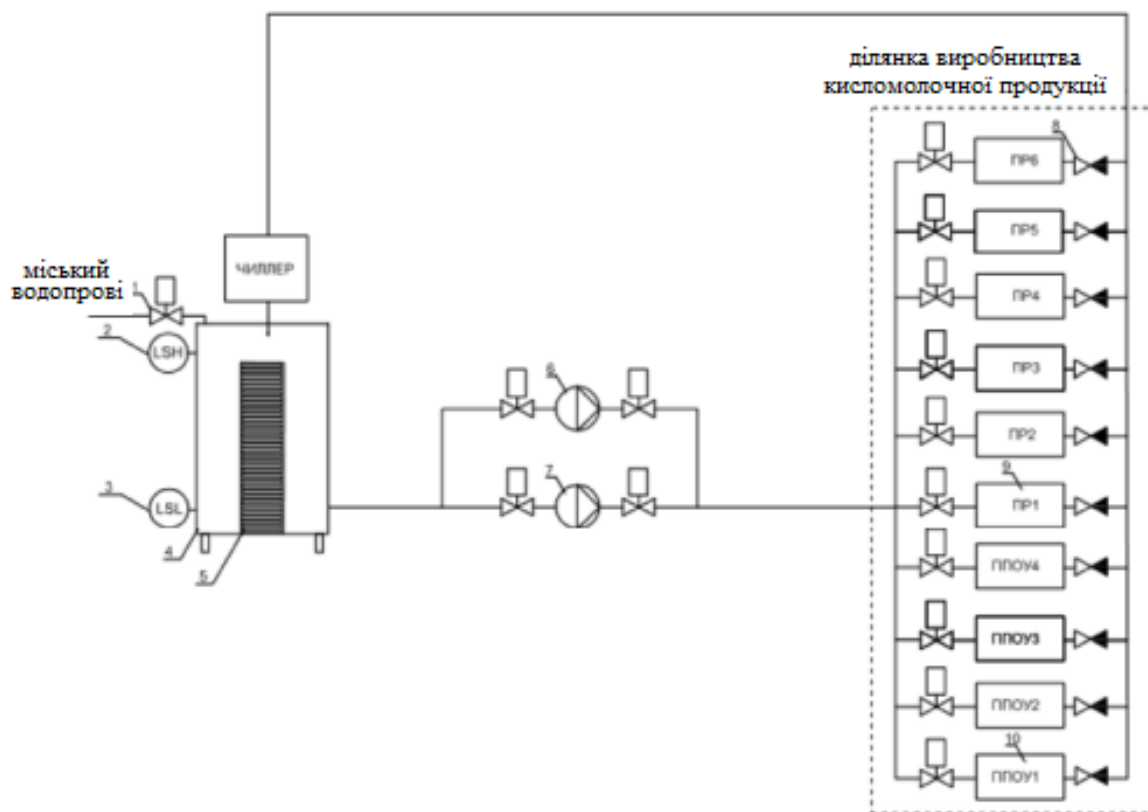
Існуюча насосна станція подає крижану воду з бака – акумулятора льоду, споживачам ділянки виробництва кисломолочної продукції молокопереробного підприємства.

Функціональна схема насосної станції представлена на рисунку 1.1.

Вода з бака акумулятора льоду через впускні вентиля надходить у насос (6) або в насос (7), в системі працює тільки один другий насос служить

					ДП.АКІТ.8872457.00.00.000 ПЗ	Арк.
						12
Зм.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата		

резервним. Далі вода подається відкритим споживачам. Управління електродвигунами насосів здійснюється за допомогою електромагнітних пускачів.



1 – заслінка з пневмоприводом; 2 – датчик верхнього рівня; 3 – датчик нижнього рівня; 4 – акумулюючий бак; 5 – петельчастий випарник; 6,7 – насосні установки; 8 – зворотний клапан; 9 – процесний резервуар; 10 – пластинчаста пастеризаційна охолоджувальна установка.

Рисунок 1.1 – Попередня функціональна схема насосної станції

1.2. Технічні характеристики системи подачі крижаної води молокопереробного підприємства

Насосна станція подачі крижаної води повинна забезпечити необхідну витрату для споживачів ділянки виробництва кисломолочної продукції: шість процесних резервуарів (ПР1, ПР2, ПР3, ПР4, ПР5, ПР6) та чотири пастеризаційні пластинчасті охолоджувальні установки (ППОУ1, ППОУ2,

					ДП.АКІТ.8872457.00.00.000 ПЗ	Арк.
						13
Зм.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата		

ППОУ3, ППОУ4).

Оптимальне значення витрати кожного споживача визначається виходячи з його паспортних гідравлічних характеристик:

- 1) Для ПР1 ПР6 оптимальна паспортна витрата – $15\text{ м}^3 / \text{год}$.
- 2) Для ППОУ1, ППОУ2 – $30\text{ м}^3 / \text{год}$.
- 3) Для ППОУ3, ППОУ4 – $25\text{ м}^3 / \text{год}$.

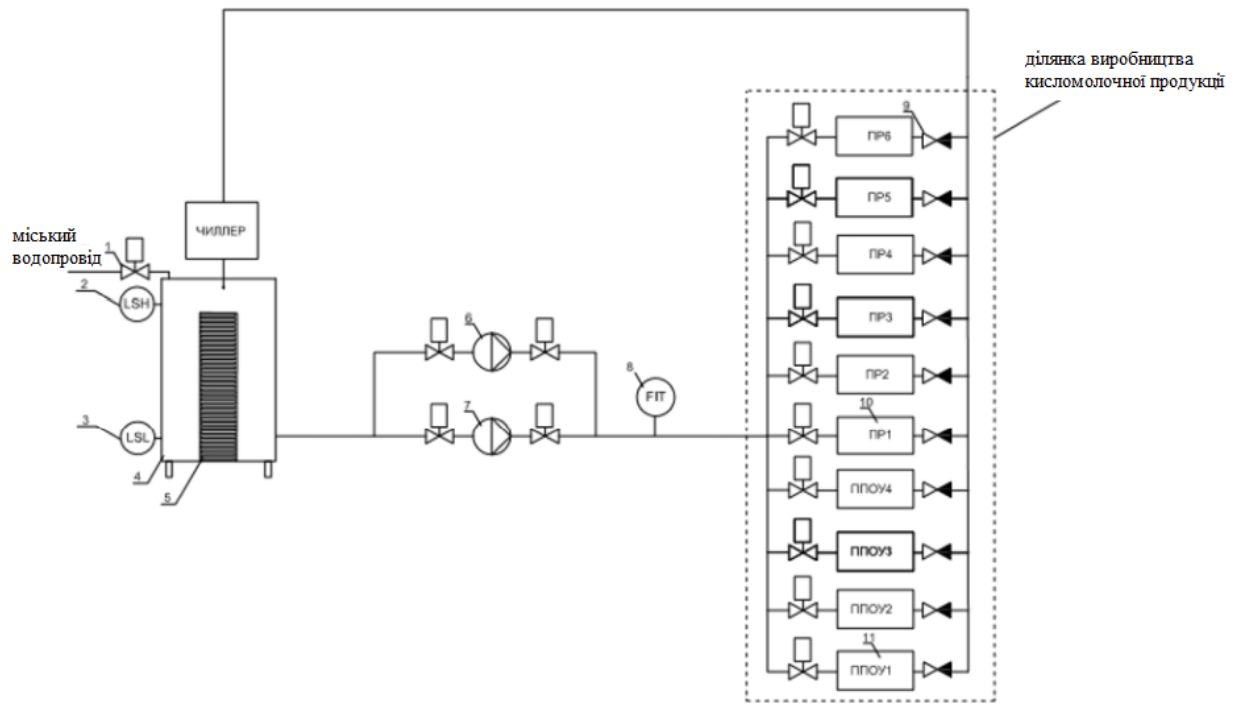
Режим роботи підприємства цілодобовий без вихідних днів. Графік роботи устаткування (споживачів крижаної води) наведено у таблиці 1.

Таблиця 1.1 – Графік роботи обладнання

Споживачі	Години роботи, год
ПР1	2 ⁰⁰ –3 ⁰⁰
ПР1, ПР2, ПР3	3 ⁰⁰ –6 ⁰⁰
ПР1, ПР2, ПР3, ПР4, ПР5, ПР6	6 ⁰⁰ –9 ⁰⁰
ППОУ1/ ППОУ2	9 ⁰⁰ –12 ⁰⁰
ППОУ1/ ППОУ2 і ППОУ3/ ППОУ4	12 ⁰⁰ –16 ⁰⁰
ППОУ3/ ППОУ4	16 ⁰⁰ –21 ⁰⁰

Щоб проаналізувати роботу попередньої системи управління насосною станцією подачі крижаної води та для відстеження поточного споживання крижаної води було встановлено витратомір. Функціональна схема попередньої насосної станції з встановленим витратоміром представлена рисунку 1.2.

Враховуючи, режим та час роботи споживачів ділянки кисломолочної продукції та показання витратоміра було побудовано усереднений графік споживання води протягом доби при використанні попередньої системи управління, який наведено на рисунку 1.3. Пунктирною лінією на графіку відзначено паспортну витрату споживачів.



1 – заслінка з пневмоприводом; 2 – датчик верхнього рівня; 3 – датчик нижнього рівня; 4 – акумулюючий бак; 5 – петельчастий випарник; 6,7 – насосні установки; 8 – витратомір; 9 – зворотний клапан; 10 – процесний резервуар; 11 – пластинчаста пастеризаційна охолоджувальна установка.

Рисунок 1.2 – Попередня функціональна схема насосної станції із встановленим витратоміром

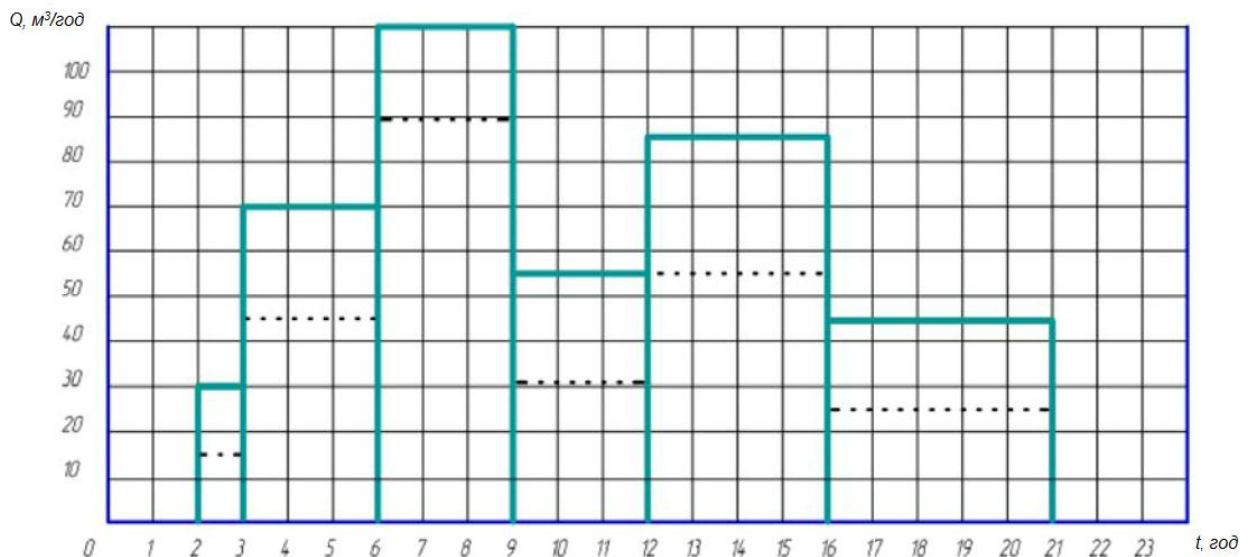


Рисунок 1.3 – Споживання протягом доби із застосуванням попередньої системи керування насосною станцією.

Зм.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата

ДП.АКІТ.8872457.00.00.000 ПЗ

Арк.

15

Як видно з графіка, недоліками попередньої системи управління є занадто висока витрата, що набагато перевищує паспортний. Щодобово по замкнутому контуру перекачується 1310 води, що призводить до зайвого енергоспоживання та порушення параметрів технологічного процесу.

Після проведення аналізу АСУ насосних станцій у розділі 1 стало зрозуміло, що існуючі автоматизовані системи управління насосних станцій оборотного водопостачання мають істотний недолік – вони не враховують технічні характеристики споживачів, а саме, потрібну витрату. Споживана потужність насоса залежить від обсягу рідини (витрати), що перекачується, це видно з графіка універсальної характеристики відцентрового насоса, встановленого на даній насосній станції, зображеної на рисунку 1.4.

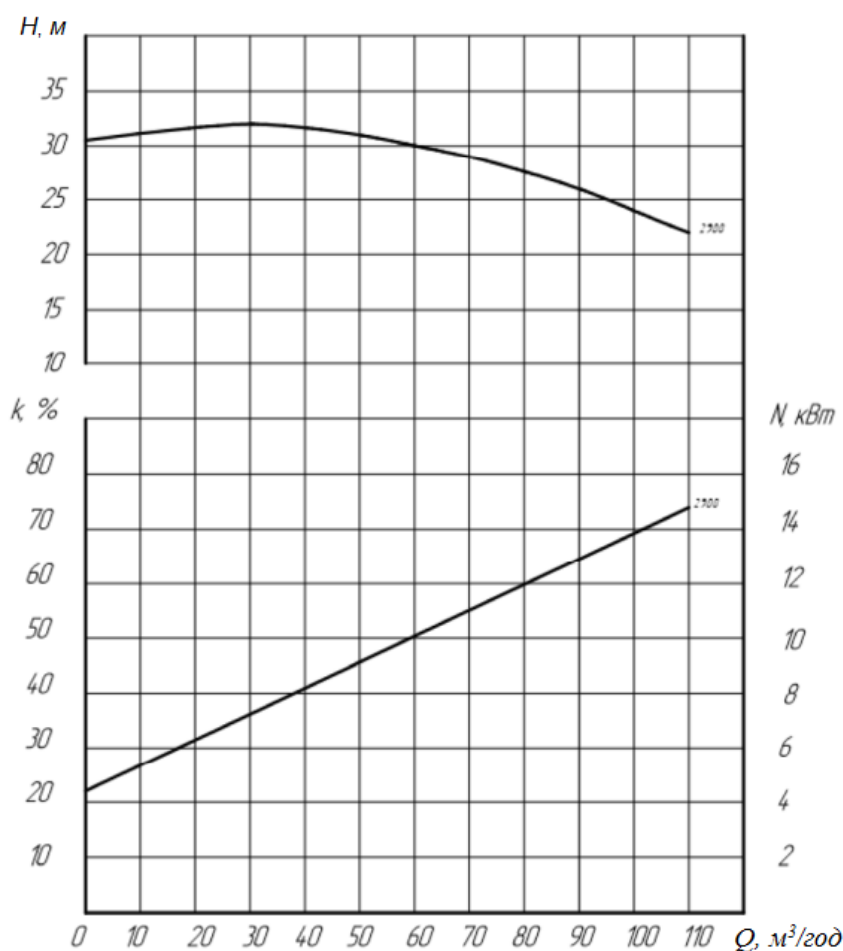


Рисунок 1. 4 – Універсальна характеристика відцентрового насосу КМ 100–80-160А.

Тому основним завданням даної роботи є розробка сучасної енергоефективної автоматизованої системи управління насосною станцією подачі крижаної води харчового молокопереробного підприємства, яка дозволить забезпечити оптимальну витрату включеним споживачам.

1.3 Оцінка технічної ефективності при впровадженні автоматизованої системи управління насосною станцією подачі крижаної води.

Основою автоматизованої системи управління насосною станцією подачі крижаної води є асинхронний електропривод, керований частотним перетворювачем.

Частотно-регульований асинхронний електропривод і двох основних пристроїв: асинхронного двигуна і перетворювача частоти.

Перетворювач частоти забезпечує необхідне енергоефективне керування асинхронним двигуном. На сьогоднішній день існує низка методик оцінки енергетичної та економічної ефективності електроприводів, керованих перетворювачами частоти. Наприклад, у [7] розроблено методику оцінки економічної ефективності використання частотного електроприводу в системах водопостачання будівель, розроблено інструкцію з розрахунку економічної ефективності застосування частотно регульованого електроприводу. Зазначена методика взята за основу розробленої комп'ютерної програми з оцінки економічної ефективності частотно-регульованого електроприводу насосів [7]. Для обчислення величини зниження споживаної потужності використовуються закони подібності насосів [7] (для насосів середнього та низького тиску з пологою характеристикою, типових у мережах тепловодопостачання):

$$\frac{Q_1}{Q_2} = \frac{n_1}{n_2}, \quad \frac{P_1}{P_2} = \frac{n_1^3}{n_2^3}, \quad (1.1)$$

де Q_1, Q_2 – витрати насоса при частоті обертання електродвигуна n_1 та

					ДП.АКІТ.8872457.00.00.000 ПЗ	Арк.
						17
Зм.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата		

n_2 відповідно;

P_1, P_2 – споживані потужності електродвигуна за тих же частот n_1 і n_2 .

Тобто зниження споживаної потужності пропорційно зниженню обертів двигуна в кубі. Приклад, наведений далі, показує, що навіть у системах з постійною витратою можна отримати ефект від застосування ПЧ.

З аналізу економічної ефективності, викладеного у літературі [6, 7] можна сформулювати основні висновки.

Загальне зниження споживання електроенергії при використанні перетворювачів частоти може досягати 50% навіть за ідеально підібраних насосів, що працюють на замкнуту мережу зі змінною витратою.

Для забезпечення максимального ефекту економії від застосування ПЛ необхідно попередньо провести обстеження та вивчення мережі. Зараз це досить просто – є переносні ультразвукові витратоміри, що дозволяють швидко та точно визначити фактичні характеристики мережі та насосний агрегат.

Після впровадження ПЧ на електродвигуні насосного агрегату необхідно наново проводити налаштування та регулювання роботи мережі для максимального зниження споживання електроенергії, інакше економічний ефект від впровадження ПЧ буде неповним.

Для оцінки економічної ефективності від застосування перетворювачів частоти в будь-якому випадку необхідно організувати установку приладів обліку електричної енергії та провести вимірювання електроспоживання до встановлення ПЧ та після його встановлення. Крім установки ПЧ потрібно провести всі необхідні регулювання та налаштування в роботу системи.

Далі наведено приблизний (без урахування різного роду втрат) розрахунок економії електроенергії при заміні існуючої СУ насосної станції подачі крижаної води на нову автоматизовану систему керування

					ДП.АКІТ.8872457.00.00.000 ПЗ	Арк.
						18
Зм.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата		

використанням автоматизованого частотно-регульованого електроприводу, керованого програмованим контролером.

На рисунку 1.5 представлено усереднений графік споживання електроенергії насосною станцією під час використання попередньої системи управління насосною станцією подачі крижаної води.

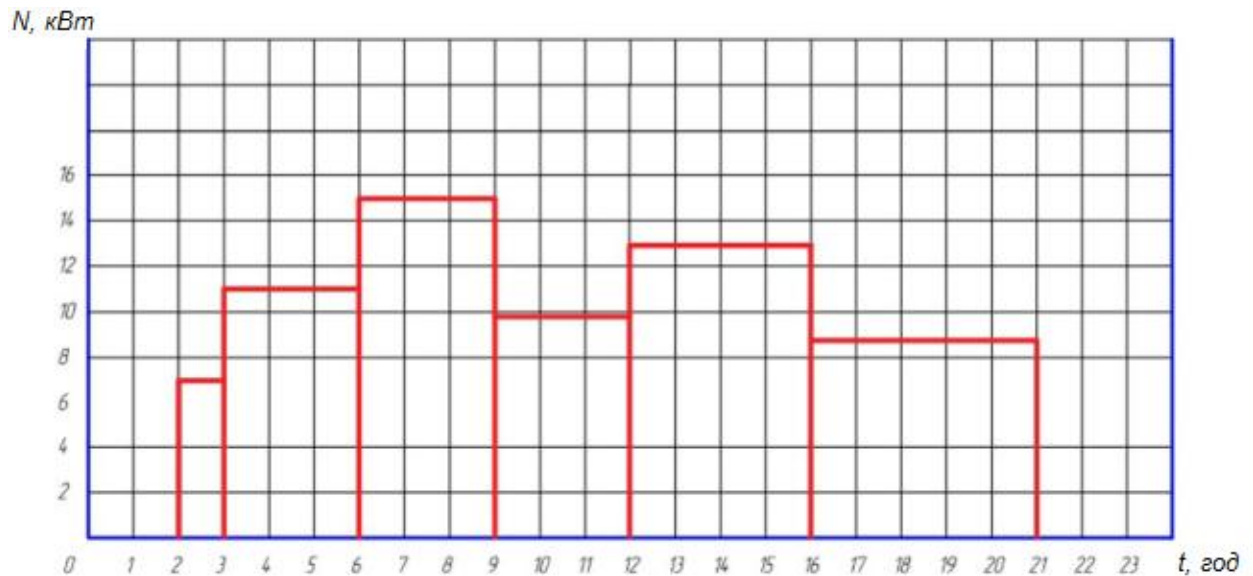


Рисунок 1.5 – Споживання електроенергії за існуючої системи керування насосною станцією подачі крижаної води.

1.3.1. Розрахунок витрати електроенергії протягом року під час використання існуючої системи управління насосної станцією подачі крижаної води.

Кількість електроенергії споживаної протягом року W_I (режим роботи підприємства цілодобовий без вихідних днів), визначимо за графіком рисунку 1.5

$$W_I = (7 \cdot 1 + 11 \cdot 3 + 15 \cdot 3 + 13 \cdot 4 + 9 \cdot 5) \cdot 365 = 77380 \text{ кВт} \cdot \text{год},$$

1.3.2. Розрахунок витрати електроенергії протягом року під час використання автоматизованої системи управління насосної станцією подачі крижаної води.

Із законів подібності насосів і співвідношення (1.1) випливає:

$$\frac{Q_1}{Q_2} = \frac{n_1}{n_2},$$

$$\frac{P_1}{P_2} = \frac{n_1^3}{n_2^3};$$

$$\frac{P_1}{P_2} = \frac{Q_1^3}{Q_2^3};$$

$$P_2 = \frac{P_1 \cdot Q_2^3}{Q_1^3}. \quad (1.2)$$

Усереднений графік роботи насосної станції протягом доби з використанням перетворювача частоти в запропонованій системі управління електроприводом представлений на рисунку 1.6.

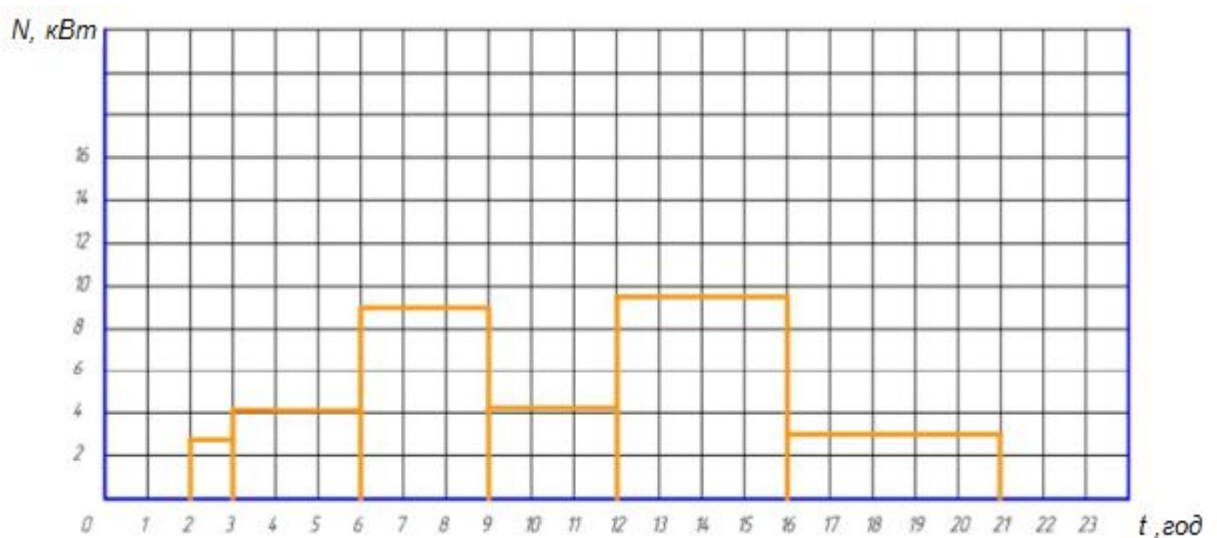


Рисунок 1.6 – Споживання електроенергії при новій автоматизованій системі управління.

Кількість електроенергії, що споживається протягом року при впровадженні автоматизованій системі керування насосної станції подачі крижаної води.

$$W_I = (3 + 12 + 27 + 12 + 38 + 15) \cdot 365 = 39055 \text{ кВт} \cdot \text{год}$$

Отже, економія енергії Δ за рік складає:

$$\Delta W = W_I - W_I = 77380 - 39055 = 38325 \text{ кВт} \cdot \text{год}.$$

При використанні автоматизованої системи управління насосною станцією подачі крижаної води на олокопереробному підприємстві АТ “ГК “РОСМОЛ” економія становитиме 50% витрати електроенергії в попередній системі управління.

1.4 Формування вимог до технологічного процесу подачі крижаної води при впровадженні АСУ

1.4.1 Функціональна схема технологічного процесу під час використання АСУ

Запропонована насосна станція також подає крижану воду з резервуару споживачам ділянки виробництва кисломолочної продукції молокопереробного підприємства, проте включає ще блок управління на основі програмованого логічного контролера (ПЛК), який забезпечує більш оптимальний режим роботи насосу.

Функціональна схема модернізованої насосної станції представлена рисунку 1.7. Вода з бака акумулятора льоду через впускні вентиля надходить у насос (7) чи насос (8). Контроль витрати у всмоктувальному трубопроводі здійснюється за допомогою витратоміра (2). Продуктивність насоса станції регулюється перетворювачем частоти за сигналами програмно-логічного контролера, що аналізує сигнали про споживачів відкритих для подачі крижаної води, що приходять із SCADA системи, встановленої на

					ДП.АКІТ.8872457.00.00.000 ПЗ	Арк.
						21
Зм.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата		

сигналами витратоміра регулювала продуктивність насоса залежно від включеного споживача.

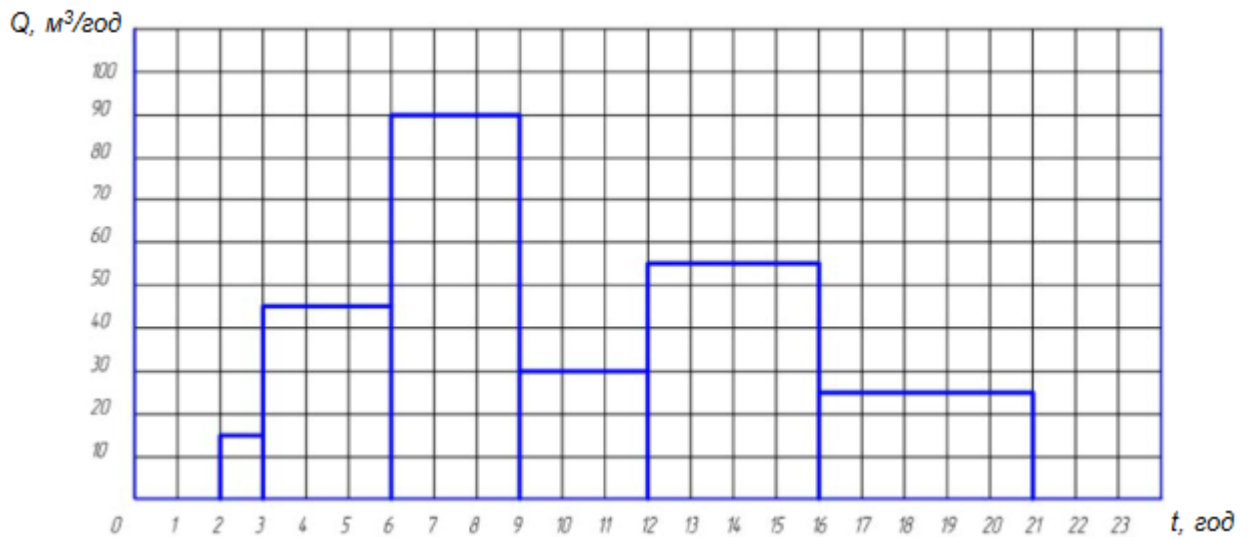


Рисунок 1.8 – Зміна витрати протягом доби із застосуванням запропонованої автоматизованої системи управління

На цій насосній станції встановлені насосні агрегати типу 1КМ - 100 80 160а в кількості двох штук, зовнішній вигляд представлений рисунку 1.9.



Рисунок 1.9 – Насосний агрегат типу 1КМ-100-80160а.

Насоси типу КМ – відцентрові, консольні, моноблочні, одноступінчасті з одностороннім підведенням рідини до робочого колеса, застосовуються на насосних станціях міського, промислового та сільського водопостачання –

для осушення, іригації та зрошення земельних угідь, для перекачування води та нейтральних рідин; у паливороздавальних системах автозаправних станцій (АЗС).

Консольний насос типу КМ, з погляду гідравліки, є типовим відцентровим насосом, робочим органом якого є відцентрове колесо. При обертанні колеса на кожен частинку рідини, що знаходиться всередині колеса, діє відцентрова сила, прямо пропорційна відстані частинки від центру колеса квадрату кутової швидкості обертання колеса. Під дією цієї сили рідина викидається в напірний трубопровід з робочого колеса, в результаті чого в центрі колеса створюється розрядження, а в його периферійній частині підвищений тиск. Рух рідини по всмоктувальному трубопроводу відбувається внаслідок різниці тисків над вільною поверхнею рідини в приймальному резервуарі та центральній області колеса, де є розрядження.

Номінальні параметри насосних агрегатів наведено у таблиці 1.2.

Таблиця 1.2 – Параметри насосних агрегатів

№ п/п	Параметри	Насос М1	Насос М2
1	Тип насоса	1КМ-100-80-160а	1КМ-100-80-160а
2	P_H , кВт	15	15
3	n_H , об/хв	2900	2900
4	$H_{ном}$, м	28	28
5	H , м	20 – 34	20 – 34
6	$Q_{ном}$, м ³ /год	90	90
7	Q , м ³ /год	50 – 120	50 – 120
8	Строк використання протягом року, год.	6552	6552

1.4.2 Вимоги до електроприводу та системи автоматики

На основі технічних характеристик автоматизованої системи управління сформульовано основні вимоги до системи електроприводів насосної станції:

- має бути забезпечена задана продуктивність механізмів
- при відкритті для споживання води споживачів, електропривод повинен змінювати продуктивність насосів, підтримуючи необхідну витрату в мережі;
- Автоматизована система управління електроприводами насосних агрегатів повинна забезпечувати необхідний діапазон регулювання;
- регулювання продуктивності насосів має бути плавним, щоб уникнути гідравлічних ударів у замкнутій мережі споживачів ділянки кисломолочної продукції
- економічність системи електроприводів має бути максимальною, що забезпечує мінімум капітальних витрат та мінімум витрат енергії;
- двигуни повинні витримувати короткочасні перевантаження;
- перетворювальні пристрої повинні мати такі пристрої захисту:
- захист від внутрішніх коротких замикань;
- максимально струмовий захист;
- захист від внутрішніх несправностей елементів схеми та невідповідності режимів;
- захист від «провалів» напруги;
- захист від струмів короткого замикання та від перевантаження;
- захист від перенапруг зовнішньої мережі, внутрішніх перенапруг;
- конструктивне виконання має враховувати підвищену вологість приміщення насосної станції.

Вимоги до системи автоматики:

- автоматична система управління повинна мати можливість перемикання з автоматичного на ручний режим роботи, необхідний при

					ДП.АКІТ.8872457.00.00.000 ПЗ	Арк.
						25
Зм.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата		

налагодженні, ремонті, усуненні аварійних ситуацій та ін;

– в автоматичному режимі система автоматики має керувати процесом роботи насосної станції, а також формувати сигнали при появі аварійної ситуації.

					ДП.АКІТ.8872457.00.00.000 ПЗ	Арк.
						26
Зм.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата		

2. СИЛОВЕ ОБЛАДНАННЯ УСТАНОВКИ ПОДАЧІ КРИЖАНОЇ ВОДИ

2.1 Обґрунтування вибору електроприводу та типу струму

Основним видом регульованого електроприводу в даний час є електропривод постійного струму. Разом з тим, в останнє десятиліття поширюється застосування регульованих електроприводів змінного струму, які мають ряд певних переваг.

Насамперед, електроприводи на основі безконтактних електродвигунів змінного струму виявляються вигіднішими у експлуатації. Відсутність колектора і щітково-контактного вузла, який потребує постійної уваги, дозволяє різко знизити обсяги та періодичність, отже, і вартість технічного обслуговування електроприводів змінного струму.

Безконтактне виконання електродвигунів змінного струму дозволяє безперешкодно та ефективно застосовувати їх у випадках, коли використання електродвигунів постійного струму практично неможливо через важкі умови роботи (металургія, транспортні засоби).

Також електродвигуни змінного струму мають меншу вартість, ніж електродвигун постійного струму. Колектор електричних машин постійного струму містить багато мідних пластин, розділених прошарками слюди і потребує ретельного виготовлення. Електричні машини змінного струму мають простішу конструкцію та технологію виготовлення. Наприклад, асинхронні короткозамкнуті електродвигуни, що часто виконуються з алюмінієвою литою обмоткою на роторі, яка не ізолюється від пластин сердечника ротора. Такий двигун має малий момент інерції ротора може довго працювати при підвищених температурах і кутових швидкостях обертання .

					ДП.АКІТ.8872457.00.00.000 ПЗ	Арк.
						27
Зм.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата		

При проектуванні електродвигунів постійного струму доводиться враховувати обмеження щодо допустимого струму та напруги на якорі. В результаті неможливо виконати електричні машини постійного струму вище так званої граничної потужності. В електричних машинах змінного струму ці обмеження відсутні, що дозволяє мати агрегати великої одиничної потужності, на прокатних станах перейти від дорогих двох і триякорних електричних машин до одноякорних, на екскаваторах домогтися великих прискорень при раптовому стопоренні ковша, металообробці одержати надвисоку чистоту поверхні до 50...100 тисяч об/хв. [16].

Вибір роду струму та типу електроприводу доцільно проводити на основі розгляду та порівняння техніко-економічних показників низки варіантів, що задовольняють технічним вимогам даної робочої машини.

На підставі вихідних даних і вимог, що висуваються до електроприводу, необхідно вибрати варіант електроприводу, здатний повністю виконати вимоги і одночасно бути максимально економічним.

У навчальній літературі рекомендують розпочинати процес вибору роду струму з двигуна змінного струму [16].

Двигуни змінного струму простіші за конструкцією, вартість їх нижча, обслуговування теж вимагає менших витрат.

Для регульованого приводу завдання вибору типу приводу вирішується складніше. Залежно від діапазону та плавності регулювання швидкості, вимог до якості перехідних процесів можуть бути застосовані як системи реостатного регулювання швидкості, так і системи з індивідуальними перетворювачами [17].

Конкурентними по відношенню до двигунів змінного струму за своїми властивостями є приводи з частотним та частотно-струмовим керуванням.

Переваги приводів з асинхронними двигунами: простота конструкції та підвищена надійність двигунів, можливість їх виготовлення у поточному виробництві.

					ДП.АКІТ.8872457.00.00.000 ПЗ	Арк.
						28
Зм.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата		

Існуючий асинхронний електродвигун задовольняє початковим умовам вибору роду струму та типу електродвигуна. Асинхронний двигун з краново-металургійної серії на змінному струмі повинен підходити для приводу насосної установки, так як повністю задовольняє вимогам до електроприводу в даному технологічному процесі [17].

На насосних агрегатах типу 1КМ-100-80-160а встановлені асинхронні електродвигуни серії А типу АІР160-2Ж-15 .

Параметри електродвигунів наведено у таблиці 2.1.

Таблиця 2.1 – Параметри електродвигуна АІР160-2Ж

№ п/п	Параметр	Одиниці вимірювання	Двигун М1	Двигун М2
1	$U_{ном}$	<i>В</i>	380	380
	$P_{ном}$	<i>кВт</i>	15	15
	$n_{ном}$	<i>об/хв</i>	2900	2900
	$I_{1 ном}$	<i>А</i>	30	30
	$\cos\varphi$	—	0.86	0.86
	$\frac{M_{max}}{M_{ном}}$	<i>Н·м</i>	3.2	3.2
	$f_{ном}$	<i>Гц</i>	50	50
	$J_{ДВ}$	<i>кг·м²</i>	0.05	0.05

Основним принципом системи керування електроприводами є регулювання продуктивності залежно від витрати води у мережі споживачів. На основі цього здійснюється вибір обладнання.

Розрахуємо продуктивність електродвигуна АІР160-2Ж під час роботи насосної станції, користуючись законами подібності насосів [17].

$$\frac{H_1}{H_2} = \frac{n_1^2}{n_2^2}, \quad \frac{Q_1}{Q_2} = \frac{n_1}{n_2}, \quad \frac{P_1}{P_2} = \frac{Q_1^3}{Q_2^3}. \quad (2.1)$$

Із законів подібності насосів (співвідношення 1.3) випливає:

$$\frac{n_1}{n_2} = \frac{\sqrt{H_1}}{\sqrt{H_2}}, \quad \frac{Q_1}{Q_2} = \frac{\sqrt{H_1}}{\sqrt{H_2}}, \quad Q_2 = \frac{Q_1 \cdot \sqrt{H_2}}{\sqrt{H_1}}$$

Продуктивність електродвигуна АІР160 2Ж при роботі насосної станції:

$$Q = \frac{Q_{max} \cdot \sqrt{H_2}}{\sqrt{H_1}}$$

Це означає, що споживана потужність відцентрового насоса залежить від оборотів робочого колеса насоса. Для розрахунку потужності насоса необхідну для забезпечення продуктивності насоса Q_{max} при витраті води H_{max} справедлива формула:

$$P_{ДВ} = \frac{K \cdot \gamma \cdot Q_{max} \cdot H_{max}}{A \cdot \eta_{нас} \cdot \eta_{пер}}$$

де $K = 1,2$ – коефіцієнт запасу;

$\gamma = 9810 \text{ Н/м}^3$ – питома вага рідини, що перекачується, для крижаної води дорівнює

A – коефіцієнт;

$\eta_{пер} = 1$ – ККД передачі для безпосереднього з'єднання насоса з двигуном;

$\eta_{нас} = 0,65$ – ККД насоса (таблиця 1.2)

З формули розрахунку потужності насоса випливає:

$$Q_{max} = \frac{P_1 \cdot A \cdot \eta_{нас} \cdot \eta_{пер}}{K \cdot \gamma \cdot H_{max}} \cdot 3600 = \frac{15 \cdot 1000 \cdot 0,73 \cdot 1}{1,2 \cdot 9810 \cdot 34} \cdot 3600 = 119,6 \text{ м}^3 / \text{год}$$

					ДП.АКІТ.8872457.00.00.000 ПЗ	Арк.
						30
Зм.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата		

Продуктивність електродвигуна M1(M2) під час роботи насосної станції:

$$Q = \frac{Q_{max} \cdot \sqrt{H_2}}{\sqrt{H_1}} = \frac{119.6 \cdot \sqrt{28}}{\sqrt{34}} = 109,4 \text{ м}^3 / \text{год}$$

Закони подібності насосів виражаються такими співвідношеннями:

$$\frac{Q_1}{Q_2} = \frac{n_1}{n_2}; \quad \frac{M_1}{M_2} = \frac{n_1^2}{n_2^2}; \quad (2.2)$$

З законів подібності насосів (співвідношення 7) номінальна швидкість обертання електродвигуна AIP160 2Ж:

$$\omega_{ном} = \frac{2 \cdot \pi \cdot n_{ном}}{60} = \frac{2 \cdot 3,14 \cdot 2900}{60} = 3035 \text{ рад/с}$$

Швидкість обертання електродвигуна AIP160 2Ж під час роботи насосної станції:

$$\frac{\omega_{ном}}{\omega} = \frac{Q_{мзх}}{Q};$$

$$\omega = \frac{\omega_{ном} \cdot Q}{Q_{мзх}} = \frac{3035 \cdot 90}{119.6} = 2283 \text{ рад/с}$$

Момент електродвигуна AIP160 2Ж під час роботи насосної станції:

$$M = \frac{P_2}{\omega} = \frac{3700}{2283} = 16.2 \text{ Н} \cdot \text{м}.$$

2.2 Обґрунтування вибору перетворювача частоти Electric Altiva-312

Переваги використання частотних перетворювачів [17]:

1) плавне регулювання швидкості обертання валу електродвигуна, що дозволяє відмовитися від використання редукторів, варіаторів, дроселів та іншої регулюючої апаратури, що значно спрощує механічну систему, підвищує ступінь її надійності та знижує витрати на експлуатацію;

					ДП.АКІТ.8872457.00.00.000 ПЗ	Арк.
						31
Зм.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата		

2) при підключенні через частотний перетворювач запуск двигуна відбувається плавно, без пускових струмів та ударів, що знижує навантаження на електродвигун та механіку, збільшує термін їх використання;

3) застосування частотних перетворювачів із зворотним зв'язком забезпечує точну підтримку швидкості обертання валу електродвигуна при змінному навантаженні, що у багатьох завданнях дозволяє значно підвищити якість технологічного процесу;

4) для мережі живлення перетворювач є суто активним навантаженням і споживає таке значення енергії, яке потрібно для виконання механічної роботи (з урахуванням ККД ПЧ і електродвигуна);

5) частотний перетворювач в комплексі з асинхронним електродвигуном може бути застосований для заміни приводів постійного струму;

6) в цьому випадку значно знижуються експлуатаційні витрати, зростає перевантажувальна здатність, відповідно і надійність системи автоматизації.

7) застосування частотно регульованого електроприводу дозволяє берегти енергію шляхом ліквідації непродуктивних витрат енергії в дросельних заслінках, механічних муфтах та інших пристроях, що регулюють. При цьому економія прямо пропорційна непродуктивним витратам.

Вибір типу перетворювача залежить від частоти мережі живлення, потрібного діапазону зміни частоти на виході перетворювача, що визначається діапазону зміни швидкості обертання двигуна, від потужності електродвигуна, діапазону зміни навантаження на валу двигуна, наявності та відсутності реверсу, режимів роботи двигуна .

При вихідних частота 50 Гц і нижче або вище за 50 Гц використовуються перетворювачі з автономними інверторами напруги (АІН) або струму (АІС).

					ДП.АКІТ.8872457.00.00.000 ПЗ	Арк.
						32
Зм.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата		

Застосування АІТ доцільно у приводах, що працюють з підтримкою заданої величини моменту. У нашому випадку використовуватимемо перетворювач з АІН.

Вибір перетворювача здійснювався за довідниками, каталогами електротехнічної промисловості на основі номінальних даних попередньо обраного двигуна:

$$\begin{cases} U_{ПЧ} \geq U_{НЛ}, \\ I_{ПЧ} \geq I_{НЛ}, \end{cases} \quad (2.3)$$

де $U_{ПЧ}$, $I_{ПЧ}$, – номінальна лінійна напруга та струм навантаження перетворювача частоти;

$U_{НЛ}$, $I_{НЛ}$ – номінальна лінійна напруга та фазний струм статора двигуна.

Відповідно до згаданих вимог, вибираємо перетворювач частоти фірми Schneider Electric моделі Altiva-312. Загальний вид перетворювача представлений рисунку 2.1.



Рисунок 2.1 – Загальний вигляд перетворювача частоти Schneider Electric Altiva-312.

Технічні характеристики перетворювача наведено у таблиці 2.2.

					ДП.АКІТ.8872457.00.00.000 ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата		33

Таблиця 2.2 – Технічні характеристики перетворювача Electric Altiva-312

Найменування параметра	Значення параметра
1	2
Потужність	15 кВт
Номинальний струм	41 А
Напруга і частота живлення	380 В, 50/60 Гц
Діапазон частот керуючої напруги	0.1 – 400 Гц
Крок зміни частоти керуючої напруги	0.01 Гц
Робоча частота перетворення	2.5 – 10 кГц
Допустима похибка номінальної напруги	15%, + 10%
Коефіцієнт потужності ($\cos\varphi$)	$\geq 0,9$
ККД	96 – 97 %
Таймер розгону/гальмування	0.1 – 6000 с
Степінь захисту	IP20
Робоча температура	-10 °С до +40 °С
Температура зберігання	-40 °С до +70 °С
Основні функції управління	Вибір залежності; вибір часу прискорення/уповільнення; вибір <u>задатчиків</u> інтенсивності; вибір діапазону вихідної частоти; вибір функції <u>термозахисту</u> ; вибір режиму зупинки під час перегріву; вибір функцій послідовного входу/виходу; вибір функцій <u>задатчика частоти</u> ; вибір функції аналогового монітора; пошук швидкості; перезапуск при помилці; сумарне час роботи; динамічний гальмування; запобігання перекидання; визначення навантаження; функція таймера; визначення <u>пропадання фази</u> на вході/виході; ПІ регулювання; режим енергозберігаючого регулювання.

Зм.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата

ДП.АКІТ.8872457.00.00.000 ПЗ

Арк.

34

Частотний перетворювач забезпечує повний електронний захист перетворювача та двигуна від перевантажень по струму, перегріву, витоку на землю та обриву фази [18]. Перетворювач дозволяє відстежувати та відображати на цифровому пульті основні параметри системи на задану швидкість, вихідну частоту, струм та напругу двигуна, вихідну потужність та момент, стан дискретних входів, загальний час роботи перетворювача тощо.

Залежно від характеру навантаження можна вибрати відповідну характеристику або створити власну. Керувати частотним перетворювачем можна або із вбудованої цифрової панелі, або за допомогою зовнішніх сигналів. У другому випадку швидкість обертання задається аналоговим сигналом 0 – 10 або 4 – 20 мА, а команди пуску, зупинки і зміни режимів подаються дискретними сигналами. Існує можливість управління перетворювачем через послідовний інтерфейс (RS 422 та RS 485) з використанням спеціального протоколу. Частотний перетворювач дозволяє регулювати вихідну частоту від 0 до 400 Гц.

Розгін та гальмування двигуна здійснюється плавно (за лінійним законом), час розгону та гальмування можна налаштовувати в межах від 0.1 сек до 30 хв. Можливий плавний реверс двигуна. При розгоні відбувається автоматичне посилення моменту для компенсації інерційного навантаження;

Момент при пуску досягає 150% від номінального [19].

2.3 Розрахунок параметрів характеристики електроприводу

Природна механічна характеристика розраховується на підставі каталожних даних двигуна М1 (М2) (таблиця 3. Для розрахунку природної механічної характеристики скористаємося спрощеною формулою Клоса [19].

					ДП.АКІТ.8872457.00.00.000 ПЗ	Арк.
						35
Зм.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата		

$$M = \frac{2 \cdot M_k}{\frac{s}{s_k} + \frac{s_k}{s}}, \quad (2.4)$$

де M_k – критичний (максимальний) момент двигуна

s_k – ковзання у точці з критичним моментом.

Номінальний момент двигуна:

$$M_{ном} = \frac{P_{ном}}{\omega_{ном}} = \frac{15000}{307,7} = 48,7 \text{ Н} \cdot \text{м}.$$

За каталожними даними двигуна (таблиця 3) розрахуємо критичний (максимальний) момент:

$$\frac{M_{max}}{M_{ном}} \mu_k = 3,2;$$

$$M_{max} = 3,2 \cdot M_{ном} = 3,2 \cdot 48,7 = 155,84 \text{ Н} \cdot \text{м}.$$

Номінальна синхронна швидкість:

$$\omega_{он} = \frac{2 \cdot \pi \cdot f_{ном}}{p} = \frac{2 \cdot 3,1415 \cdot 50}{1} = 314 \text{ рад/с}$$

Номінальне ковзання:

$$s_{ном} = \frac{\omega_{он} - \omega_{ном}}{\omega_{он}} = \frac{314 - 307,7}{314} = 0,021.$$

Ковзання в точці з критичним моментом ($\mu_k = 3,2$):

$$s_k = s_{ном} \cdot (\mu_k - \sqrt{\mu_k^2 - 1}) = 0,021 \cdot (3,2 - \sqrt{3,2^2 - 1}) = 0,132$$

					ДП.АКІТ.8872457.00.00.000 ПЗ	Арк.
						36
Зм.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата		

Природна механічна характеристика двигуна М1 (М2) побудована на рисунку 2.2.

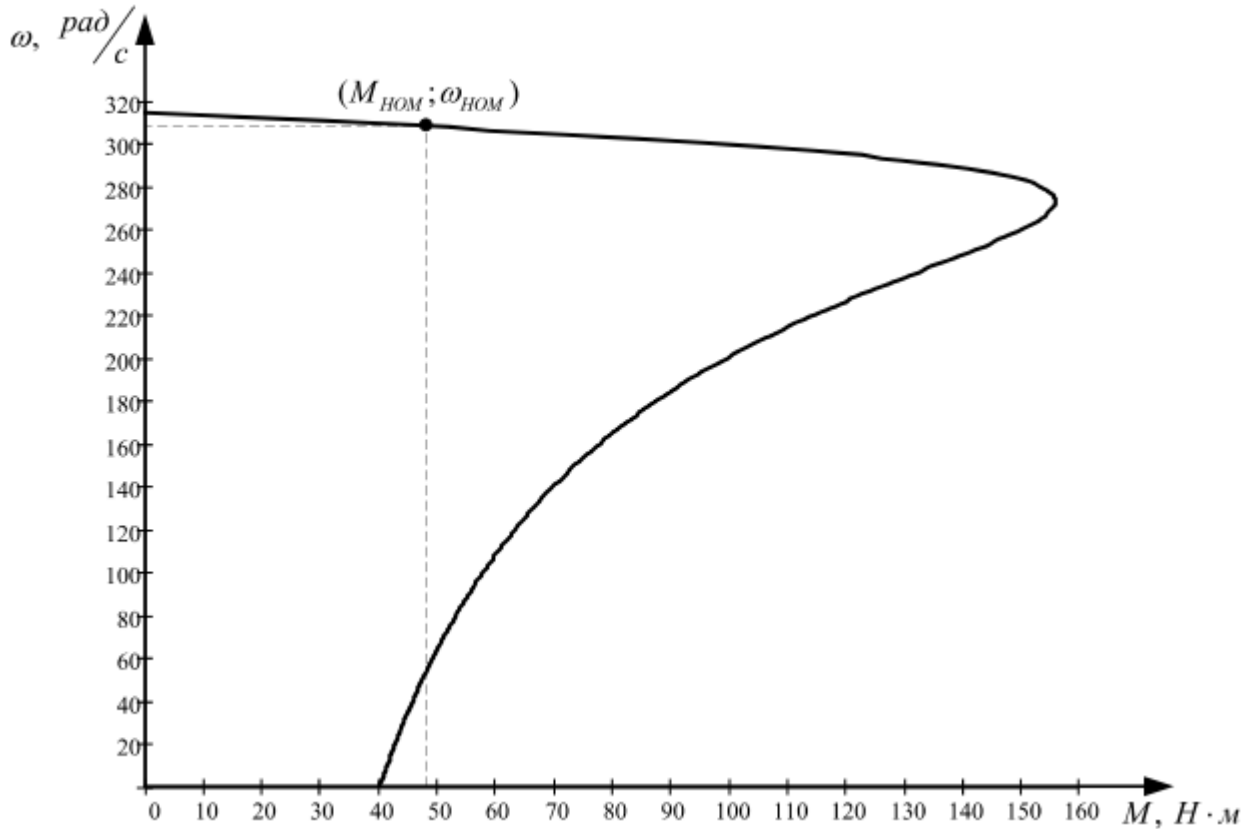


Рисунок 2.2 – Природна механічна характеристика двигуна М1 (М2)

2.4 Розрахунок параметрів частотного регулювання навантаження на насос та налаштування перетворювача частоти

При виборі співвідношення між U_1 та f_1 при регулюванні найчастіше виходять із умови забезпечення перевантажувальної здатності двигуна [20]

$$\mu_k = \frac{M_k}{M_c} = const$$

Для будь-якої з механічних характеристик критичний момент двигуна визначається за відомим співвідношенням:

					ДП.АКІТ.8872457.00.00.000 ПЗ	Арк.
						37
Зм.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата		

$$M_k = \frac{3 \cdot U_1^2}{2 \cdot \omega_0 \cdot (r_1 \pm \sqrt{r_1^2 - x_k^2})} \quad (2.5)$$

Можна прийняти $r_1 = 0$ (для двигунів великої та середньої потужності $r_k = 0,1 \dots 0,15 \cdot x_k$), тоді формула 11 набуває вигляду:

$$M_k = \frac{3 \cdot U_1^2}{2 \cdot \omega_0 \cdot x_k} \equiv \frac{U_1^2}{f_1^2} = const. \quad (2.6)$$

Усі прийняті припущення вносять певну похибку до розрахунків. Однак розраховані за наведеними вище формулами характеристики АТ близькі до досвідчених і є задовільними для практичних цілей.

Для будь-якої частоти джерела живлення під час перевантаження здатність:

$$\mu_k(f_{1j}) = \frac{M_{Kj}}{M_c(\omega_j)} \equiv \frac{U_{1j}^2}{f_{1ном}^2 \cdot M_{ном}} = const. \quad (2.7)$$

Тоді:

$$\frac{U_{1j}^2}{f_{1j}^2 \cdot M_c(\omega_j)} = \frac{U_{1k}^2}{f_{1k}^2 \cdot M_c(\omega_k)} = \frac{U_{1ном}^2}{f_{1ном}^2 \cdot M_c(\omega_{ном})} = const. \quad (2.8)$$

Звідси можна записати основний закон регулювання напруги при зміні статичного моменту при частотному регулюванні

$$\frac{U_1}{U_{1ном}} = \frac{f_1}{f_{1ном}} \cdot \sqrt{\frac{M_c(\omega)}{M_{ном}}} \quad (2.9)$$

Таким чином, закон регулювання амплітуди напруги U_1 визначається як його частотою f_1 , а й характером зміни статичного моменту M_c , який

					ДП.АКІТ.8872457.00.00.000 ПЗ	Арк.
						38
Зм.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата		

може бути різний.

Найчастіше статичний момент залежить від швидкості:

$$M_c = f(\omega).$$

Навантаження на вал відцентрового насоса характеризується властивостями ідеального вентиляторного навантаження. Для ідеального вентиляторного навантаження статичний момент змінюється згідно із законом:

$$M_c = M_{ном} \cdot \left(\frac{\omega}{\omega_{ном}} \right)^2, \quad \omega = \frac{2\pi \cdot f_1}{p}. \quad (2.10)$$

Тоді з (15) і (16) слідує шуканий закон частотного регулювання U/f для насосного навантаження

$$\frac{U_1}{f_1^2} = \frac{U_{1ном}}{f_{1ном}} = C = const. \quad (2.11)$$

Сімейство механічних характеристик при законі регулювання $\frac{U_1}{f_1^2} = const$ в якісному вигляді представлено рисунку 2.3.

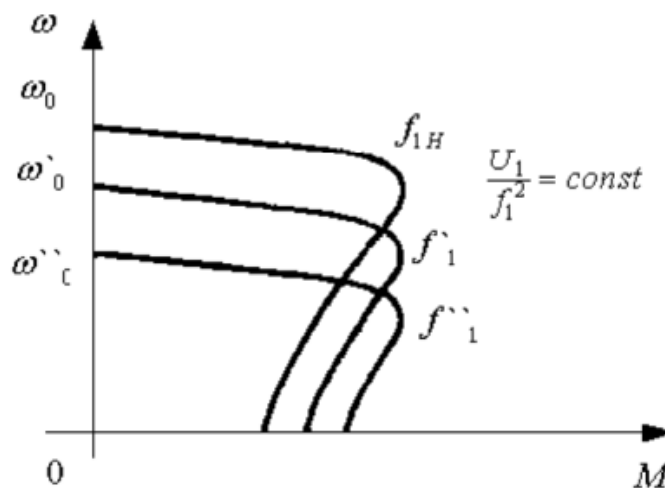


Рисунок 2.3 – Механічні характеристики закону регулювання $\frac{U_1}{f_1^2} = const$ для

різних частот $f_{1ном} > f_1' > f_1''$

З (2.11) з урахуванням номінальних даних двигуна (таблиця 1.1) впливає:

$$C = \frac{U_{1ном}}{f_{1ном}^2} = \frac{220}{50^2} = 0,088 \frac{В}{Гц^2}. \quad (2.12)$$

Запишемо рівняння механічної характеристики насоса (15) у числовому вигляді.

Перепишемо (2.10)

$$M_c = \frac{M_{ном}}{\omega_{ном}^2} \cdot \omega^2. \quad (2.13)$$

Врахуємо, що:

$$M_{ном} = \frac{P_{ном}}{\omega_{ном}}. \quad (2.14)$$

Тоді з (19) та (20) з урахуванням даних таблиці 1.1 маємо:

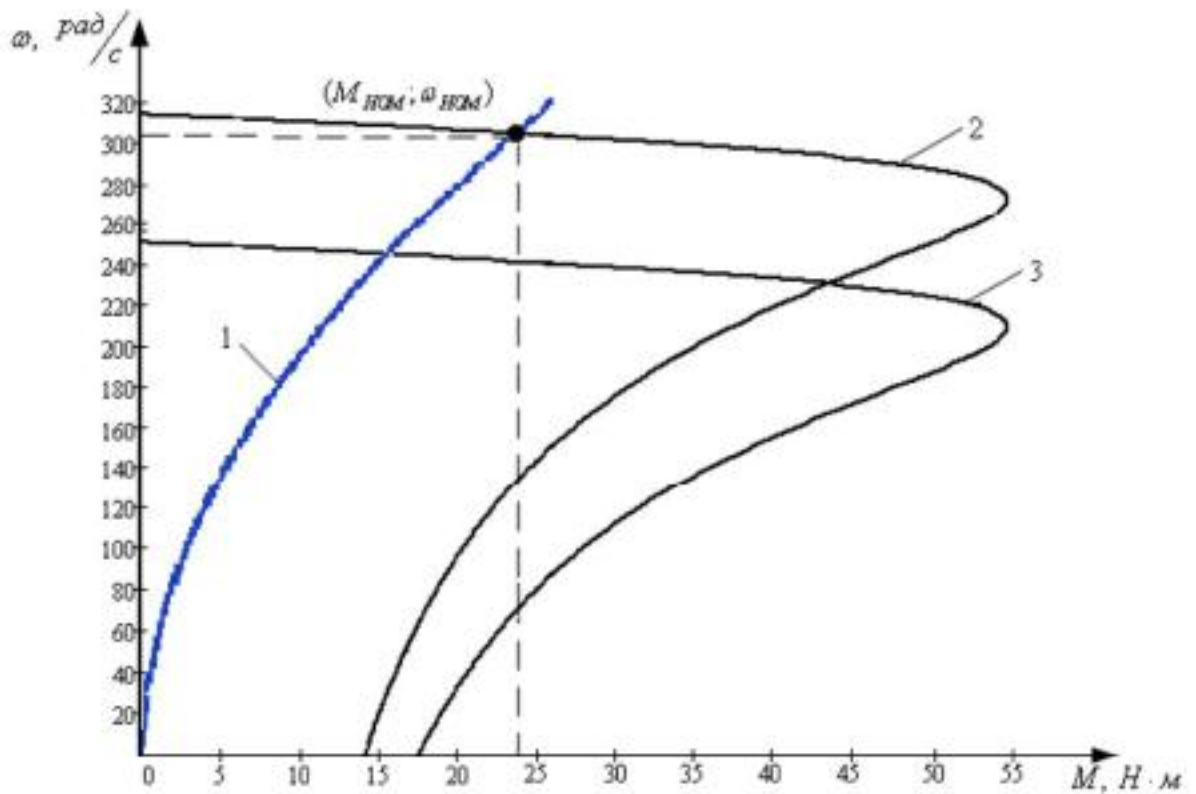
$$M_c = \frac{M_{ном}}{\omega_{ном}^2} \cdot \omega^2 = \frac{P_{ном} \cdot 60^3}{(2\pi)^3 \cdot n_{ном}^3} \cdot \omega^2 = \frac{15000 \cdot 60^3}{(2\pi)^3 \cdot 2900^3} \cdot \omega^2 = 2,7 \cdot 10^{-4} \cdot \omega^2 \text{ Н} \cdot \text{м} \quad (2.15)$$

За виразом (21) побудована механічна характеристика насоса та двигунів з сімейств МХ і АТ та представлені на рисунку 2.4.

Схема підключення частотного перетворювача показано рисунку 2.5.

Опис силових клем наведено у таблиці 2.3. Огляд параметрів наведено у таблиці 2.4.

					ДП.АКІТ.8872457.00.00.000 ПЗ	Арк.
						40
Зм.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата		



1 – Механічна характеристика насоса.

2 – Природна механічна характеристика двигуна М1 (М2).

3 – Штучна механічна характеристика двигуна М1 (М2).

Рисунок 2.4 – Криві навантаження та механічні характеристики насоса та двигуна.

Таблиця 2.3 – Опис силових клем частотного перетворювача

Позначення	Функції
R/L1	Вхід мережі змінного струму 3 фази 380~460 для приладів класу 380В
S/L2	
T/L3	
U/T1	Підключення трьохфазного двигуна
V/T2	
W/T3	

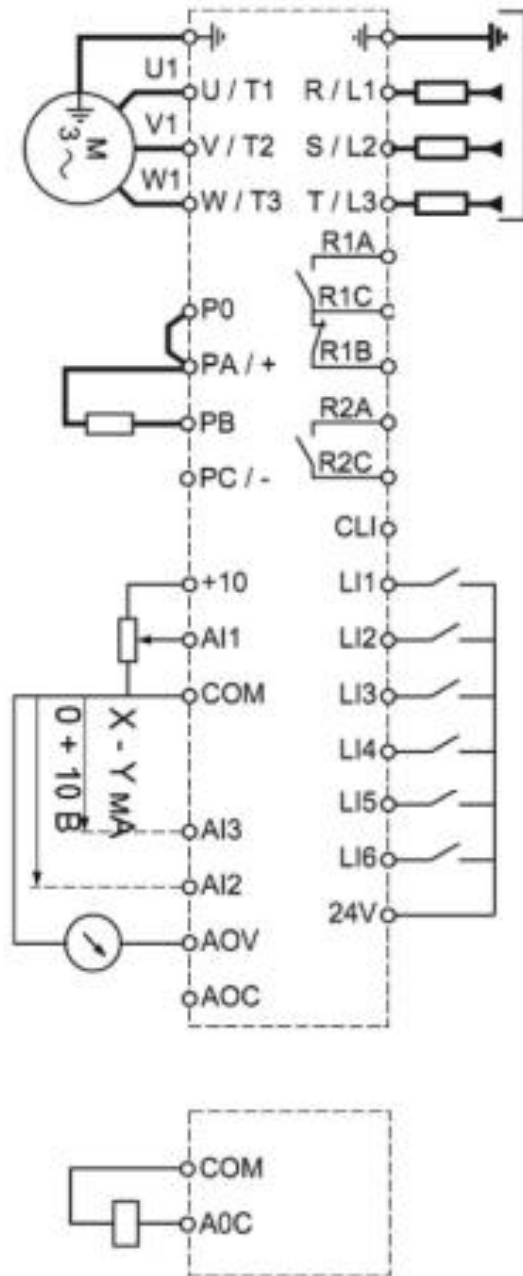


Рисунок 2.5 – Схема підключення частотного перетворювача

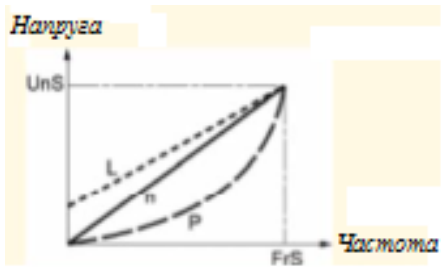
Мережа живлення підключається до клем R/L1, S/L2 і T/L3. Послідовність підключення фаз значення не має. Помилкове підключення мережі до клем U/T1, V/T2 та W/T3 призведе до виходу перетворювача з ладу. Двигун підключаємо до клем U/T1, V/T2 та W/T3.

Таблиця 2.4 – Позначення та характеристика параметрів частотного перетворювача

Код	Функція
bfr	F стандартна двигуна
tcc	2/3 провідне управління
lfr	Завдання швидкості з терміналу
frh	Задання частоти
rpi	Внутрішнє завдання ПІ
dec	Час гальмування
acc	Час розгону
lsp	нижня швидкість
hsp	Верхня швидкість
ith	Тепловий струм двигуна
sta	Стійкість контуру
flg	Коефіцієнт контуру
ftd	Уставка частоти
slp	Компенсація ковзання
ttd	Уставка нагрівання двигуна
ctd	Уставка струму
uns	Номінальна напруга двигуна
frs	Номінальний двигун
ncr	Номінальний струм двигуна
nsp	Номінальна швидкість двигуна
cos	Cos Phi двигуна
rsc	Опір статора
tun	Автопідстроювання
uft	Вибір U/F двигуна
fcs	Заводське налаштування
lac	Рівень доступу

Вибір структури електроприводу, параметри частотного перетворювача, встановлення законів регулювання представлені у таблиці 2.5.

Таблиця 2.5 – Параметри частотного перетворювача, що формують структуру електроприводу

Параметр	Значення	Функція параметру
Вибір режиму роботи		
bfr	50 Гц	f стандартна частота двигуна
acc	3 с	Час розгону
dec	3 с	Час гальмування
ith	30 А	Тепловий струм двигуна
flg	20%	Коефіцієнт контуру
uns	380 В	Номінальна напруга двигуна
frs	50 Гц	Номінальна двигуні
ncr	30 А	Номінальний струм двигуна
nsp	2900	Номінальна швидкість двигуна
cos	0,86	Cos Phi двигуна
ufr	P, змінний момент навантаження електроприводу насоса	Вибір U/F двигуна 
flr	all	Канал задання частоти
do	Run	Дискретний вихід, сигнал ПЧ працює

Зм.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата

3 РОЗРОБКА АВТОМАТИЗОВАНОЇ СИТЕМИ УПРАВЛІННЯ НАСОСНОЮ СТАНЦІЄЮ ПОДАЧІ ЛЬОДЯНОЇ ВОДИ

3.1 Загальна структура та функціональна схема АСУ ТП насосної станції подачі крижаної води

За умовою поставленого завдання проектування автоматизованої системи управління насосна станція має працювати у двох режимах:

Автоматичний режим керування. Завдання на керуючі команди надходять із системи на ПЛК, встановленої на автоматизованому робочому місці (АРМ) оператора.

Ручний режим керування (режим наладчика). Необхідний лише при налагодженні, ремонті або усуненні аварійних ситуацій. Управління здійснюється із сенсорної панелі 700, розташованої на шафі АСУТП.

Система АСУ ТП - це автоматизована людино-машина система управління, призначена для автоматизації технологічних процесів на виробництві. Вона служить для вироблення та реалізації керуючих впливів на об'єкти управління. Система включає засоби автоматизації та оперативний персонал (операторів, диспетчерів). Термін "автоматизована" на відміну від терміна "автоматична" наголошує на можливості участі людини в окремих операціях для збереження людського контролю над процесом і для зменшення ускладнення системи управління [21-22].

В АСУ ТП входять:

- типові елементи автоматики: датчики, контролери, промислові комп'ютери, виконавчі пристрої та ін. для безпосереднього керування технологічним об'єктом;
- єдина система операторського управління технологічним процесом як одного чи кількох пультів управління (комп'ютерів);
- засоби обробки та архівування інформації про перебіг процесу;

					ДП.АКІТ.8872457.00.00.000 ПЗ	Арк.
						45
Зм.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата		

– промислові мережі для інформаційного зв'язку всіх систем.
 Загальна структурна схема АСУ ТП представлена на рисунку 3.1

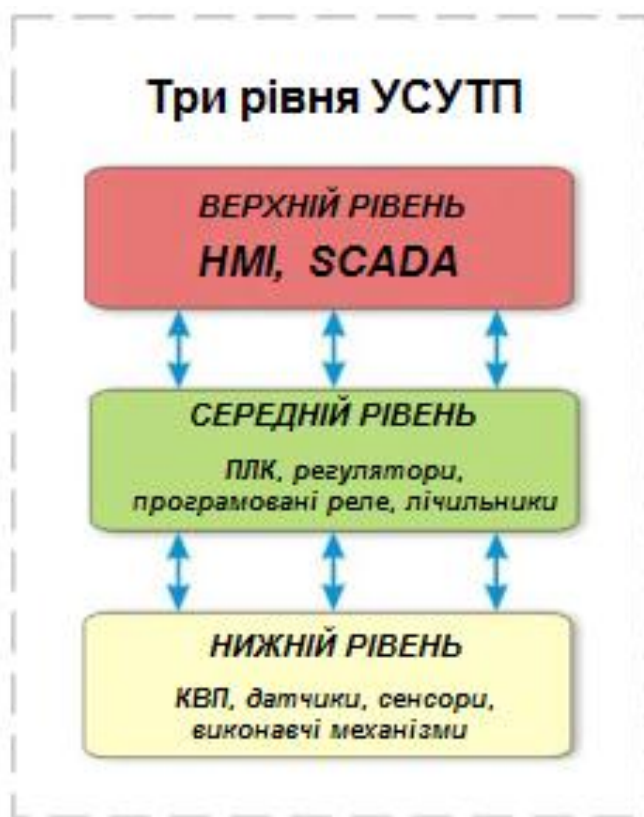


Рисунок 3.1 – Структурна схема АСУ ТП

Нижній рівень – рівень обладнання (входів/виходів Input/Output-level). Це рівень датчиків, вимірювальних пристроїв, що контролюють керовані параметри, а також виконавчих пристроїв, що впливають на ці параметри процесу, для приведення їх у відповідність із завданнями. На цьому рівні здійснюється узгодження сигналів датчиків з входами пристрою управління, а команд – з виконавчими пристроями [23].

Середній рівень – рівень керування обладнанням. Це рівень контролерів (ПЛК – PLC, Programmable Logic Controller). ПЛК отримує інформацію з контрольно-вимірювального обладнання та датчиків про стан технологічного процесу та видає команди управління, відповідно до запрограмованого алгоритму управління, на виконавчі механізми.

Верхній рівень – рівень промислового сервера, мережного обладнання, рівень операторських та диспетчерських станцій. На цьому рівні йде контроль ходу виробництва: забезпечується зв'язок із нижніми рівнями, звідки здійснюється збір даних, візуалізація та диспетчеризація (моніторинг) ходу технологічного процесу. Це рівень HMI, SCADA [25].

У цьому рівні задіяний людина, тобто. оператор (диспетчер). Він здійснює локальний контроль технологічного обладнання через так званий людино-машинний інтерфейс (HMI – Human Machine Interface). До нього відносяться: монітори, графічні панелі, які встановлюються локально на пультах управління та шафах автоматики. Для здійснення контролю за розподіленою системою машин, механізмів та агрегатів застосовується SCADA (Supervisory Control And Data Acquisition – диспетчерське управління та збір даних) система. Ця система є програмним забезпеченням, яке налаштовується і встановлюється на диспетчерських комп'ютерах. Вона забезпечує збирання, архівацію, візуалізацію, найважливіших даних від ПЛК. При отриманні даних система самостійно порівнює їх із заданими значеннями керованих параметрів (уставками) і при відхиленні від завдання повідомляє оператора за допомогою тривоги (Alarms) дозволяючи йому вжити необхідних дій.

При цьому система записує все, що відбувається, включаючи дії оператора, забезпечуючи контроль дій оператора у разі аварії або іншої позаштатної ситуації. Таким чином, забезпечується персональна відповідальність оператора, що управляє процесом.

На основі опису технологічного процесу, вимог що пред'являються до електроприводу, з урахуванням обраного силового обладнання, та опису структури АСУ ТП у пунктах 2.1 та 2.2 складено функціональну схему АСУ ТП насосної станції подачі крижаної води, представлену на рисунку 3.2.

					ДП.АКІТ.8872457.00.00.000 ПЗ	Арк.
						47
Зм.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата		

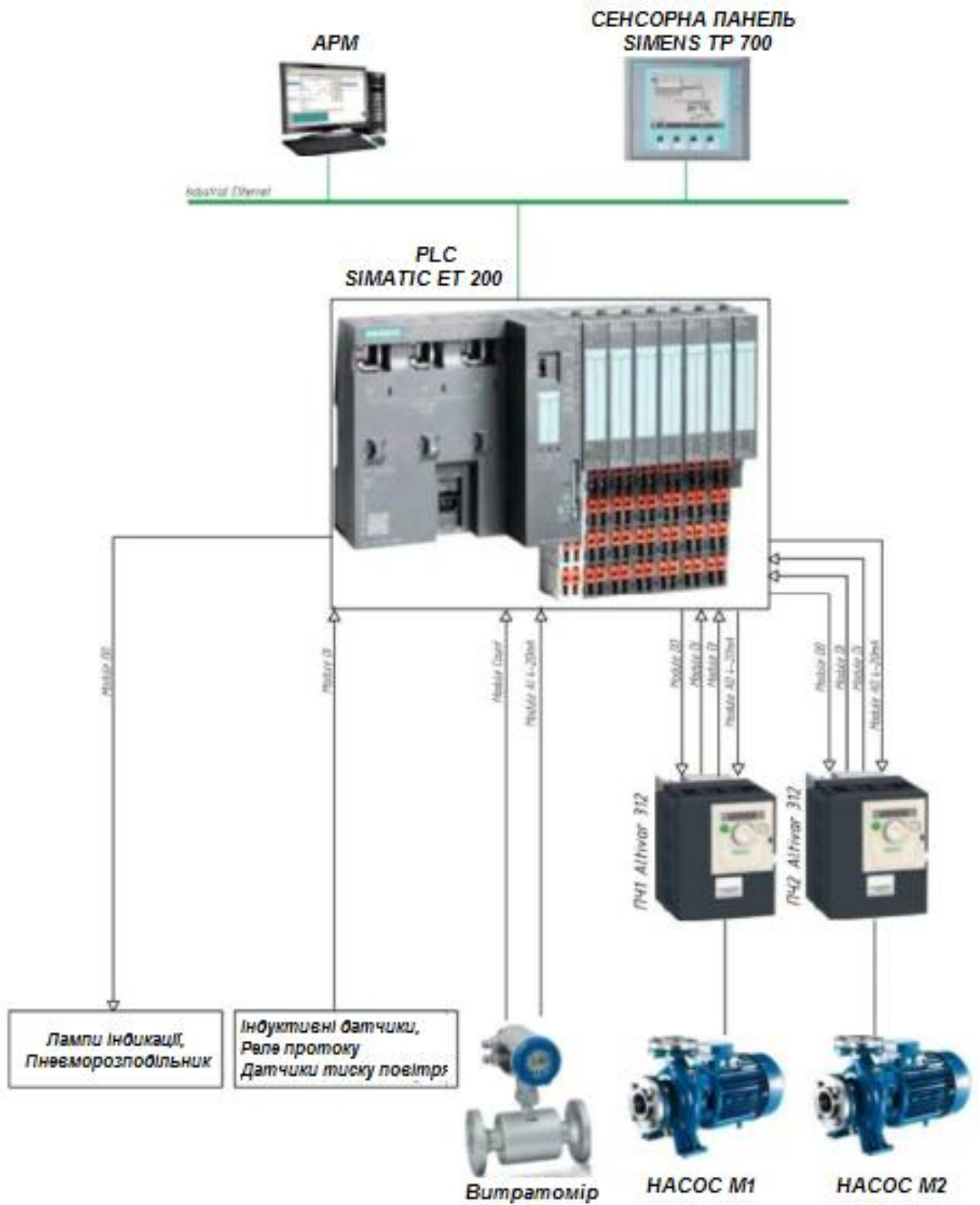


Рисунок 3.2 – Функціональна схема АСУ ТП насосної станції подачі крижаної води.

Зм.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата

3.2 Мнемосхеми технологічної лінії та ПЗ насосної станції для автоматичного режиму

Проектування мнемосхеми технологічної лінії подачі крижаної води та розробка ПЗ для автоматичного режиму здійснюється в системі. Вибір заснований на тому, що саме ця система використовується на даному підприємстві, на неї куплено ліцензію і не потрібно перенавчати персонал.

Принцип роботи системи автоматизації насосної станції автоматичний режим.

У вихідному стані – коли немає споживання, електродвигуни насосів Н1 та Н2 не підключені, витратомір показує нульове значення витрати, пневматичні клапани закриті та немає сигналу з реле протоки на поверненні. Мнемосхема автоматизованої насосної станції представлена рисунку 3.3.

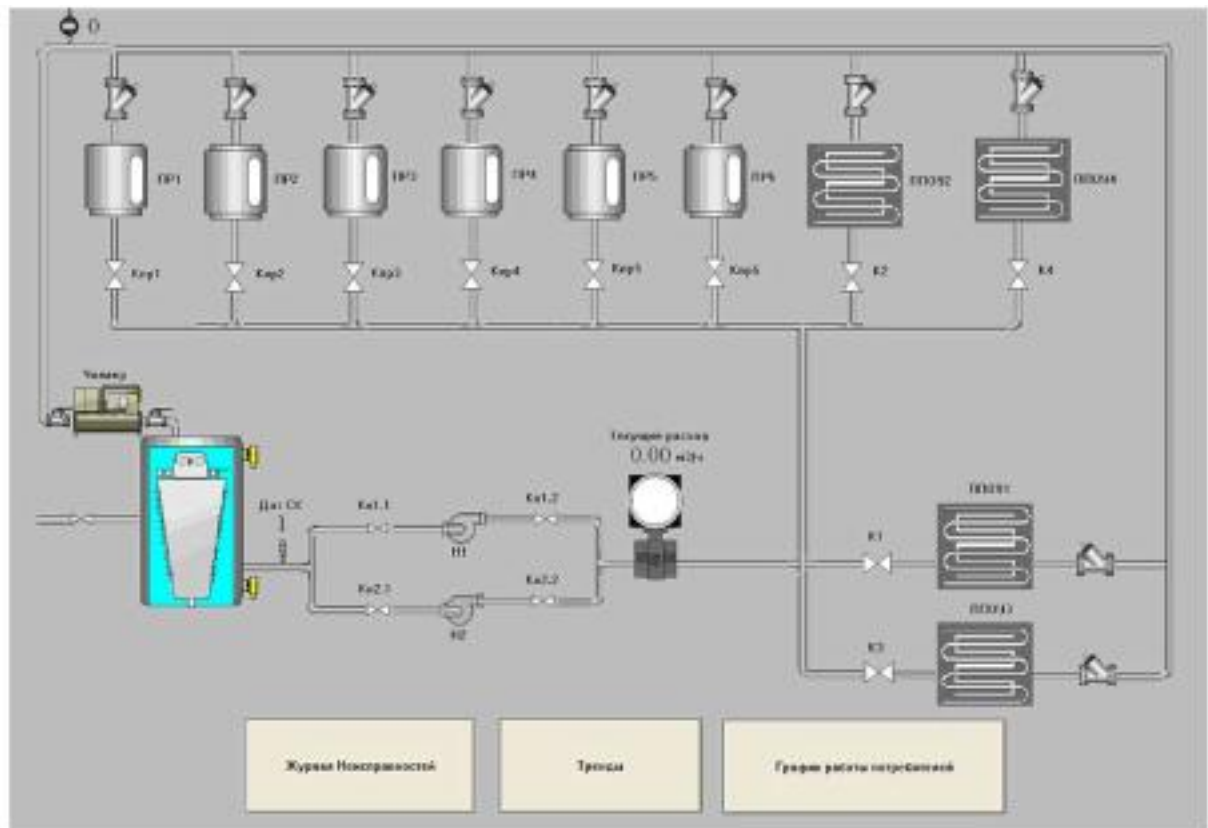


Рисунок 3.3 – Мнемосхема автоматизованої насосної станції

Зм.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата

Для подачі крижаної води обладнання (споживачеві) необхідно виконати такі операції:

– вибрати споживача на мнемосхемі та викликати меню охолодження, клікнувши по ньому лівою кнопкою миші. Рисунок 5.4.

– вибрати роботу від насоса Н1 чи від насоса Н2, як показано на рисунку 3.4.

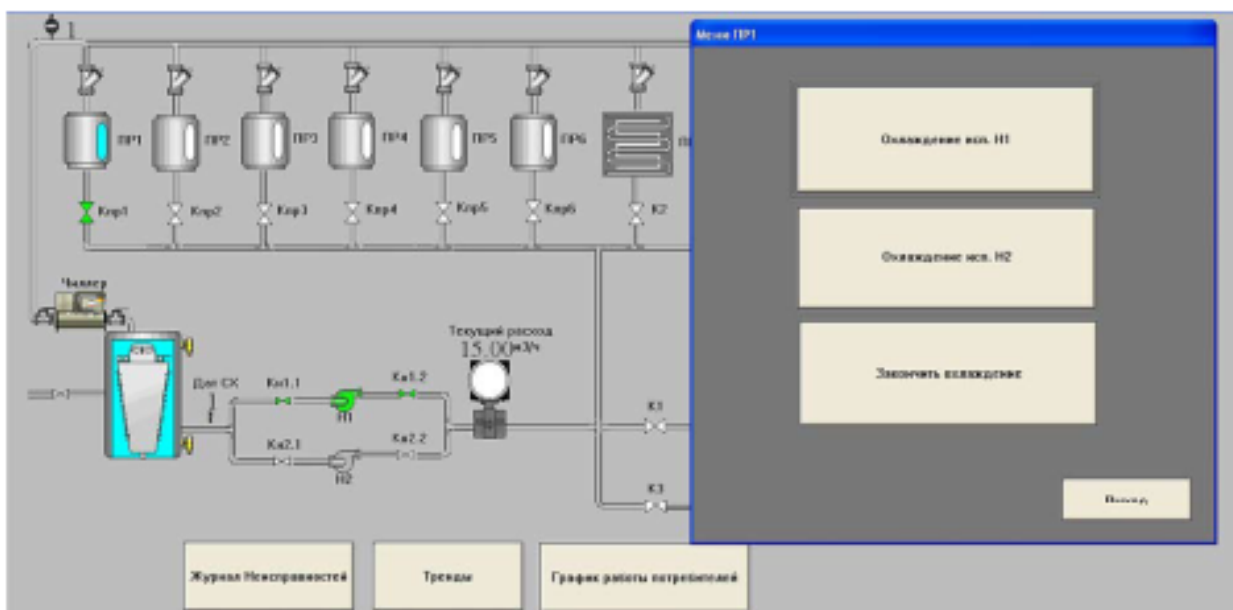


Рисунок 3.4. – Запуск охолодження ПР1 від Н1 насоса.

При успішному запуску охолодження від вибраного насосного агрегату, електродвигун насоса повинен увімкнутися і спалахнути зеленим кольором на мнемосхемі, а витратомір показувати поточну витрату в мережі.

У системі повинен працювати лише один насос, другий служить резервним. При неправильних діях оператора – почати подачу крижаної води споживачам, використовуючи два насосні агрегати одночасно, спрацює “Помилка”, як показано на рисунку 3.5.

При відсутності сигналу з датчика потоки на поверненні, що надходить на програмно-логічний контролер на екрані оператора з'являється повідомлення про аварію, як показано на малюнку 20. Працюючий електродвигун насоса відключається через 30 секунд (рисунок 3.6).

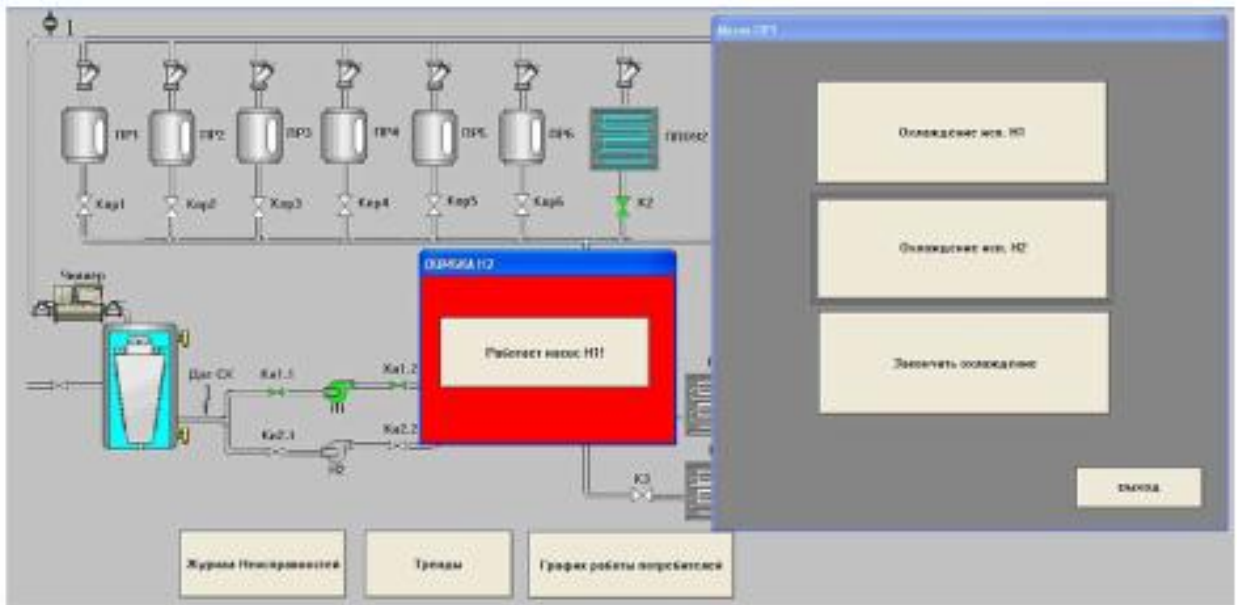


Рисунок 3.5 – Повідомлення “Помилка”.

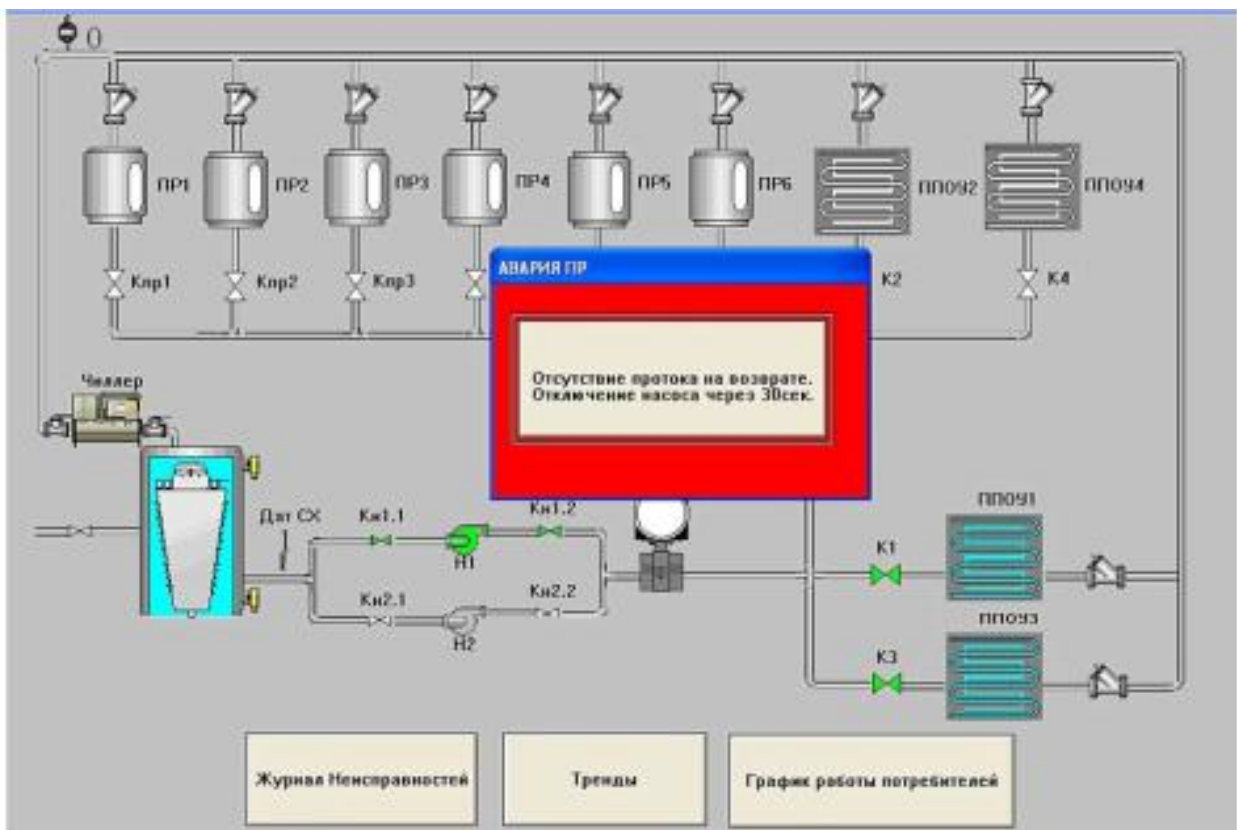


Рисунок 3.6 – Повідомлення "Аварія ПР".

При відсутності сигналу з датчика сухого ходу, що надходить на програмно-логічний контролер, на екрані оператора з'являється повідомлення

про аварію, як показано на малюнку 21. Працюючий електродвигун насоса відключається через 30 секунд (рисунок 3.7).

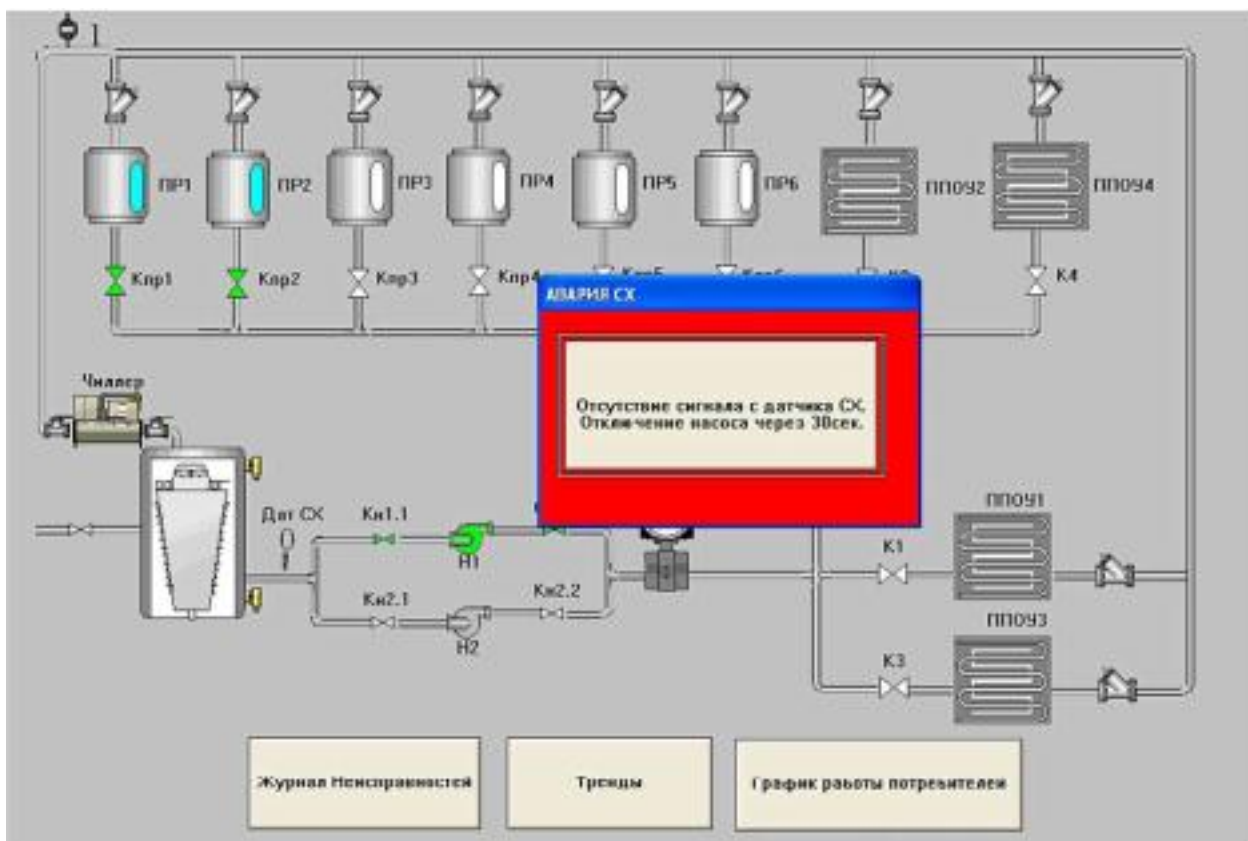


Рисунок 3.7 – Повідомлення “АВАРІЯ СГ”.

При втраті зв'язку SCADA системи з програмно-логічним контролером на екрані оператора з'явиться аварійне повідомлення, як показано на рисунку 3.8.

При надходженні сигналу "Аварія" на програмно-логічний контролер із частотного перетворювача (ПЧ1 чи ПЧ2) на екрані оператора з'явиться аварійне повідомлення, як показано на рисунку 3.9.

У розробленій автоматичній системі керування насосною станцією подачі крижаної води керування в ручному режимі здійснюється з сенсорної панелі Simens TP 700, докладний вибір та технічні характеристики наведені нижче.

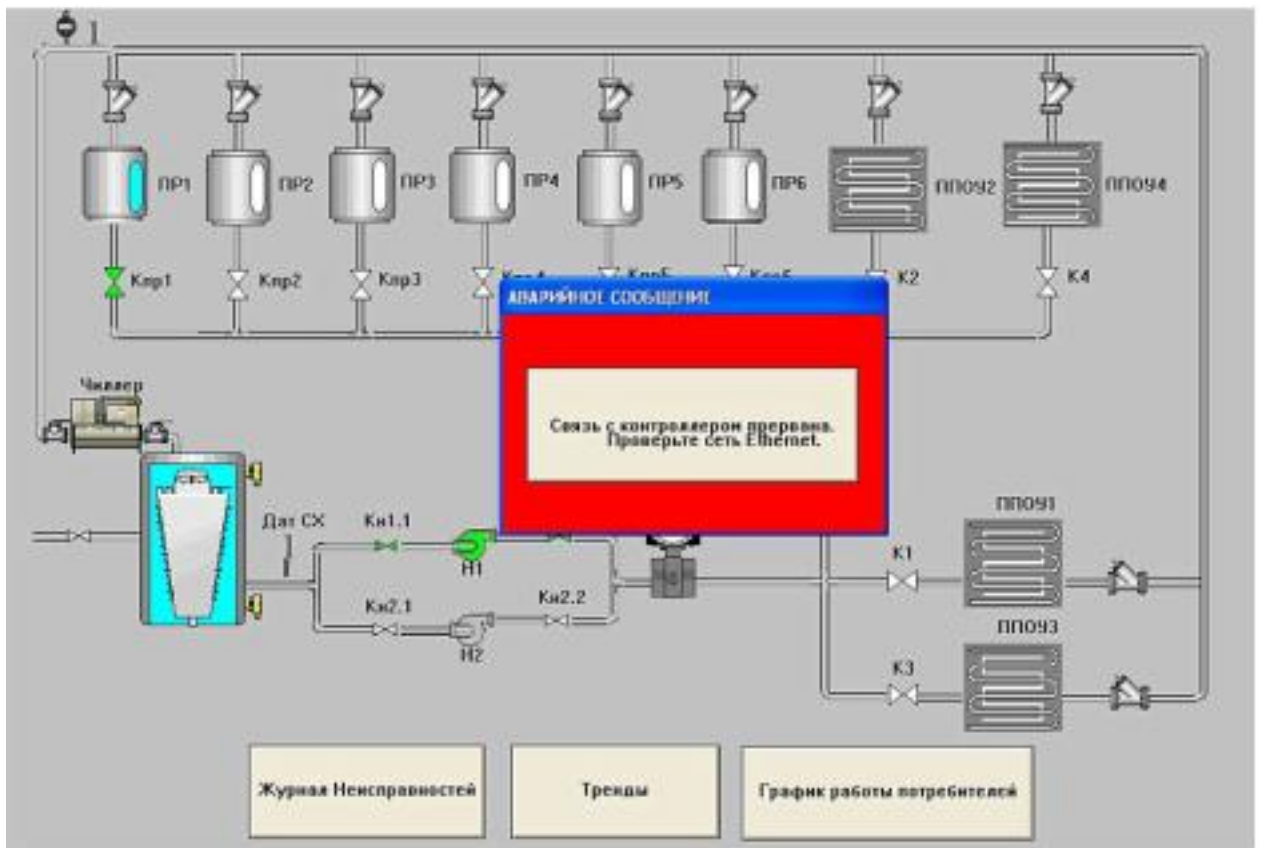


Рисунок 3.8 – Повідомлення втрати зв'язку з контролером.

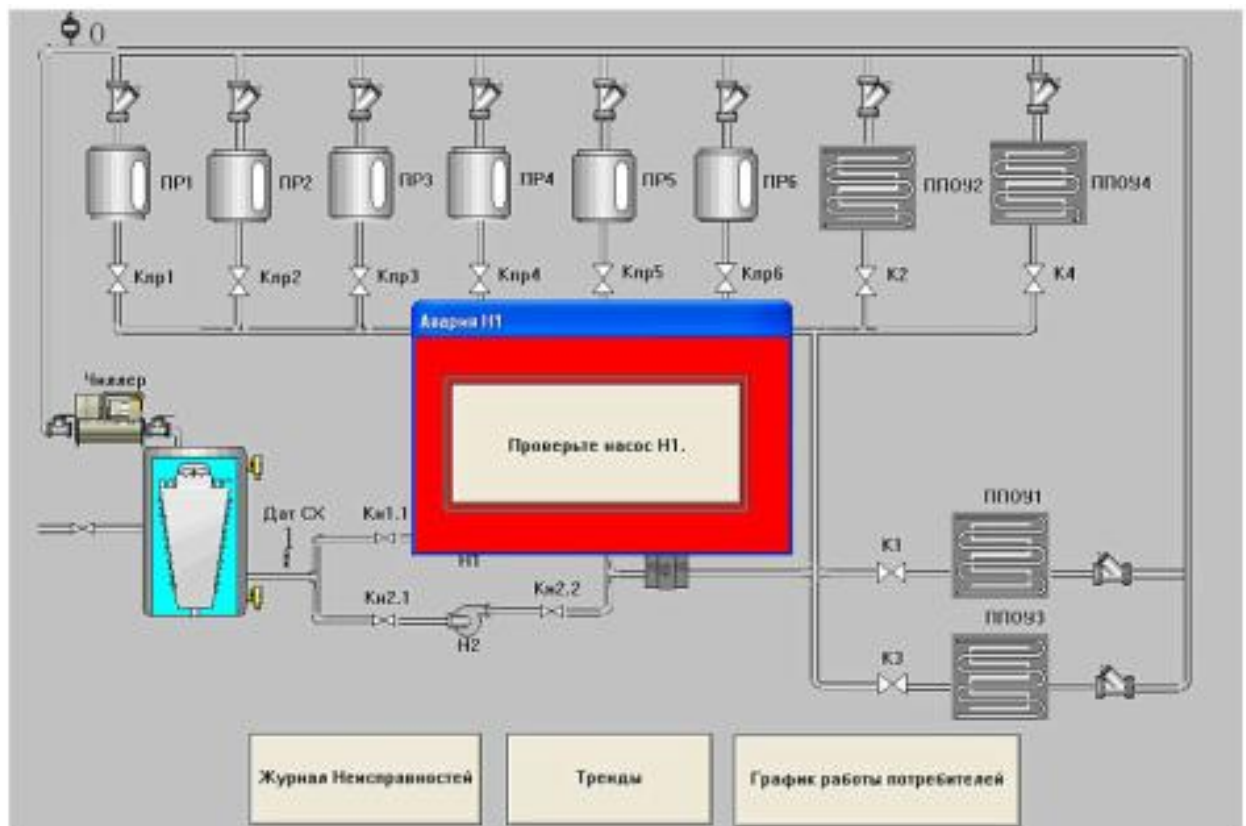


Рисунок 3.9 – Повідомлення Аварія з ПЧ1.

Зм.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата

Розробка ПЗ та проектування мнемосхем здійснюється в програмному комплексі Simatic WinCC.

Основною перевагою програмного комплексу є наявність усіх функцій властивих SCADA системам. Мнемосхема насосної станції подачі крижаної води реалізована у програмному комплексі представлена на рисунку 3.10.

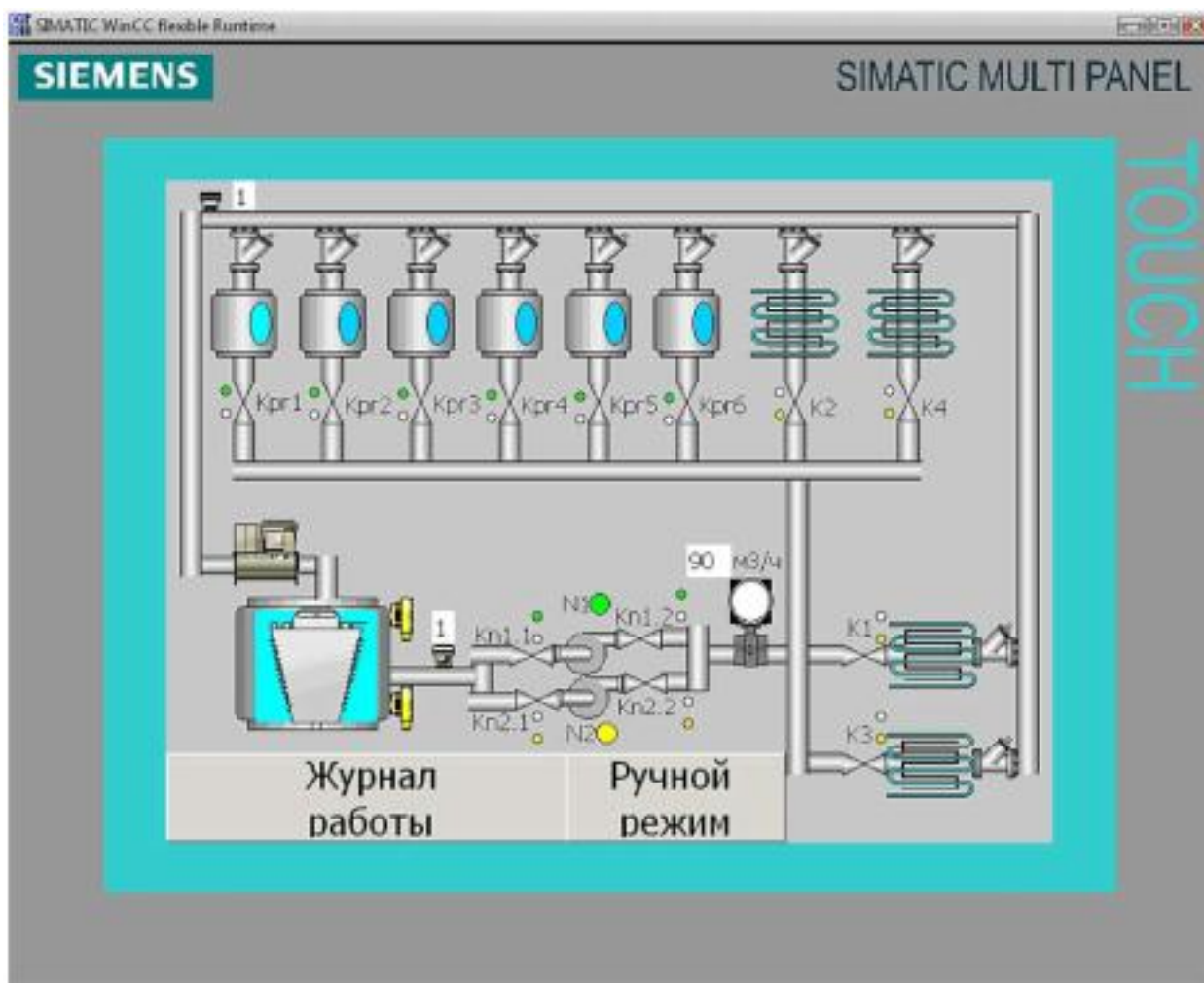


Рисунок 3.10 – мнемосхема насосної станції подачі крижаної води.

Принцип роботи системи автоматизації насосної станції у ручному режимі.

При натисканні на кнопку “Ручний режим”, розташовану на екрані сенсорної панелі АСУ, насосна станція подачі крижаної води перейде в режим ручного керування див. рисунок 3.11.

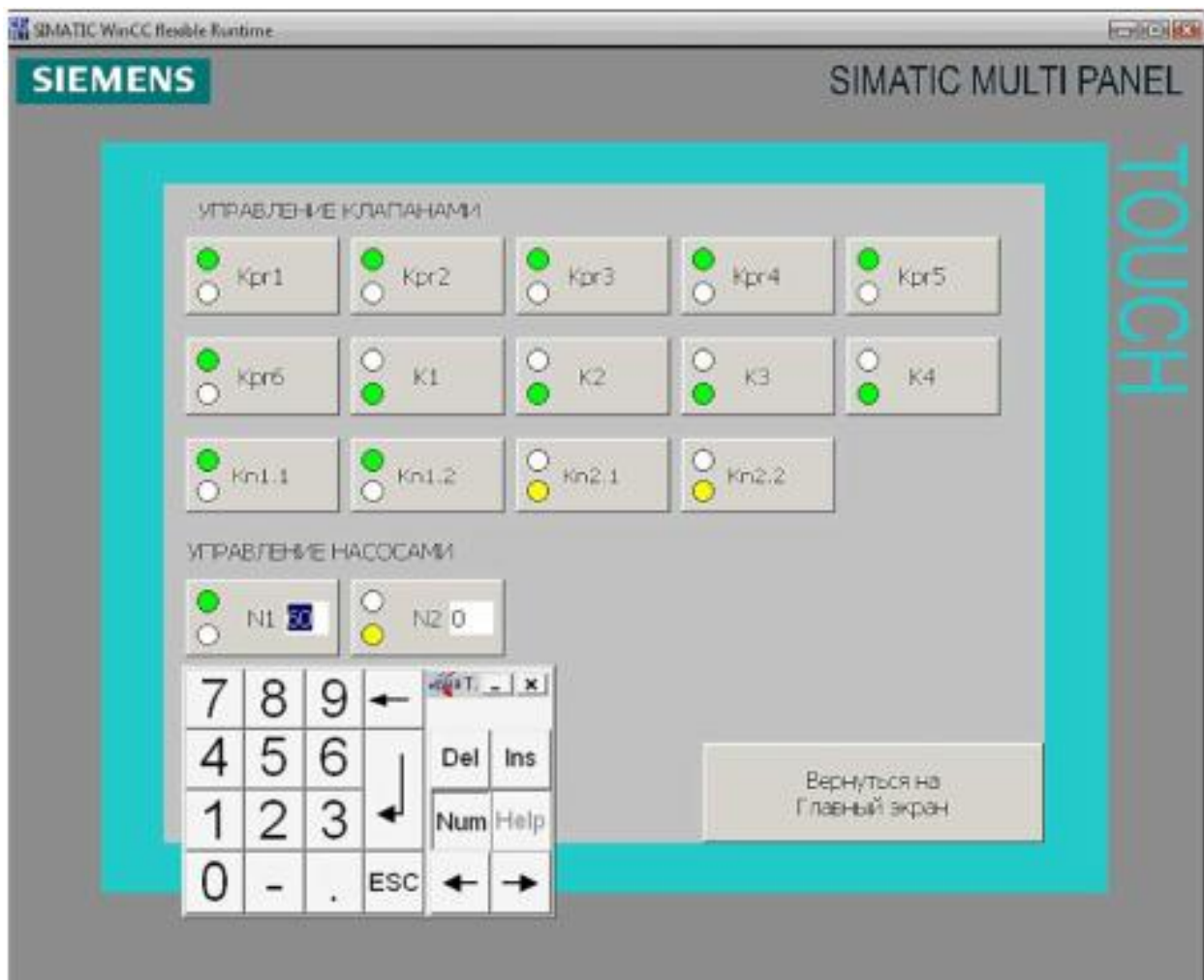


Рисунок 3.11 – АСУ НС у ручному режимі

Головна відмінність даного режиму від автоматичного це можливість вибору та реалізації керуючих впливів.

З представленого опису автоматичного та ручного режимів роботи системи автоматизації впливає, що необхідно формувати наступні вхідні/вихідні сигнали.

Вхідні сигнали та команди:

- Насос Н1 включений;
- Насос Н2 включений;
- Імпульсний сигнал з витратоміра;
- Клапан Кпр1 відкритий;

- Клапан Кпр1 закритий;
- Клапан Кпр2 відкритий;
- Клапан Кпр2 закритий;
- Клапан Кпр3 відкритий;
- Клапан Кпр3 закритий;
- Клапан Кпр4 відкритий;
- Клапан Кпр4 закритий;
- Клапан Кпр5 відкритий;
- Клапан Кпр5 закритий;
- Клапан Кпр6 відкритий;
- Клапан Кпр6 закритий;
- Клапан К1 відкритий;
- Клапан К1 закритий;
- Клапан К2 відкритий;
- Клапан К2 закритий;
- Клапан К3 відкритий;
- Клапан К3 закритий;
- Клапан К4 відкритий;
- Клапан К4 закритий;
- Клапан Кн1.1 відкритий;
- Клапан Кн1.1 закритий;
- Клапан Кн1.2 відкритий;
- Клапан Кн1.2 закритий;
- Клапан Кн2.1 відкритий;
- Клапан Кн2.1 закритий;
- Клапан Кн2.2 відкритий;
- Клапан Кн2.2 закритий;

					ДП.АКІТ.8872457.00.00.000 ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата		56

Вихідні сигнали та команди

- Відкрити Клапан Кпр1;
- Відкрити Клапан Кпр2;
- Відкрити Клапан Кпр3;
- Відкрити Клапан Кпр4;
- Відкрити Клапан Кпр5;
- Відкрити Клапан Кпр6;
- Відкрити Клапан К1;
- Відкрити Клапан К2;
- Відкрити Клапан К3;
- Відкрити Клапан К4;
- Відкрити Клапан Кн1.1;
- Відкрити Клапан Кн1.2;
- Відкрити Клапан Кн2.1;
- Відкрити Клапан Кн2.2;
- Запуск електродвигуна М1 від перетворювача частоти;
- Запуск електродвигуна М2 від перетворювача частоти;

На лицьову панель шафи повинні виводитися такі світлові індикації:

- світлова індикація «Мережа»
- світлова індикація «Аварія»;

Для автоматизації роботи системи потрібно мати інформацію про стан споживачів (технологічного устаткування). Тому необхідно використовувати витратомір та реле протоки рідини.

У таблиці 3.1 зведені всі вхідні сигнали та команди, які використовуються в системі автоматизації.

У таблиці 3.2 зведені всі вихідні сигнали та команди, що використовуються в систему автоматизації.

					ДП.АКІТ.8872457.00.00.000 ПЗ	Арк.
						57
Зм.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата		

Таблиця 3.1 – Вхідні сигнали та команди, що використовуються в системі автоматизації

№ п/п	Найменування сигналу або команди	Позначення	Прийняте значення логічної одиниці
Вхідні сигнали			
1	Сигнал з ПЧ1 насос Н1 включений;	<i>n1.On</i>	Є
2	Сигнал з ПЧ1 Аварія	<i>AlarmN1</i>	Є
3	Сигнал з ПЧ2 насос Н2 увімкнений;	<i>N2.On</i>	Є
4	Сигнал з ПЧ2 Аварія	<i>AlarmN2</i>	Є
5	Аналоговий сигнал з витратоміра	<i>ParamPV</i>	Аналоговий, 4-20 мА
6	Імпульсний сигнал з витратоміра;	<i>fitCounter</i>	Лічильник імпульсів
7	Клапан Кпр1 відкритий	<i>k_{pr1}open</i>	Є
8	Клапан Кпр1 закритий	<i>k_{pr1}closed</i>	Є
9	Клапан Кпр2 відкритий	<i>k_{pr2}open</i>	Є
10	Клапан Кпр2 закритий	<i>k_{pr2}closed</i>	Є
11	Клапан Кпр3 відкритий	<i>k_{pr3}open</i>	Є
12	Клапан Кпр3 закритий	<i>k_{pr3}closed</i>	Є
13	Клапан Кпр4 відкритий	<i>k_{pr4}open</i>	Є
14	Клапан Кпр4 закритий	<i>k_{pr4}closed</i>	Є
15	Клапан Кпр5 відкритий	<i>k_{pr5}open</i>	Є
16	Клапан Кпр5 закритий	<i>k_{pr5}closed</i>	Є
17	Клапан Кпр6 відкритий	<i>k_{pr6}open</i>	Є
18	Клапан Кпр6 закритий	<i>k_{pr6}closed</i>	Є
19	Клапан К1 відкритий	<i>k₁open</i>	Є
20	Клапан К1 закритий	<i>k₁closed</i>	Є
21	Клапан К2 відкритий	<i>k₂open</i>	Є

Продовження таблиця 3.1

22	Клапан К2 закритий	$k_{2closed}$	Є
23	Клапан К3 відкритий	k_{3open}	Є
24	Клапан К3 закритий	$k_{3closed}$	Є
25	Клапан К4 відкритий	k_{4open}	Є
26	Клапан К4 закритий	$k_{4closed}$	Є
27	Клапан Кн1.1 відкритий;	$k_{n1.1open}$	Є
28	Клапан Кн1.1 закритий	$k_{n1.1closed}$	Є
29	Клапан Кн1.2 відкритий;	$k_{n1.2open}$	Є
30	Клапан Кн1.2 закритий	$k_{n1.2closed}$	Є
31	Клапан Кн2.1 відкритий;	$k_{n2.1open}$	Є
32	Клапан Кн2.1 закритий	$k_{n2.1closed}$	Є
33	Клапан Кн2.2 відкритий;	$k_{n2.2open}$	Є
34	Клапан Кн2.2 закритий	$k_{n2.2closed}$	Є
35	Сигнал від датчика сухого ходу «Немає СХ»	$ft1$	Є
36	Сигнал від реле потоку «Є протік»	$ft2$	Є
37	Сигнал від датчика повітря «Є тиск»	sc	Є

Таблиця 3.2 – Вихідні сигнали та команди, що використовуються в системі автоматизації

№ п/п	Найменування сигналу або команди	Позначення	Прийняте значення логічної одиниці
1	Відкрити Клапан Кпр1	k_{pr1}	Є
2	Відкрити Клапан Кпр2	k_{pr2}	Є
3	Відкрити Клапан Кпр3;	k_{pr3}	Є
4	Відкрити Клапан Кпр4	k_{pr4}	Є
5	Відкрити Клапан Кн1.1;	$k_{n1.1}$	Є
6	Відкрити Клапан Кн1.2;	$k_{n1.2}$	Є
7	Відкрити Клапан Кн2.1	$k_{n2.1}$	Є

8	Відкрити Клапан Кн2.2;	$k_{n2.2}$	Є
9	Запуск електродвигуна М1 від перетворювача частоти;	n_1	Є
10	Запуск електродвигуна М2 від перетворювача частоти;	n_2	Є
11	Аналоговий сигнал задання частоти електродвигуна насоса Н1	$N1Power$	Аналоговий, 4-20 мА
12	Аналоговий сигнал задання частоти електродвигуна насоса Н2	$N2Power$	Аналоговий, 4-20 мА
13	Аварія – сухий хід	$AlarmFT1$	Є
14	Аварія – немає протоки	$AlarmFT1$	Є
15	15 Охолодження ПР1 від Н1	$pr1N1$	Є
16	Охолодження ПР2 від Н1	$pr2N1$	Є
17	Охолодження ПР3 від Н1	$pr3N1$	Є
18	Охолодження ПР4 від Н1	$pr4N1$	Є
19	Охолодження ПР5 від Н1	$pr5N1$	Є
20	Охолодження ПР6 від Н1	$pr6N1$	Є
21	Охолодження ППОУ1 від Н1	$pp1N1$	Є
22	Охолодження ППОУ2 від Н1	$pp2N1$	Є
23	Охолодження ППОУ3 від Н1	$pp3N1$	Є
24	Охолодження ППОУ4 від Н1	$pp4N1$	Є
25	Охолодження ПР1 від Н2	$pr1N2$	Є
26	Охолодження ПР2 від Н2	$pr2N2$	Є
27	Охолодження ПР3 від Н2	$pr3N2$	Є
28	Охолодження ПР4 від Н2	$pr4N2$	Є
29	29 Охолодження ПР5 від Н2	$pr5N2$	Є
30	Охолодження ПР6 від Н2	$pr6N2$	Є
31	Охолодження ППОУ1 від Н2	$pp1N2$	Є
32	Охолодження ППОУ2 від Н2	$pp2N2$	Є
33	Охолодження ППОУ3 від Н2	$pp3N2$	Є
34	Охолодження ППОУ4 від Н2	$pp4N2$	Є

На основі таблиць 3.1 та 3.2 складаємо логічні рівняння.

					ДП.АКІТ.8872457.00.00.000 ПЗ	Арк.
						60
Зм.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата		

Вихідний сигнал на відкриття клапана виникає, коли є сигнал на запуск охолодження першого процесного резервуара від насоса Н1 або від насоса Н2 $pr1N2$:

$$k_{pr1} = pr1N1 + pr1N2$$

Вихідні сигнали для відкриття інших клапанів формуються аналогічно:

$$k_{pr2} = pr2N1 + pr2N2;$$

$$k_{pr3} = pr3N1 + pr3N2;$$

$$k_{pr4} = pr4N1 + pr4N2;$$

$$k_{pr5} = pr5N1 + pr5N2;$$

$$k_{pr6} = pr6N1 + pr6N2;$$

$$k_1 = pp1N1 + pp1N2;$$

$$k_2 = pp2N1 + pp2N2;$$

$$k_3 = pp3N1 + pp3N2;$$

$$k_4 = pp4N1 + pp4N2.$$

Вихідний сигнал на запуск електродвигуна насоса Н1 від першого перетворювача частоти « $n1$ » виникає, якщо вхідні сигнали на запуск охолодження споживачів від насоса Н1 « $pr1N1, pr2N1, pr3N1, pr4N1, pr5N1, pr6N1, pp1N1, pp2N1, pp3N1, pp4N1$ », є вихідні сигнали на відкриття клапанів споживачів « $k_{pr1}, k_{pr2}, k_{pr3}, k_{pr4}, k_{n1.1}, k_{n1.2}, k_{n2.1}, k_{n2.2}$ », вхідний сигнал із датчика сухого ходу « $ft1$ »:

$$n1 = (pr1N1 \cdot k_{pr1} \cdot ft1) + (pr2N1 \cdot k_{pr2} \cdot ft1) + (pr3N1 \cdot k_{pr3} \cdot ft1) + (pr4N1 \cdot k_{pr4} \cdot ft1) + (pr5N1 \cdot k_{pr5} \cdot ft1) + (pr6N1 \cdot k_{pr6} \cdot ft1) + (pp1N1 \cdot k_1 \cdot ft1) + (pp2N1 \cdot k_2 \cdot ft1) + (pp3N1 \cdot k_3 \cdot ft1) + (pp4N1 \cdot k_4 \cdot ft1);$$

Вихідний сигнал на запуск електродвигуна насоса Н2 від другого перетворювача частоти « $n2$ » виникає, якщо вхідні сигнали на запуск охолодження споживачів від насоса Н2 « $pr1N2, pr2N2, pr3N2, pr4N2, pr5N2,$

					ДП.АКІТ.8872457.00.00.000 ПЗ	Арк.
						61
Зм.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата		

$pr6N2, pp1N2, pp2N2, pp3N2, pp4N2$ », є вихідні сигнали на відкриття клапанів споживачів « $k_{pr1}, k_{pr2}, k_{pr3}, k_{pr4}, k_{n1.1}, k_{n1.2}, k_{n2.1}, k_{n2.2}$ », вхідний сигнал із датчика сухого ходу « $ft1$ »:

$$n2 = (pr1N2 \cdot k_{pr1} \cdot ft1) + (pr2N2 \cdot k_{pr2} \cdot ft1) + (pr3N2 \cdot k_{pr3} \cdot ft1) + (pr4N2 \cdot k_{pr4} \cdot ft1) + \\ + (pr5N2 \cdot k_{pr5} \cdot ft1) + (pr6N2 \cdot k_{pr6} \cdot ft1) + (pp1N2 \cdot k_1 \cdot ft1) + (pp2N2 \cdot k_2 \cdot ft1) + \\ + (pp3N2 \cdot k_3 \cdot ft1) + (pp4N2 \cdot k_4 \cdot ft1);$$

Вхідний сигнал від першого частотного перетворювача насос Н1 увімкнено ($N1.ON$)» виникає якщо є вихідний сигнал на запуск електродвигуна насоса Н1 « $n1$ » і немає сигналу « $\overline{AlarmN1}$ »

$$N1.ON = n1 \cdot \overline{AlarmN1}$$

Вхідний сигнал від другого частотного перетворювача насос Н2 увімкнено ($N2.ON$)» виникає якщо є вихідний сигнал на запуск електродвигуна насоса Н2 « $n2$ » і немає сигналу « $\overline{AlarmN2}$ »

$$N2.ON = n2 \cdot \overline{AlarmN2}$$

Сигнал Аварія Н1 $AlarmN1$ виникає, якщо є сигнали на охолодження споживачів від насоса Н1, є сигнали відкриття клапанів і немає вхідного сигналу від першого частотного перетворювача «насос Н1 включений ($N1.ON$)»

$$AlarmN1 = pr1N1 \cdot k_{pr1} \cdot \overline{N1.ON} + pr2N1 \cdot k_{pr2} \cdot \overline{N1.ON} + pr3N1 \cdot k_{pr3} \cdot \overline{N1.ON} + \\ + pr4N1 \cdot k_{pr4} \cdot \overline{N1.ON} + pr5N1 \cdot k_{pr5} \cdot \overline{N1.ON} + pr6N1 \cdot k_{pr6} \cdot \overline{N1.ON} + \\ + pp1N1 \cdot k_1 \cdot \overline{N1.ON} + pp2N1 \cdot k_2 \cdot \overline{N1.ON} + pp3N1 \cdot k_3 \cdot \overline{N1.ON} + \\ + pp4N1 \cdot k_4 \cdot \overline{N1.ON};$$

					ДП.АКІТ.8872457.00.00.000 ПЗ	Арк.
						62
Зм.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата		

Сигнал Аварія Н2 *AlarmN2* виникає, якщо є сигнали на охолодження споживачів від насоса Н2, є сигнали відкриття клапанів і немає вхідного сигналу від другого частотного перетворювача «насос Н2 включений (*N2.ON*)»

$$\begin{aligned} AlarmN2 = & pr1N1 \cdot k_{pr1} \cdot \overline{N2.ON} + pr2N2 \cdot k_{pr2} \cdot \overline{N2.ON} + pr3N2 \cdot k_{pr3} \cdot \overline{N2.ON} + \\ & + pr4N2 \cdot k_{pr4} \cdot \overline{N2.ON} + pr5N2 \cdot k_{pr5} \cdot \overline{N2.ON} + pr6N2 \cdot k_{pr6} \cdot \overline{N2.ON} + \\ & + pp1N2 \cdot k_1 \cdot \overline{N2.ON} + pp2N2 \cdot k_2 \cdot \overline{N2.ON} + pp3N2 \cdot k_3 \cdot \overline{N2.ON} + \\ & + pp4N2 \cdot k_4 \cdot \overline{N2.ON}; \end{aligned}$$

Вихідний аналоговий сигнал 4 20 мА, що приходить на перший частотний перетворювач, виникає, якщо є вхідний аналоговий сигнал 4-20 мА з витратоміра *ParamPV* про поточну витрату, є внутрішній сигнал *ParamSP*, що формує уставку і є сигнал на запуск електродвигуна насоса Н1 *n1*

$$n1Power = ParamSP \cdot ParamPV \cdot n1;$$

Вихідний аналоговий сигнал 4 20 мА, що приходить на другий частотний перетворювач, виникає, якщо є вхідний аналоговий сигнал 4 20 мА з витратоміра про поточну витрату, є внутрішній сигнал, формує уставку і сигнал на запуск електродвигуна насоса Н2 *n2*

$$n2Power = ParamSP \cdot ParamPV \cdot n2.$$

Сигнал аварії сухого ходу « » виникає при появі виходу таймера T_1^{30c} :

$$AlarmFTI = T_1^{30c}.$$

					ДП.АКІТ.8872457.00.00.000 ПЗ	Арк.
						63
Зм.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата		

Таймер (затримка 30 с) з'являється коли немає вхідного сигналу з датчика сухого ходу « $(\overline{ft1})$ », і є сигнали про працюючі електродвигуни насоса Н1 ($N1.ON$) або Н2 ($N2.ON$):

$$T_1^{30c} = (\overline{ft1} \cdot N1.ON) + (\overline{ft1} \cdot N2.ON)$$

Сигнал аварії відсутності протоки на поверненні « » виникає у разі виходу таймера T_2^{30c}

$$AlarmFT2 = T_2^{30c}$$

Таймер T_2^{30c} (затримка 30 с) з'являється, коли немає вхідного сигналу з датчика протоки « $(\overline{ft2})$ », і є сигнали про працюючі електродвигуни насоса Н1 Н1 ($N1.ON$) або Н2 ($N2.ON$):

$$T_2^{30c} = (\overline{ft2} \cdot N1.ON) + (\overline{ft2} \cdot N2.ON)$$

На основі отриманих логічних рівнянь можна створити необхідну автоматичну систему керування. Найбільш зручним у налаштуванні, налагодженні та використанні є побудова системи автоматизації на базі програмованого логічного контролера.

Використання ПЛК дозволяє:

- спростити реалізацію системи автоматизації;
- розширити можливості діагностики несправностей;
- спростити налагодження системи при зміні технологічних вимог.

Кількість вхідних і вихідних сигналів і команд (таблиці 8, 9 визначило застосування в даній автоматизованій системі управління програмно-логічний контролер Simen. Аналогічні ПЛК існують і в інших виробників (Omron, Schneider Electric і т.д.). Усі вони працюють аналогічним чином і

					ДП.АКІТ.8872457.00.00.000 ПЗ	Арк.
						64
Зм.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата		

мають подібні функції та апаратно-механічні характеристики. В даному випадку вибір був зроблений виходячи з ціни, якості даного пристрою.

3.3 Обґрунтування вибору та налаштування регулятора витрати на об'єкті

Вибір типу регулятора визначається можливостями програмованого логічного контролера Simens Simatic ET-200. Цей ПЛК може забезпечити ПІ регулювання.

Пропорційно інтегральний (ПІ) регулятор дозволяє створити на базі ПЛК систему підтримки витрати на заданому рівні за відхиленням.

Для цього необхідно сигнал з датчика технологічної змінної завести на аналоговий вхід контролера, що програмується, налаштувати параметри ПІ регулятора і встановити необхідне значення змінної. ПІ регулятор поєднує в собі властивості П та І регуляторів.

Складемо передавальну функцію ПІ регулятора, побудованому на операційному підсилювачі:

$$Z_{OC}(p) = \frac{1}{Cp} + R_{OC} - \text{опір зворотного зв'язку};$$

$$Z_{BX}(p) = R_{BX} - \text{вхідний опір}.$$

Тоді передавальна функція може бути подана у вигляді:

$$W(p) = \frac{Z_{OC}}{Z_{BX}} = \frac{1 + R_{OC} \cdot Cp}{R_{BX} \cdot Cp}.$$

Якщо врахувати, що коефіцієнт посилення пропорційної ланки $K = \frac{R_{OC}}{R_{BX}}$, і постійна часу інтегруючої ланки $T = R_{BX}$, то передатвальну функцію ПІ регулятора (вираз 3.1) можна спростити та записати у вигляді:

					ДП.АКІТ.8872457.00.00.000 ПЗ	Арк.
						65
Зм.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата		

$$W(p) = \frac{1}{R_{BX} \cdot Cp} + \frac{R_{OC}}{R_{BX}} = \frac{1}{Tp} + K. \quad (3.1)$$

У вигляді структурної схеми ПІ регулятор представляється паралельним з'єднанням інтегруючої ланки з постійної часу і пропорційного коефіцієнту посилення K (рисунок 3.12).

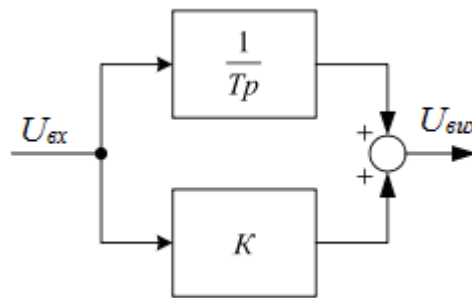


Рисунок 3.12 – Структурна схема ПІ регулятора

Приведемо вираз 3.1 до спільного знаменника. Тоді отримаємо структурну схему ПІ регулятора у вигляді іздромної ланки з передавальною функцією:

$$W(p) = \frac{1 + K \cdot Tp}{Tp}. \quad (3.2)$$

Структурна схема ПІ регулятора представлена рисунку 3.13.

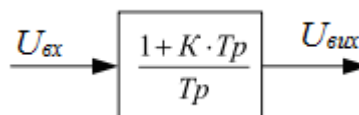


Рисунок 3.13 – Структурна схема ПІ регулятора у вигляді іздромної ланки

Загальний вигляд ЛАЧХ ІІІ регулятора показаний рисунку 3.14.

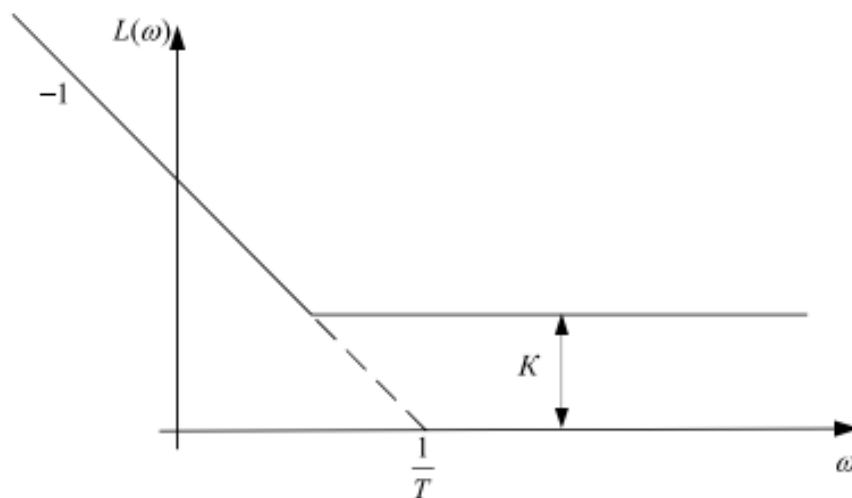


Рисунок 3.14 – Загальний вигляд ЛАЧХ ІІІ регулятора

Цінною властивістю ІІІ регулятора є те, що при малих частотах вхідного сигналу він відповідає І регулятору, а при високих – ІІ регулятору, тобто. дозволяє поєднати позитивні якості обох регуляторів. Завдяки І каналу схема з ІІІ регулятором має нульову статичну помилку по сигналу, що задає, а завдяки ІІ каналу швидкодія у великій кількості випадків можна мати вище, ніж у схемі з І регулятором [29].

Перехідна характеристика ІІІ регулятора представлена малюнку 3.15.

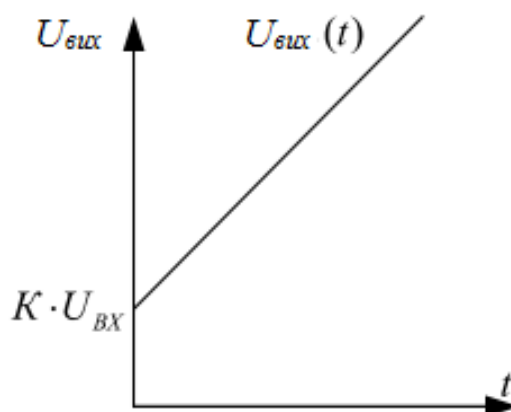


Рисунок 3.15 – Перехідна характеристика ІІІ регулятора

Перехідна функція ПІ регулятора відповідає кривій. Після подачі стрибка вхідної напруги вихідна напруга регулятора спочатку збільшується стрибком на величину завдяки впливу каналу П, а потім - наростає за лінійним законом з темпом, що визначається величиною .

Регулятор витрати згідно з ТЗ повинен бути обраний виходячи з налаштування електроприводу на ТО.

Для виконання розрахунків, пов'язаних із вибором параметрів регулятора, оцінкою статичних та динамічних показників процесів в електроприводі, необхідно скласти структурну схему електроприводу (рисунок 3.16) [26].

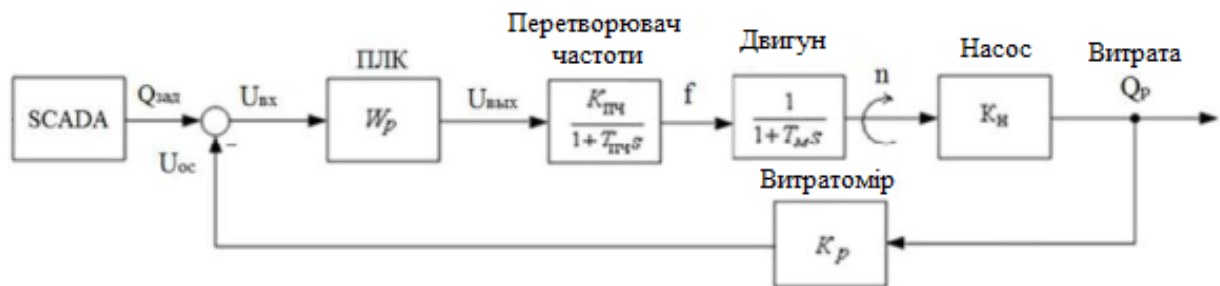


Рисунок 3.16 – Структурна схема електроприводу насосної станції

На структурній схемі електроприводу (рисунок 3.16) перетворювач частоти, насос, витратомір прийняті у вигляді пропорційних ланок [32]. Часто керований асинхронний двигун прийнятий у вигляді аперіодичної ланки[26].

Постійна часу двигуна T_M дорівнює:

$$T_M = \frac{J_{ДВ}}{\beta} = \frac{0.05}{2.35} = 0.021c,$$

де $J_{ДВ} = 0.05 \text{ кг} \cdot \text{м}^2$ – момент інерції двигуна;

$$\beta = \frac{\Delta M}{\Delta \omega} = \frac{M_H}{\omega_{OH} - \omega_{НОМ}} = \frac{24,71}{314 - 3035} = 2,35 \frac{H \cdot c}{rad} \quad - \quad \text{жорсткість}$$

механічної характеристики.

Передавальна функція програмованого логічного контролера підлягає визначенню.

Визначення передавальних функцій регуляторів у більшості електроприводів промислового призначення здійснюється шляхом їх налаштування на технологічний оптимум відповідно до наступного алгоритму.

1. Задається бажана передатна функція розімкнутого контуру у вигляді фільтра Батерворта другого порядку

$$W_{ЖР} = \frac{1}{2 \cdot T_{\mu} \cdot s(1 + T_{\mu} \cdot s)}, \quad (3.3)$$

де T_{μ} – мінімальна задається постійна часу.

В якості T_{μ} виступає T_M контуру. Тому робимо заміну $T_{\mu} = T_M$.

2. Обчислюється фактична передавальна функція розімкнутої системи.

$$W_{ФР} = W_p \cdot K_{ПЧ} \frac{K_{ПЧ} \cdot K_H \cdot K_D \cdot K_P}{(1 + T_{ПЧ} \cdot s)(1 + T_M \cdot s)}. \quad (3.4)$$

3. Фактичну передатну функцію прирівнюємо до бажаної:

$$W_{ФР} = W_{ЖР}$$

$$W_p \cdot K_{ПЧ} \frac{K_{ПЧ} \cdot K_H \cdot K_D \cdot K_P}{(1 + T_{ПЧ} \cdot s)(1 + T_M \cdot s)} = \frac{1}{2 \cdot T_{\mu} \cdot s(1 + T_{\mu} \cdot s)}. \quad (3.5)$$

З (3.4 і 3.5) випливає:

					ДП.АКІТ.8872457.00.00.000 ПЗ	Арк.
						69
Зм.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата		

$$W_P = \frac{1}{2T_M \cdot K_{ПЧ} \cdot K_H \cdot K_D \cdot K_P \cdot s} + \frac{T_M}{2T_M \cdot K_{ПЧ} \cdot K_H \cdot K_D \cdot K_P} \cdot \quad (3.6)$$

Таким чином, приходимо до висновку, що програмовано логічний контролер повинен реалізовувати ІІІ регулятор.

Розрахована передавальна функція забезпечує бажані динамічні властивості системи за умови, що параметри пристроїв системи дорівнюють номінальним. Тому на практиці потрібно додаткове підстроювання параметрів ПЛК.

Принципи практичного налаштування регуляторів на основі ПЛК

При налаштуванні ІІІ регулятора до виходу ПЛК підключається осцилограф. Перед початком практичного дослідження технологічного процесу необхідно встановити значення (уставку) для ІІІ регулятора. По показам осцилографа перевіряється реакція регулятора на збурення.

Приклади налаштування ІІІ контуру:

1. Запобігання перерегулюванню (рисунок 3.17).

Якщо спостерігається перерегулювання, необхідно зменшити коефіцієнт передачі K пропорційної ланки та збільшити час інтегрування T .

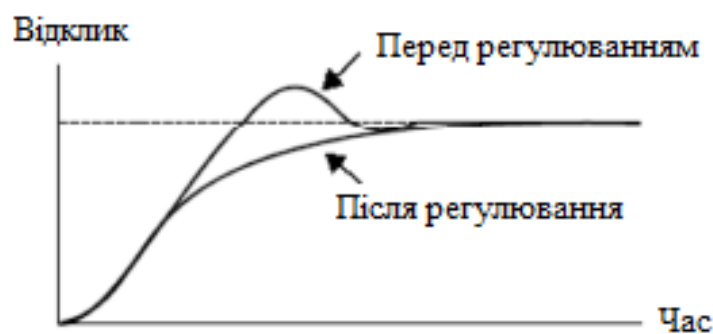


Рисунок 3.17 – Запобігання перерегулюванню

2. Швидка стабілізація вихідного сигналу (рисунок 3.18)

Щоб досягти швидкої стабілізації регульованого параметра навіть у разі перерегулювання, необхідно зменшити час інтегрування T .

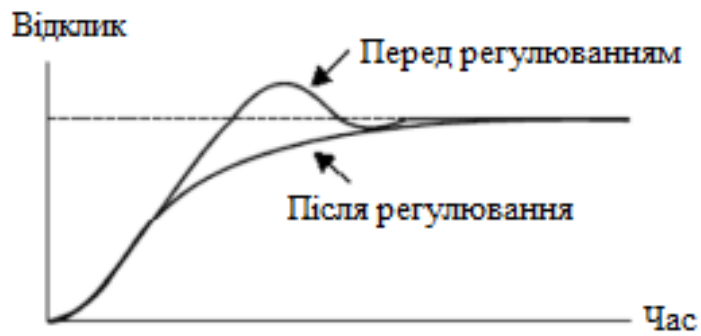


Рисунок 3.18 – Стабілізація вихідного сигналу

3. Придушення коливань малої частоти (рисунок 3.19)

Якщо виникають коливання, тривалість періоду яких перевищує час інтегрування, час інтегрування слід збільшити, щоб запобігти виникненню таких коливань.

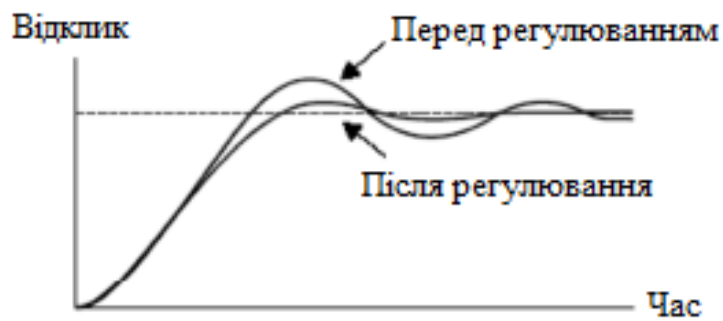


Рисунок 3.19 – Придушення коливань малої частоти

4. Придушення високочастотних коливань (рисунок 3.20)

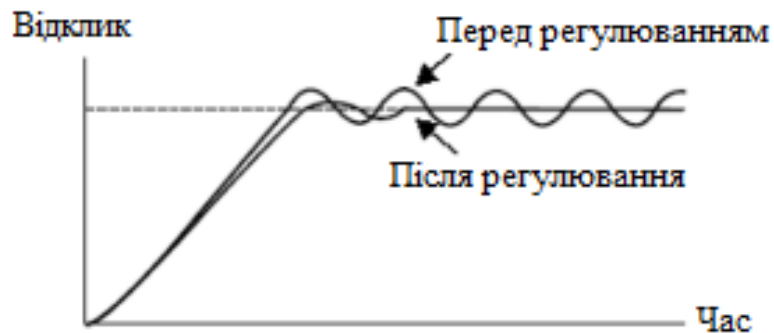


Рисунок 3.20 – Придушення високочастотних коливань

Якщо спостерігаються коливання з високою частотою, необхідно зменшити коефіцієнт передачі пропорційної ланки або збільшити постійну час первинної затримки ПІ контуру.

3.4 Програмування ПЛК Simens Simatic ET-200

Програмування Simens Simatic ET-200 здійснюється в стандартному пакеті STEP 7. За допомогою цієї програми виконується комплекс робіт зі створення та обслуговування автоматизованих систем управління на основі програмованих логічних контролерів фірми Simens [27].

Step 7 представляє ряд спеціальних інструментальних засобів:

1) *Simatic Manager* – керує всіма даними, які стосуються проекту. Спеціальні інструментальні засоби запускаються автоматично *Simatic Manager*

2) *Hardware configuration* – конфігурування апаратури

3) *Symbol Tditor* – керує встановленням символічних імен та коментарів для вхідних та вихідних сигналів, меркерів та блоків.

4) *LAD, FBD, STL* (мови програмування) – основна частина стандартного пакета;

5) *NetPro* – конфігурування мереж.

Створюємо проект в *Simatic Manager* і додаємо станцію ET-200, як показано на рисунку 3.21.



Рисунок 3.21 – Створення проекту

Враховуючи кількість вхідних (таблиця 8) і вихідних (таблиця 9) сигналів і структурну схему АСУ ТП насосної станції (Малюнок 16) виробляємо конфігурацію апаратної частини ПЛК Simens Sematic ET 200 у додатку Hardware Configuration, для цього вибираємо стійки з електронної бібліотеки і розміщуємо слотах цих стійках. Конфігурація апаратної частини представлена малюнку 3.22.

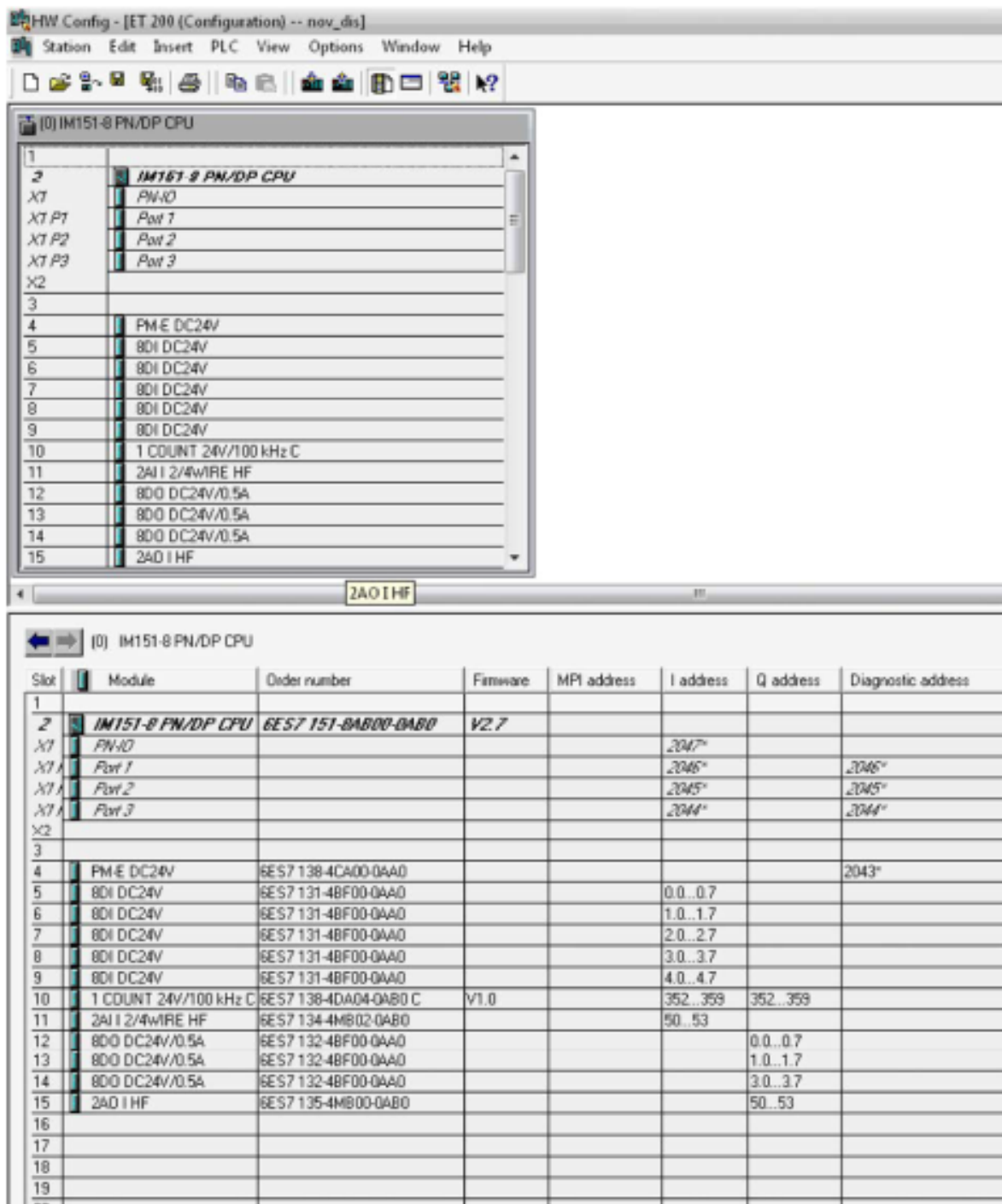


Рисунок 3.22 – Конфігурування апаратної частини

Зм.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата

Принцип роботи ПЛК полягає в обробці прикладної програми користувача даних з модулів входів (сигналів від підключених індуктивних датчиків, витратоміра, реле протоки) і подальшою видачею керуючих сигналів, за допомогою модулів виходів і модулів зв'язку, що забезпечують підключення виконавчих пристроїв.

Регулювання швидкості обертання валу електродвигунів здійснюється за сигналами витратоміру залежно від відкритих прийому крижаної води споживачів. Формування регулюючої уставки здійснюється в такий спосіб.

Створюється блок даних DB1 у програмі *Simatic Manager*, який містить у собі змінні *SP* (головна уставка, за якою здійснюється регулювання) та *PV* (поточне значення витрати). Блок даних з змінними *SP* та *PV* показані на рисунку 3.23.

Address	Name	Type	Initial value	Comment
0.0		STRUCT		
+0.0	SP	REAL	0.000000e+000	Уставка главная
+4.0	PV	REAL	0.000000e+000	Текущее значение
+8.0	lmn	REAL	0.000000e+000	
=12.0		END_STRUCT		

Рисунок 3.23 – Блок даних із змінними *SP* та *PV*.

Програмування змінної *SP* здійснюється структурованою мовою управління *SCL (Structured Control Language)* в блоці функції FC 1.

Код програми для змінної представлений рисунку 3.24.

Address	Name	Type	Initial value	Comment
0.0		STRUCT		
+0.0	SP	REAL	0.000000e+000	Уставка главная
+4.0	PV	REAL	0.000000e+000	Текущее значение
+8.0	lmn	REAL	0.000000e+000	
=12.0		END_STRUCT		

Рисунок 3.24 – Код програми для змінної

Далі необхідно викликати блок функції FC1 в основному блоці програми OB1, як показано рисунку 3.25.

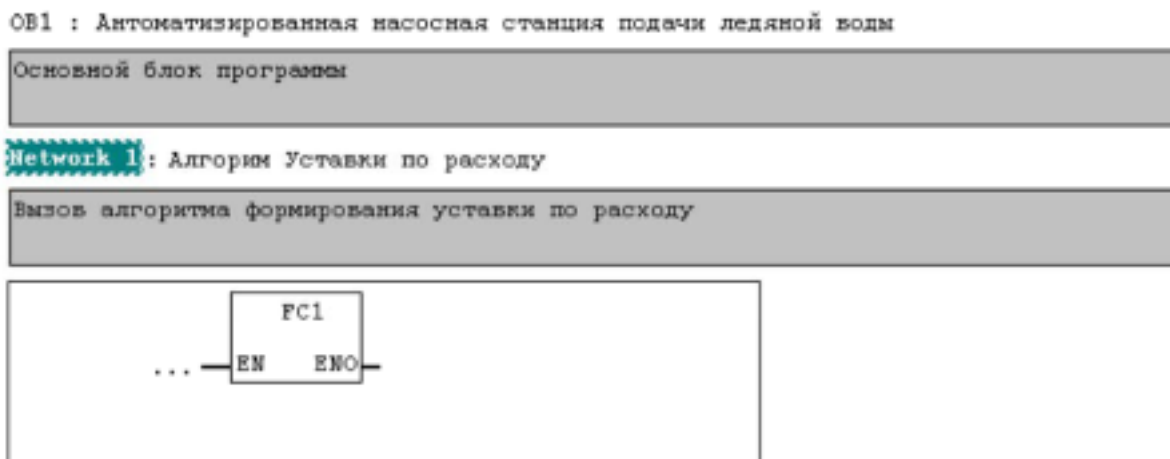


Рисунок 3.25 – Виклик блоку FC1 в OB1

Прикладна програма для ПЛК розроблена з врахуванням кількості вхідних та вихідних сигналів та логічних рівнянь, складених у пункті 3.2, подана у Додатку А.

3.5 Обґрунтування вибору технічних засобів системи автоматизованого управління

Вибір елементної бази автоматизації та перетворювачів технологічної інформації. При створенні пристроїв автоматики розробники та наладчики намагаються вибирати всі елементи одного або кількох виробників. Таким чином, простіше узгоджувати елементи в загальній схемі. У цьому дипломному проекті обрано перетворювач частоти Altivar312 і ПЛК Simens Simatic ET 200S . Тому, в подальшому будемо намагатися підбирати обладнання компаній, що рекомендують ці фірми для кращого узгодження модулів та уникнення додаткових проблем з нестиковкою обладнання.

В даній кваліфікаційній роботі блок управління системи автоматизованого управління реалізовано на програмованому логічному

					ДП.АКІТ.8872457.00.00.000 ПЗ	Арк.
						75
Зм.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата		

контроллері Simens Simatic ET 200S.

Simatic ET 200S включає в себе інтерфейсний модуль IM 151-8 PN/DP CPU для підключення до станції мережі PROFINET IO і підтримки обміну даними з ведучими мережевими пристроями;

Зовнішній вигляд цього модуля представлено на рисунку 3.26, а його технічні характеристики наведені в таблиці 3.3.



Рисунок 3.26. – Інтерфейсний модуль IM 151-8 PN/DP CPU.

Таблиця 3.3 – Технічні характеристики IM 151-8 PN/DP CPU

Найменування	Значення
Номінальне значення напруги живлення	24 В
Вхідний струм	1.8 А
Вихідний струм	700мА
Потужність, що розсіюється	5.5 Ват
Пам'ять завантаження, вставна ММС	8Мб
Зберігання у буфері	Забезпечується за рахунок картки пам'яті
Кількість блоків ЦП	1024 (Блоки даних, функції, функціональні блоки)
Макс. число модулів на систему	63
Інтерфейси/тип шини	PROFINET (3 порти RJ45)
Макс. швидкості передачі даних	100 Мбіт/с; дуплексний зв'язок

– електронні модулі введення виводу дискретних та аналогових сигналів AI, AO, DI, DO.

– технологічний модуль COUNT для вирішення завдань швидкісного рахунку;

– PM-E модуль для моніторингу зовнішніх ланцюгів електронних та технологічних модулів [39].

Для керування в ручному режимі вибираємо сенсорну панель Simens TP-700 з широкоформатним кольоровим дисплеєм TFT, що забезпечує підтримку розвиненого набору функцій людино-машинного інтерфейсу. Також TP-700 забезпечує підтримку розширеного набору діагностичних функцій під час роботи з програмованими контролерами Simens Simatic.

Загальний вигляд панелі представлено рисунку 3.27.



Рисунок 3.27 – Сенсорна панель Simens TP-700

Як витратомір вибраний Simens Mag 6000 – магнітно-індуктивний вимірювальний датчик з компактною сендвічною конструкцією для вимірювання витрати в різних сферах промисловості, що випускається компанією. Принцип вимірювання витрати ґрунтується на законі електромагнітної індукції Фарадея, при якому вимірювальний датчик перетворює витрату в пропорційну швидкості потоку електричну напругу. Вибір заснований на тому, що даний датчик буде легко узгоджуватися і з

					ДП.АКІТ.8872457.00.00.000 ПЗ	Арк.
						77
Зм.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата		

ПЛК і перетворювачем частоти. Також він є надійним та простим при монтажі. Загальний вигляд витратоміра показаний рисунку 3.28. Електрична схема підключення показано рисунку 3.29.



Рисунок 3.28 – Загальний вигляд витратоміра Simens Mag 6000

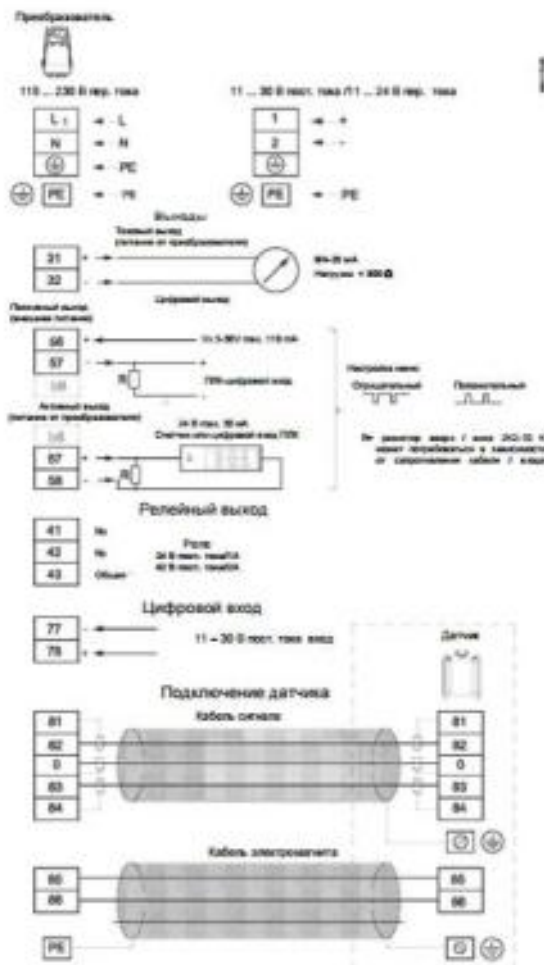


Рисунок 3.29 – Електрична схема підключення витратоміра Simens Mag 6000

					ДП.АКІТ.8872457.00.00.000 ПЗ	Арк.
						78
Зм.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата		

Для захисту від «сухого ходу» обрано датчик протоку рідини типу SI-5002 виробництва фірми IFM Electronic. Він є малогабаритним, якісним, недорогим, має високий рівень надійності, а також добре узгоджується з раніше обраним обладнанням. Загальний вигляд представлений рисунку 3.30.



Рисунок 3.30 – Загальний вигляд датчика протоки SI 5002.

Технічні характеристики представлені у таблиці 3.4.

Таблиця 3.4 – Технічні характеристики датчика протоки 5002

Найменування	Значення
Тиск робочого середовища	від 0,05 до 0,40 МПа
Межі налаштування (уставки) витрати нижня не більше	1,5 л/хв;
верхній щонайменше	30,0 л/хв.
Комутований електричний сигнал:	– напруга постійного струму від 02 до 30В; – напруга змінного струму від 02 до 250В; – струм, постійний та змінний від 2×10^{-4} до 30 А;
Максимальна потужність	70 Вт

Зм.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата

Електрична схема підключення показана рисунку 3.31.

Призначення клем та жил кабеля при підключенні

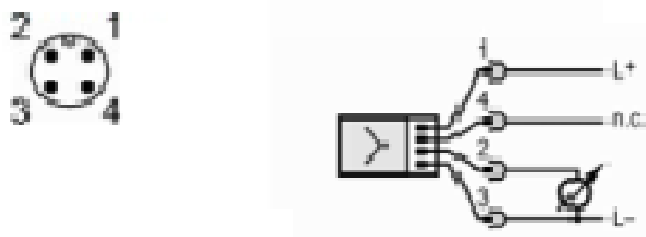


Рисунок 3.31 – Електрична схема підключення витратоміра Simens Mag 6000

Для забезпечення живлення витратоміра, реле протоки, індуктивних датчиків та програмно-логічного контролера, сенсорної панелі оператора необхідно вибрати блок живлення. Необхідна потужність блоку живлення визначається потужністю споживача, навантаженого нею.

Вибираємо багатоканальний блок живлення Sitop MODULAR 10 фірм Simens. Вибір обумовлений тим, що цей блок живлення добре узгоджується з раніше обраним обладнанням. Загальний вигляд блоку живлення представлений рисунку 3.32.



Рисунок 3.32 – Загальний вигляд блоку живлення Sitop MODULAR 10

У таблиці 3.5 подано технічні характеристики блоку живлення.

					ДП.АКІТ.8872457.00.00.000 ПЗ	Арк.
						80
Зм.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата		

Таблиця 3.5 – Технічні характеристики блока живлення

Найменування	Значення
Вхідна напруга: змінного струму;	600 В
Номінальна вихідна напруга каналу	36 В
Максимальний струм навантаження в каналі	0.95
Сумарна вихідна потужність	14 Вт
Частота вхідної змінної напруги	47 ... 63 Гц
Робочий діапазон температур	20...+50 °С
Ступінь захисту корпусу	IP 20

Для захисту всіх елементів електроприводу від коротких замикань та перевантаження під час роботи вибираємо автоматичні вимикачі фірми Schneider Electric [43].

Вибір базується на надійності даного обладнання. А також при виборі враховуються номінальні струми, вказані в паспортах пристроїв, які необхідно захищати від перевантаження та короткого замикання. Технічні характеристики вимикачів наведено у таблиці 3.6.

Таблиця 3.6 – Технічні характеристики автоматичних вимикачів

Призначення автоматичного вимикача	Тип	Кількість полюсів/шт.	Номінальний струм, А
Захист перетворювачів частоти	EASY 9 3П	3/2	63
Захист блоку живлення	EASY 9 1П	1/1	10
Ввідний автоматичний вимикач	EASY 9 3П	3/1	63

Для отримання інформації про стан клапанів (Відкритий/Закритий) вибираємо безконтактні індуктивні датчики положення фірми . Вибір

базується на надійності даного обладнання та наявності механізму захисту від перевантажень та короткого замикання. Загальний вигляд датчика показано малюнку 3.33.



Рисунок 3.33 – Індуктивний датчик ТЕКО

Для світлової індикації вибираємо лампи фірми Schneider Electric (неонова, зеленого кольору), (неонова, червоного кольору) на 24 В, (неонова, жовтого кольору) на 220 В [45].

Розробка принципової електричної схеми автоматизованої системи керування насосною станцією подачі крижаної води.

Відповідно до функціональної схеми АСУ ТП насосної станції подачі крижаної води та обраної елементної бази складено принципову електричну схему, яка зображена в додатку Б.

1) Ввідний автомат QF1.0 виконує функцію підключення всієї системи керування до трифазної мережі.

2) Лампа HL101 засвічується після включення вступного автомата QF1.0.

3) Автоматичний вимикач QF1 виконує функцію захисту перетворювача частоти UZ1 від короткого замикання (таблиця 5.6).

4) Перетворювач частоти UZ1 отримує живлення після увімкнення автоматичного вимикача QF1.

5) Асинхронний електродвигун змінного струму M1 управляється перетворювачем частоти UZ1. Перетворювач отримує живлення від мережі

					ДП.АКІТ.8872457.00.00.000 ПЗ	Арк.
						82
Зм.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата		

трифазної змінної напруги 380 В.

6) Автоматичний вимикач QF2 виконує функцію захисту перетворювача частоти UZ2 від короткого замикання (таблиця 5.6).

7) Перетворювач частоти UZ2 отримує живлення після увімкнення автоматичного вимикача QF2.

8) Асинхронний електродвигун змінного струму M2 управляється перетворювачем частоти UZ2. Перетворювач отримує живлення від мережі трифазної змінної напруги 380 В.

9) Після включення однофазного автомата QF3 включається вентилятор, що фільтрує, необхідний для запобігання перегріву обладнання в шафі управління.

10) Автоматичний вимикач 4 захищає блок живлення від перевантажень.

11) Блок живлення G1 з напругою на виході 24 В живить графічну панель Simens TP 700, програмований контролер Simens Simatic ET 200, реле потоку рідини FT1 і FT2, витратомір FIT1, індуктивні датчики SQ1-SQ30, датчик тиску повітря. Вибір блоку живлення G1 описаний у пункті 3.5.

12) Індуктивні датчики SQ1-SQ30 підключаються до сигнальних входів DI модуля ПЛК Simens Simatic ET 200.

Для регулювання витрати в системі використовується витратомір FIT1, він підключається до сигнального модуля аналогового входу для контролю поточної витрати та технологічного модуля швидкісного рахунку моніторингу кількості рідини, що перекачується. Вибір витратоміра описаний у пункті 5.5.2.

Елементи шафи керування (лампи 1HL1, 1HL3) підключені сигнальних модулів дискретних виходів (DO) ПЛК Simens Simatic ET 200 .

Управління приводами насосної станції здійснюється через ПЛК , який включає і відключає приводи відповідно до вхідних сигналів та за заданою програмою.

					ДП.АКІТ.8872457.00.00.000 ПЗ	Арк.
						83
Зм.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата		

ВИСНОВОК

У даній кваліфікаційній роботі проведено аналіз існуючих САУ насосними станціями подачі крижаної води на п'яти молокопереробних підприємствах, а також досліджено науково-інформаційні джерела з проектування САУ оборотного водопостачання. Вирішено ряд завдань.

1. Досліджено технологічний процес подачі крижаної води на молокопереробних підприємствах

2. Здійснено оцінку технічної ефективності при впровадженні автоматизованої системи управління насосної станцією подачі крижаної води.

3. Обґрунтовано підбір силового обладнання для забезпечення процесу подачі крижаної води із зменшенням енергозатрат.

4. Здійснено розрахунок параметрів характеристики електроприводу, частотного регулювання навантаження на насос та налаштування перетворювача частоти.

5. Розроблено загальну структуру та функціональну схему АСУ ТП насосної станції подачі крижаної води

6. Спроектовано мнемосхеми технологічної лінії подачі крижаної води в системі для автоматичного режиму і ручного режиму.

7. Розроблено алгоритм автоматизованого керування електроприводом насосної станції подачі крижаної води.

8. На основі алгоритму управління розроблено програмне забезпечення для обраного програмованого логічного контролера та інтегровано його в загальну АСУ ТП підприємства.

На основі цього було розроблено сучасну енергоефективну автоматизовану систему управління насосною станцією подачі крижаної води молокопереробного підприємства.

Використання розробленої автоматизованої системи управління

					ДП.АКІТ.8872457.00.00.000 ПЗ	Арк.
						84
Зм.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата		

насосною станцією подачі крижаної води на підприємстві дозволить заощадити до 50 відсотків від електроенергії у порівнянні з попередньою системою управління насосною станцією, а також забезпечити простий та доступний рівень обслуговування, налаштування та коригування роботи об'єкта.

					ДП.АКІТ.8872457.00.00.000 ПЗ	Арк.
						85
<i>Зм.</i>	<i>Арк.</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Підп.</i>	<i>Дата</i>		

ПЕРЕЛІК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Технологія переробки молока: навчальний посібник / Ф. В. Перцевий, П. В. Гурський, О. О. Грінченко [та ін.] – Харків : ХДУХТ, 2006. – 378 с.
2. Єресько Г.О., Шинкарик М.М., Ворощук В.Я. Технологічне обладнання молочних виробництв. Київ: Фірма "ІНКОС", Центр навчальної літератури, 2007. 344 с.
3. Скопенко Н. С. Сучасний стан та тенденції розвитку молочної галузі України / Н. С. Скопенко, А. О. Бовкун // Продукты & ингредиенты. – 2011. – N 4. – С. 36–37.
4. Момчева А. М. Молочний ринок України: сучасний стан та перспективи розвитку /А. М. Момчева // Науковий вісник Ужгородського університету. Економіка. –2010. – Вип. 30. – С. 164-168
5. Постернікова О. О. Розвиток ринку молока та молочних продуктів в Україні / О. О. Постернікова // Придніпровський науковий вісник (Серія: Економічні науки: маркетинг і менеджмент). – 2008. – №11. – С. 98-101.
6. Єресько Г. О. Технологічне обладнання молочних виробництв : навч. посібник / Г. О. Єресько, М. М. Шинкарик, В. Я. Ворощук. – К. : ІНКОС Центр навч. л-ри, 2007. – 344 с.
7. Машкін М. І. Технологія виробництва молока і молочних продуктів: Навчальне видання / М. І. Машкін, Н. М. Париш. – К. : Вища освіта, 2006. – 351 с.
8. Ладанюк А.П. Автоматизація технологічних процесів та виробництв харчової промисловості: Підручник / Ладанюк А.П, Трегуб В.Г., Ельперін І.В., Цюцюра В.Д. // К.: Аграрна освіта. – 2001. – 224 с.
9. Мірошник, В. О. Пастеризатор як об'єкт керування за каналами нагрівання і охолодження молока. / В. О. Мірошник, Т. І. Лендел // Науковий

					ДП.АКІТ.8872457.00.00.000 ПЗ	Арк.
						86
Зм.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата		

вісник Національного університету біоресурсів і природокористування України. Серія: Техніка та енергетика АПК. – 2017. Вип. 261. – С. 79-88.

10. Зобкова, З.С. Молочні продукти з вітамінами. / З.С. Зобкова // Молочна промисловість. - 2004. - № 5. - С. 28-30.

11. Горбачов, В.В. Вітаміни, мікро- та макроелементи: довідник / В.В. Горбачов, В.М. Горбачова.- Мінськ: Книжковий дім, Інтерпрессервіс, 2002. - 544 с.

12. Горбатова, К.К. Фізико-хімічні та біохімічні основи виробництва молочних продуктів/К.К. Горбатова. - Миколаїв: ГІОРД, 2003. -352 с.

13. Технологія молока та молочних продуктів. Методичні вказівки. Буянова І. В. Херсон. 2005. - 22 с.

14. Мухіна В.Г., Бушуєва В.Г. Безпека молочних продуктів. Молочна промисловість. - 2008. - № 2. - С. 35-39.

15. Головка М. П., Власенко І.Г., Головка Т. М., Семко Т. В. Т38 Технологія молока та молочних продуктів з елементам НАССР: навчальний посібник. – Х.: Світ Книг, 2021. – 304 с.

16. Клименко О. П., Каюн І. Г., Шейкус А. Р. Контроль і управління технологічними процесами: навчальний посібник / О. П. Клименко, І. Г. Каюн, А. Р. Шейкус – Дніпро: ДВНЗ УДХТУ, 2019. – 179 с.

17. Трегуб В.Г. Проектування систем автоматизації: Навч. посібник. – К.: Видавництво Ліра-К, 2017. – 344 с.

18. Попович М. Г., Лозинський О. Ю. Електромеханічні системи автоматичного керування та електроприводи: [навчальний посібник] / М. Г. Попович, О. Ю. Лозинський, В. Б. Клепиков та ін.; За ред. М. Г. Поповича, О. Ю. Лозинського. – К.: Либідь, 2005. – 680 с.

19. Попович Н. Г. Елементи автоматизованого електропривода [Текст] / Н. Г. Попович, В. А. Гаврилюк, О. В. Ковальчук, В. І. Теряєв. – К.: УМК ВО, 2019. – 260 с.

					ДП.АКІТ.8872457.00.00.000 ПЗ	Арк.
						87
Зм.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата		

20. Плахтина О. Г. Частотно-керовані асинхронні і синхронні електроприводи [Текст] / О. Г. Плахтина, С. С. Мазепа, А. С. Куцик. – Львів: вид-во НУ «Львівська політехніка», 2002. – 226 с.

21. Клименко О. П., Каюн І. Г., Шейкус А. Р. Контроль і управління технологічними процесами: навчальний посібник / О. П. Клименко, І. Г. Каюн, А. Р. Шейкус – Дніпро: ДВНЗ УДХТУ, 2019. – 179 с.

22. Трегуб В.Г. Проектування систем автоматизації: Навч. посібник. – К.: Видавництво Ліра-К, 2017. – 344 с.

23. Pneumatic Automated Bottle Filling Machine by Irshad. / Rao Farhan, Ali, Omair, Samiullah, Rana. Paperback. LAP LAMBERT Academic Publishing. 2012. – 358p.

24. R.Sakthivel Murugan, R.Nandha Kumar, N.Sathiyamoorthi, J.SreenivasaChakravarthy. Improvisation of Clean-In-Process for Paint Filling Machine in Paint Manufacturing Industries. Advances in Natural and Applied Sciences №11(6): 2017. P.517-523

25. Пупена О.М. Розроблення людино-машинних інтерфейсів та систем збирання даних з використанням програмних засобів SCADA/HMI. : Навч. посіб. Київ : Видавництво Ліра-К, 2020. — 594 с.

26. Єремєєв І.С., Кисельов В.Б. Автоматизовані системи управління технологічними процесами. Харків. Вид. Олді+. 2022. – 324 с.

27 Офіційний сайт фірми Siemens. STEP 7 Professional/ [Електронний ресурс]. Режим доступу:

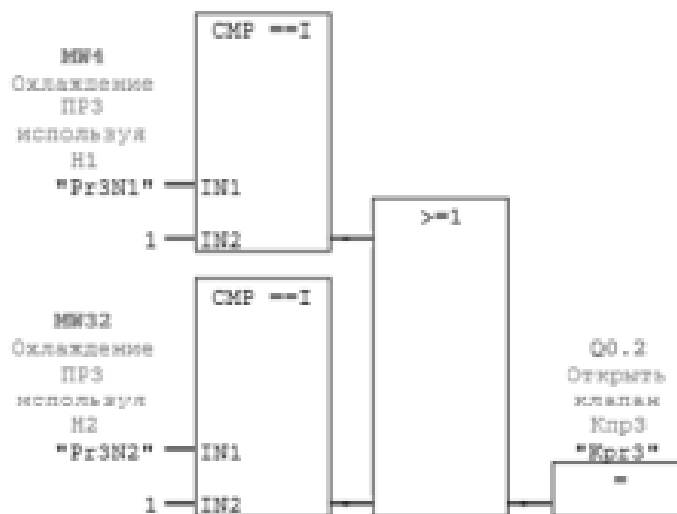
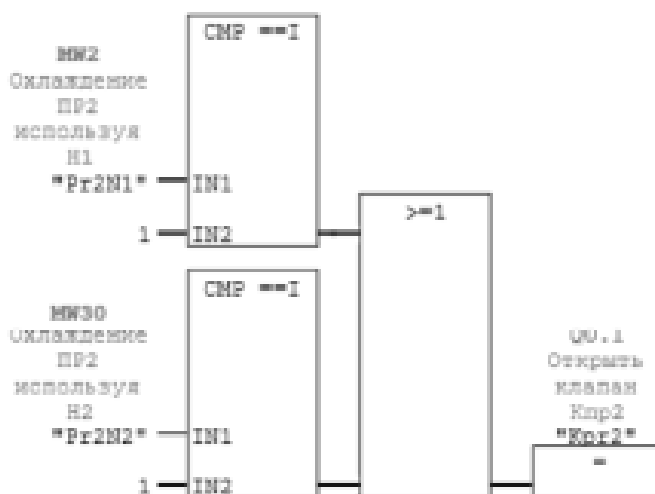
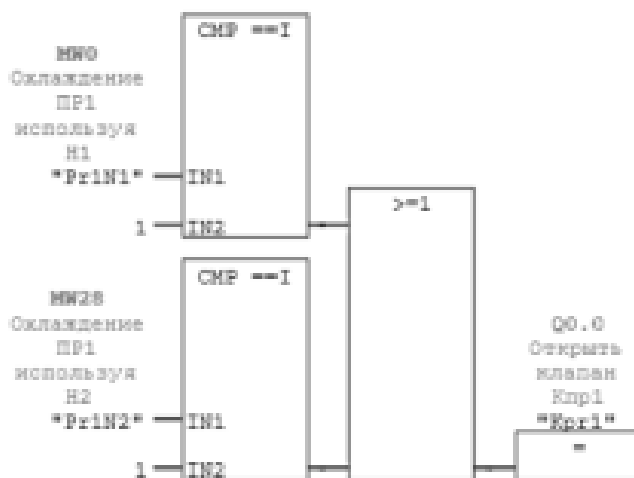
<https://mall.industry.siemens.com/mall/en/WW/Catalog/Products/10314843?tree=CatalogTree&ActiveTab=2>

					ДП.АКІТ.8872457.00.00.000 ПЗ	Арк.
						88
Зм.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата		

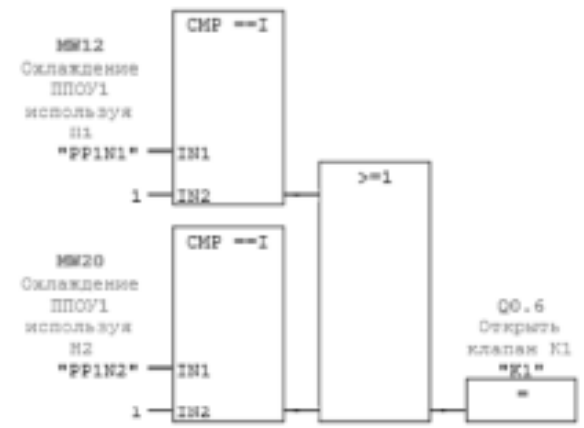
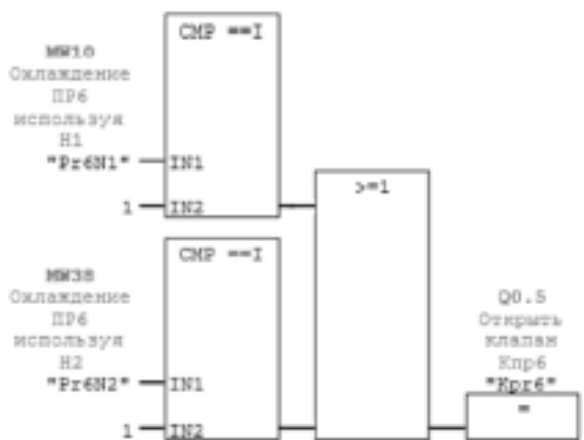
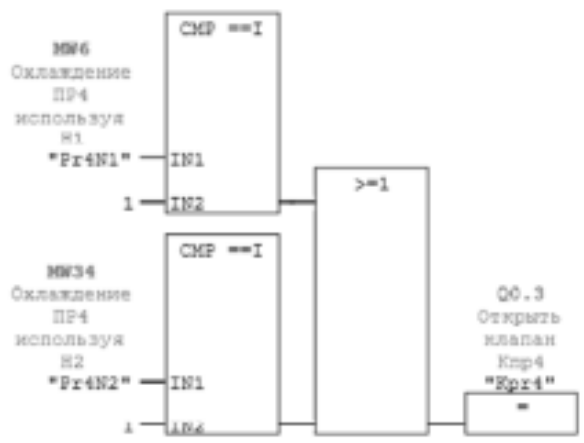
ДОДАТКИ

ДОДАТОК А

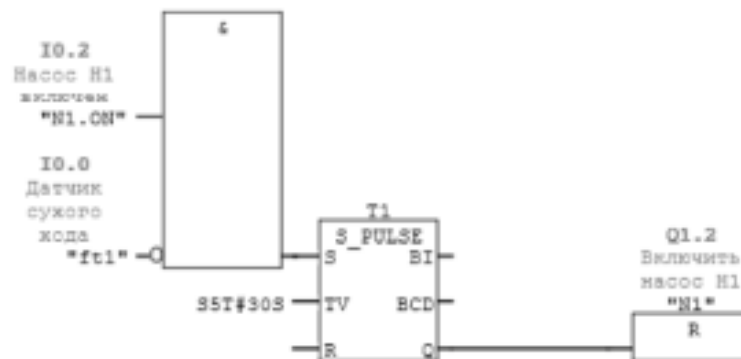
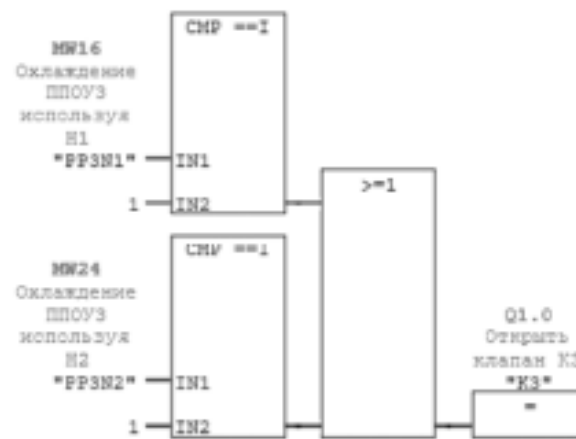
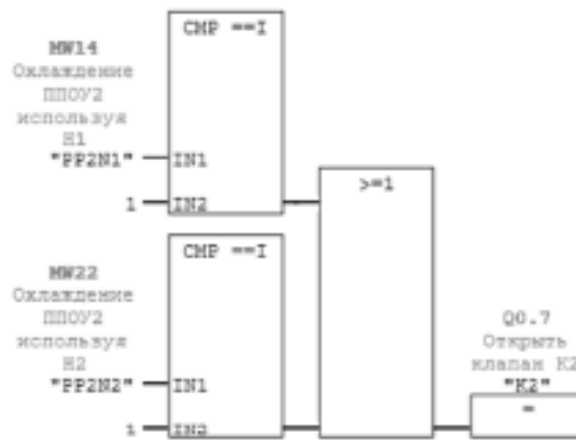
Лістинг програми ПЛК Simatic ET 200S ET-200



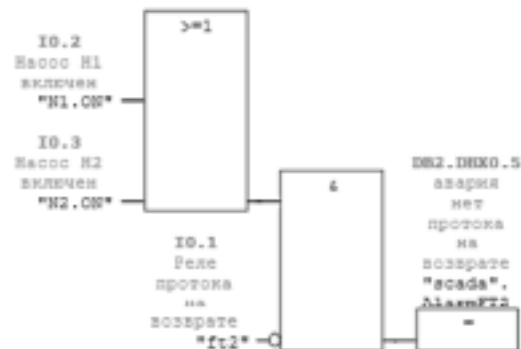
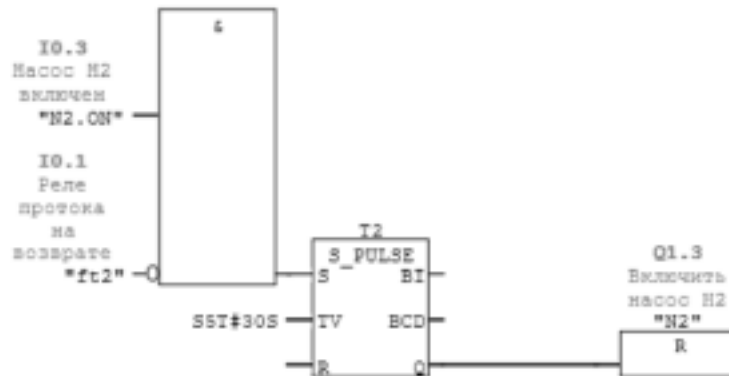
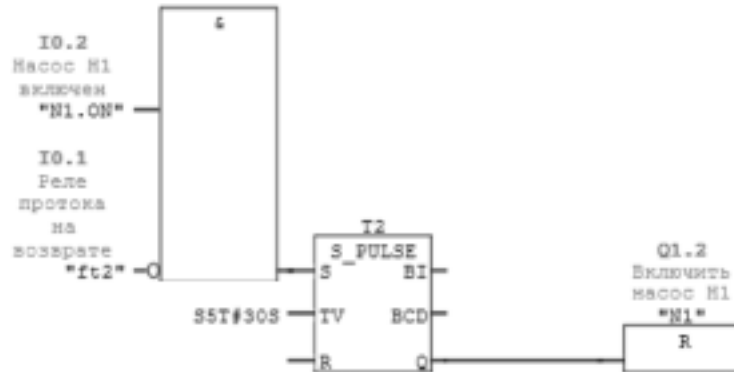
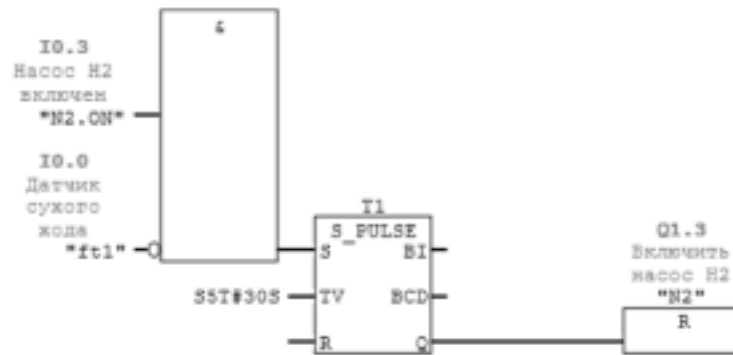
Зм.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата



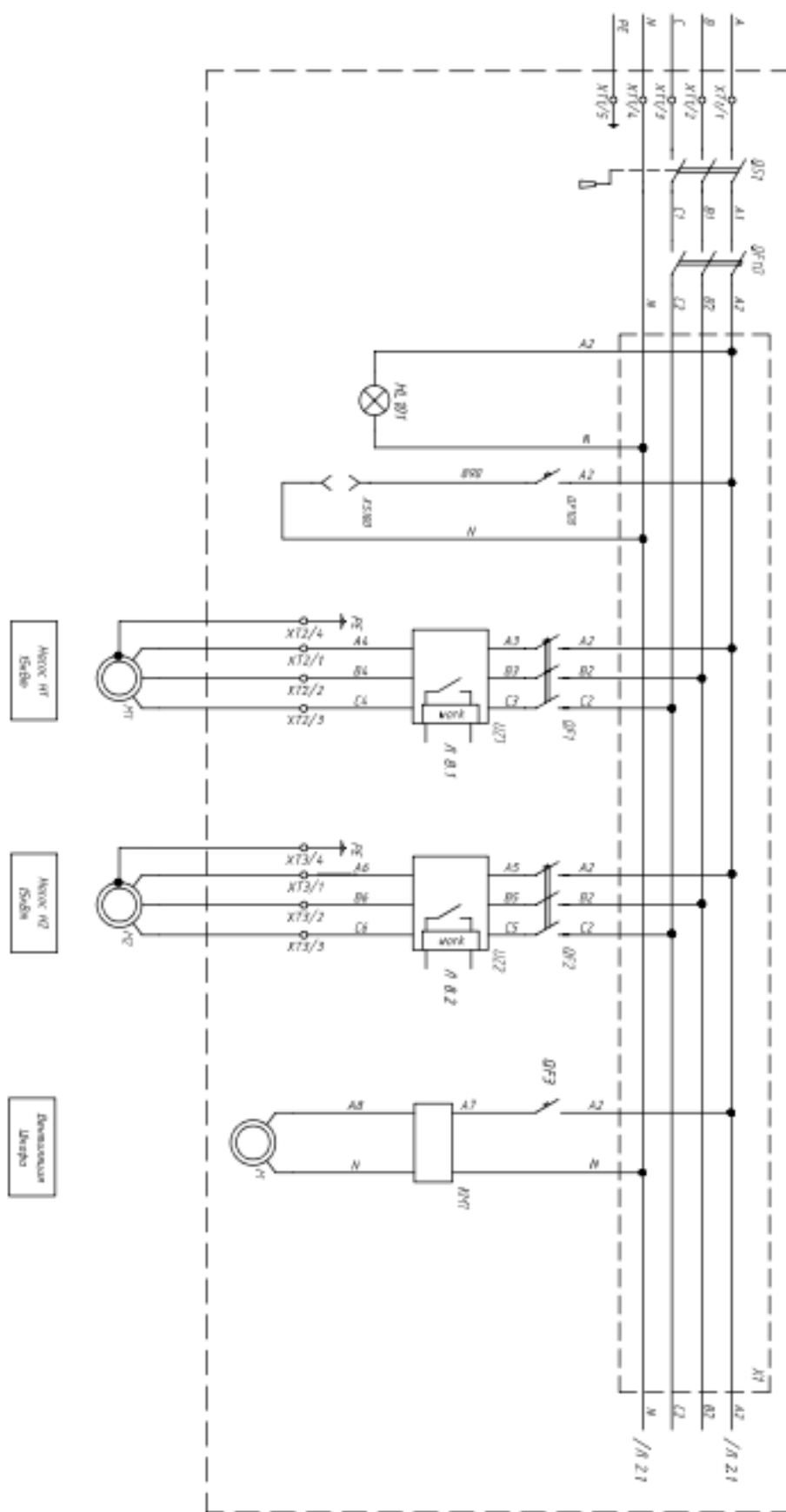
Зм.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата



Зм.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата



Зм.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата



Зм.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата