

**НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ БІОРЕСУРСІВ  
І ПРИРОДОКОРИСТУВАННЯ УКРАЇНИ**

**ІНСТИТУТ ЕНЕРГЕТИКИ, АВТОМАТИКИ І ЕНЕРГОЗБЕРЕЖЕННЯ**

**ДОПУСКАЄТЬСЯ ДО ЗАХИСТУ**

**В.о. завідувача кафедри**  
автоматики та робототехнічних систем  
ім. акад. І.І. Мартиненка  
(назва кафедри)

К.Т.Н., доц. \_\_\_\_\_ О.О. Опришко  
(підпис) (ПІБ)

" \_\_\_\_ " \_\_\_\_\_ 2025 р.

**КВАЛІФІКАЦІЙНА БАКАЛАВРСЬКА РОБОТА**

на тему **"КОМП'ЮТЕРНО-ІНТЕГРОВАНА СИСТЕМА  
АВТОМАТИЧНОЇ ПОДАЧІ ВОДИ СПОЖИВАЧАМ В КП  
"ЗЕЛЕНДОЛЬСЬКИЙ МІСЬКИЙ ВОДОКАНАЛ КРИВОРІЗЬКОГО  
Р-НУ ДНІПРОПЕТРОВСЬКОЇ ОБЛ."**

Спеціальність: 151 - "Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології"

**Гарант освітньої програми**

Д.Т.Н., проф. \_\_\_\_\_  
(науковий ступінь та вчене звання) (підпис)

Заєць Н.А.  
(П.І.Б.)

**Керівник кваліфікаційної бакалаврської роботи**

Д.Т.Н., професор \_\_\_\_\_  
(науковий ступінь та вчене звання) (підпис)

Лисенко В.П.  
(П.І.Б.)

**Виконала**

\_\_\_\_\_ (підпис)

Стеценко С.Ю.  
(П.І.Б.)

**НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ БІОРЕСУРСІВ  
І ПРИРОДОКОРИСТУВАННЯ УКРАЇНИ**

**ІНСТИТУТ ЕНЕРГЕТИКИ, АВТОМАТИКИ І ЕНЕРГОЗБЕРЕЖЕННЯ**

**ЗАТВЕРДЖУЮ**

**В.о. завідувача кафедри**

автоматики та робототехнічних систем

ім. акад. І.І. Мартиненка

(назва кафедри)

К.Т.Н., доц. \_\_\_\_\_ О.О. Опришко  
(підпис) (ПІБ)

" \_\_\_\_ " \_\_\_\_\_ 2025 р.

**ЗАВДАННЯ**

**на виконання кваліфікаційної бакалаврської роботи студенту**

**Стеценко Софії Юрївні**

(прізвище, ім'я, по батькові)

Спеціальність: 151 - "Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології"

1. Тема кваліфікаційної бакалаврської роботи: "Комп'ютерно-інтегрована система автоматичної подачі води споживачам в КП "Зеленодольський міський водоканал Криворізького р-ну Дніпропетровської обл.",

затверджена наказом ректора НУБіП України від "18" 11 2024 р. № 2056"С"

2. Термін подання завершеної роботи на кафедру "29" травня 2025 р.

3. Вихідні дані до кваліфікаційної бакалаврської роботи:

3.1. Завдання кафедри на виконання кваліфікаційної бакалаврської роботи.

3.2. Нормативні документи по проектуванню об'єктів автоматизації.

3.3. Наукова література з тематики кваліфікаційної бакалаврської роботи.

4. Перелік питань, які необхідно розробити:

4.1. Технологічна характеристика об'єкта керування.

4.2. Розробка системи автоматичного регулювання тиску в системі водопостачання.

4.3. Схеми системи автоматизації.

4.4. Техніко-економічне обґрунтування.

5. Перелік графічних документів:

5.1. Функціональна схема автоматизації системи подачі води споживачам.

5.2. Система автоматизації подачі води. Схема електрична принципова.

5.3. Система автоматизації подачі води. Схема електрична з'єднань.

5.4. Система автоматизації подачі води. Схема електрична підключень.

5.5. Система автоматизації подачі води. Зовнішній вид щита керування.

Дата видачі завдання "21" листопада 2024 року

**Керівник  
кваліфікаційної  
бакалаврської роботи**

\_\_\_\_\_  
(підпис)

Лисенко В.П.  
(П.І.Б.)

**Завдання прийняв до  
виконання**

\_\_\_\_\_  
(підпис)

Стеценко С.Ю.  
(П.І.Б.)

## АНОТАЦІЯ

Кваліфікаційна бакалаврська робота присвячена розробці системи автоматичного керування насосами системи водопостачання на базі артезіанських свердловин.

У роботі проведено аналіз об'єкта автоматизації, сформульовано його технологічні характеристики, розроблено математичну модель системи водопостачання, обґрунтовано вибір технічних засобів і алгоритму керування. Проведено дослідження функціонування системи автоматичного керування тиском у водопостачальній мережі та проаналізовано її якісні показники.

Особливу увагу приділено застосуванню інженерних методик, зокрема:

- дослідженню об'єкта автоматизації;
- вибору контрольно-вимірювальних приладів і регулятора;
- розрахунку параметрів налаштування аналогової системи згідно із завданням на проектування;
- переведенню аналогової системи в цифрову та побудові перехідного процесу з технічними характеристиками, що відповідають вимогам;
- розрахунку економічної ефективності запропонованого рішення.

Також розроблено електричні схеми системи керування та виконано техніко-економічне обґрунтування прийнятих інженерних рішень.

## ЗМІСТ

ВСТУП .....	6
РОЗДІЛ 1.ТЕХНОЛОГІЧНА ХАРАКТЕРИСТИКА ОБ'ЄКТА КЕРУВАННЯ.....	9
1.1. Інформаційний аналіз об'єкта керування .....	9
1.2. Розробка функціональної схеми автоматизації .....	14
РОЗДІЛ 2.РОЗРОБКА СИСТЕМИ АВТОМАТИЧНОГО РЕГУЛЮВАННЯ ТИСКУ В СИСТЕМІ ВОДОПОСТАЧАННЯ.....	16
2.1. Дослідження системи водопостачання як об'єкта керування.....	16
2.2. Вибір алгоритму регулювання та визначення параметрів настройки регулятора .....	23
2.3. Реалізація алгоритму регулювання .....	26
2.3.1. Вибір промислового регулятора.....	26
2.3.2. Вибір первинного вимірювального перетворювача САР .....	28
2.3.3. Вибір виконавчого механізму САР та визначення його передатної функції.....	32
2.3.4. Вибір часу дискретизації для побудови процесу системи автоматичного керування.....	35
2.4. Оцінка стійкості системи автоматичного регулювання тиску в системі водопостачання.....	38
2.5. Визначення показників якості роботи системи .....	41
РОЗДІЛ 3.СХЕМИ СИСТЕМИ АВТОМАТИЗАЦІЇ.....	43
3.1. Розробка програми керування процесом в програмному середовищі ТІА Portal.....	43
3.2. Розрахунок електропривода насоса станції другого підйому К45/30 ....	50
3.3. Розробка схеми електричної принципової системи водопостачання.....	60
3.4. Вибір апаратів захисту та керування .....	74
3.5. Вибір проводів та кабелів.....	81
3.6. Розробка схеми електричної з'єднань .....	83
3.7. Розробка схеми електричної підключень .....	84
3.8. Вибір щита керування.....	85
3.9. Розрахунок показників надійності системи водопостачання .....	89
3.10. Екологія.....	91
РОЗДІЛ 4.ТЕХНІКО – ЕКОНОМІЧНЕ ОБҐРУНТУВАННЯ .....	94
ВИСНОВКИ.....	97
ЛІТЕРАТУРА .....	99
ДОДАТОК А.....	101
ДОДАТОК Б .....	103
ДОДАТОК В.....	105

## ВСТУП

В кваліфікаційній бакалаврській роботі виконано автоматизацію системи артезіанського водопостачання за допомогою забірного резервуару питної води та насосної станції другого підйому, яка безпосередньо і подає воду до споживачів.

Для централізованого водопостачання населених пунктів, що є споживачами КП "Зеленодольський міський водоканал", підприємство використовує артезіанські свердловини з водоносних горизонтів розташованих на глибині 100-150 м і на глибині 220-350 м від поверхні землі. Між цими горизонтами розмістився шар щільної глини завтовшки близько 60 метрів. Вже це може свідчити про те, що вода в цих горизонтах чиста, бактерійно знезаражена, оскільки накопичувалася там, в повному розумінні слова, століттями. Розташовані вище цього рівня водоносні горизонти мають незначну потужність, якість води в них не відповідає вимогам, поставленим до питної води, і тому особливої цінності, як джерела централізованого водопостачання, вони не мають.

Для того, щоб артезіанську воду добути і доставити до споживача, спочатку виконується процес буріння свердловини. Бурять артезіанські свердловини діаметром 25-30 см. Після завершення процесу буріння наступний етап – зміцнення стовбура за допомогою облогових труб. Щоб стінки свердловин не обсипалися, їх зміцнюють колоною обсадних труб. Свердловина не може використовуватися без фільтрувальної колони, яка містить сітку для грубого очищення води і перфорацію. Перфорований сектор доповнюється шаром, що фільтрує, в якому присутній відстійник. У ньому осідає шлам. Для встановлення фільтра з колони видаляють шлам і заглушують її низ за допомогою мішечка за розміром колони, наповненого цементною сумішшю. Його опускають на дно колони і через три доби пробка надійно застигне. Вода поступає в ствол бурової свердловини.

Після цього на колоні водопідйомних труб у свердловину занурюють занурювальний насос. Насос подає воду, яка потрапляє в резервуари чистої води, розташовані на насосних станціях.

Вода з підземних водоносних горизонтів Криворізької міської агломерації, в основному, відповідає українським стандартам якості питної води, ДСанПіН 2.2.4-171.-10, і не потребує очистки. Однак, артезіанська вода зі свердловин, яка має задовільний хімічний склад та водоводами надходить у резервуари чистої води на території насосних станцій, лише знезаражується хлором і подається у міську водопровідну мережу.

На сьогодні КП "Зеленодольський міський водоканал" має артезіанські свердловини у місті Зеленодольськ, селі Велика Долина, с. Мар'янське та насосну станцію другого підйому. Основне завдання обслуговуючого персоналу насосної станції - безперебійне подання питної води у необхідній кількості, і, що саме головне, відповідної якості.

Артезіанське водопостачання КП "Зеленодольський міський водоканал" має прекрасні перспективи розвитку. Це обумовлено, передусім, наявністю великих запасів підземних вод. Так само, цьому сприяють якість води з поверхневих джерел водозабору, що все погіршується, безконтрольна техногенна діяльність, також військові дії. Воду отримували від мереж ДТЕК КРИВОРІЗЬКА ТЕС (відгалуження каналу «Дніпро-Кривий Ріг» в ставок-охолоджувач), вода Каховського водосховища, а після руйнування Каховської дамби вода надходить від річки Інгулець. Зміна джерела водопостачання призвела до значного погіршення вихідної води, з підвищеним солевмістом, хлоридами, сульфатами та іншими показниками.

Поверхневий водозабір функціонує, але подібні ситуації ще раз доводять, що за артезіанським водопостачанням майбутнє.

Загальна проектна потужність водопостачання для споживачів КП "Зеленодольський міський водоканал" складає – 21,6 тис. м<sup>3</sup>/добу. Фактична потужність залежить від потреби у питній воді основних споживачів та

коливається як сезонно так і добово. Фактичний обсяг води, що подається 2,8-3,0 тис. м<sup>3</sup> на добу.

На сьогодні середньодобова подача питної води споживачам КП "Зеленодольський міський водоканал" артезіанським водопроводом становить приблизно до 1,2 тис. м<sup>3</sup>/добу.

*Метою кваліфікаційної випускної роботи є розроблення системи автоматичного керування тиском в системі водопостачання з метою стабілізації статичного напору.*

*Задачі бакалаврської роботи:*

- розробити та дослідити математичну модель системи водопостачання як об'єкта керування, визначити її передатну функцію;
- обґрунтувати вибір алгоритму регулювання тиску в системі водопостачання та технічних засобів його реалізації;
- провести аналіз показників якості функціонування системи автоматичного регулювання, дослідити її на стійкість;
- розробити електричні схеми системи регулювання, вибрати пускозахисну апаратуру, проводи і кабелі;
- економічно обґрунтувати доцільність прийнятих інженерних рішень.

## РОЗДІЛ 1

### ТЕХНОЛОГІЧНА ХАРАКТЕРИСТИКА ОБ'ЄКТА КЕРУВАННЯ

#### 1.1. Інформаційний аналіз об'єкта керування

Даний технологічний процес це - отримання води з артезіанської свердловини, знезараження її та постачання питної води споживачам.

Артезіанська вода – вода високої якості, не потребує очищення і широко використовується в водопостачанні. Основне призначення артезіанського водопостачання полягає в забезпеченні споживачів доброякісною, безпечною для здоров'я питною водою.

Із артезіанської свердловини, насосною станцією першого підйому вода подається в збірні резервуари питної води. Резервуари питної води замінили неефективні для міст водонапірні башти, так як башта має бути вища за найвищий будинок в населеному пункті.

Насосною станцією другого підйому із збірного резервуару вода вже подається безпосередньо до споживача.

На (рис.1.1) зображена схема постачання питної води споживачам на базі артезіанських свердловин.

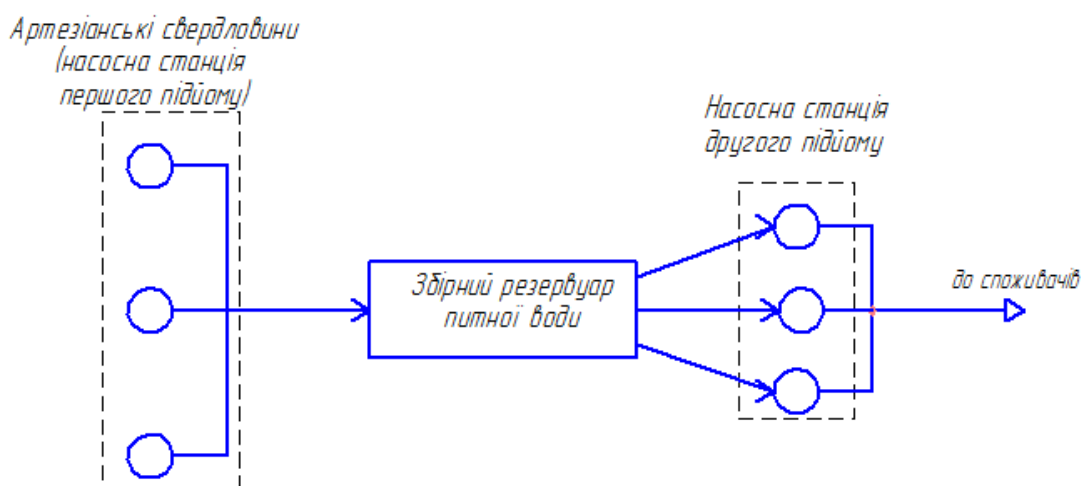


Рис. 1.1. Схема артезіанського питного водопостачання

До важливих параметрів води відносяться її мікробіологічні показники.

На деяких артезіанських водозаборах воду з свердловини знезаражують за допомогою хлорування. Цей метод полягає у внесенні в воду сполук, які

містять активний хлор здатний окислювати мікроорганізми та органічні речовини.

Це зумовлено тим що, якщо брати до уваги міську систему трубопроводів для водопостачання, то більшість з цих трубопроводів вже працюють більше зазначеного терміну експлуатації. Отже для відповідності санітарно-епідеміологічним нормам по мікробіологічним показникам проводять знезараження артезіанської питної води.

Основними властивостями технологічного процесу з постачання питної води споживачам з артезіанських свердловин є регулювання рівня питної води в резервуарі чистої води та регулювання тиску в трубопроводі.

Обов'язковим є реєстрація та показання - рівня води в резервуарі, тиск та витрати води в трубопроводі.

Споживання води населенням на протязі року нерівномірне. Влітку її витрачають більше, ніж взимку. Також нерівномірне водоспоживання на протязі доби та тижня. Режим водопостачання мусить відповідати фактичним витратам води споживачами. Тому прогнозування режиму водоспоживання є важливим моментом.

На протязі доби вода споживається нерівномірно: вдень витрати більше, ніж уночі. Коливання споживання води по годинам залежить від кількості населення: чим менше населений пункт, тим значніше ця нерівномірність.

Споживання води також змінюється на протязі години. Однак при розрахунках дозволяється приймати споживання води у годину постійним.

В даному технологічному процесі витрата питної води споживачами досягає найбільших витрат в ранковий та в вечірній період, зокрема і в день воду можуть споживати підприємства, які знаходяться в районі водопостачання даної станції, отже для того щоб компенсувати зменшення тиску води в трубопроводі вмикають додаткові насоси.

Класифікація процесів і виробництв технологічного об'єкта керування (ТОК):

- за типом технологічного процесу ТОК є – гідромеханічним процесом;

- за ступенем важливості ТОК у виробництві є «основним» і виконує задану функцію - безперебійне постачання питної води споживачам;
- за характером часового режиму функціонування даний об'єкт керування є ТОК неперервної дії;
- за інформаційною ємністю ТОК класифікується в залежності від числа технологічних параметрів, що беруть в управлінні є «малі» (3-5) параметрів;
- за характером параметрів керування ТОК є - із зосередженими параметрами, в яких регулюючі параметри (в даний момент часу, в різних точках апарату) мають одне і те ж саме значення відповідного параметру.

Інформаційний аналіз питного водопостачання на базі артезіанських свердловин, структурна схема даного об'єкта керування приведена на (рис. 1.2).

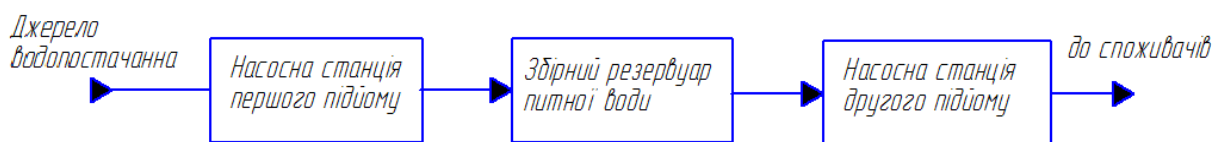


Рис. 1.2. Структурна схема водопостачання на базі артезіанських свердловин

Із структурної схеми (рис.1.2) видно, що основним процесом тут є гідромеханічний, так як воду із свердловини до споживача подають за допомогою механічної дії, тобто за допомогою електричних насосів, які в свою чергу електричний струм перетворюють в механічну дію.

Основні технологічні показники водопостачання на базі артезіанської свердловини:

- Середня розрахункова витрата води (середня за рік) на господарсько-питні потреби споживачів розраховується за формулою

$$Q_{сер.доб} = \frac{N_{жс} \cdot q_{жс}}{1000}, \frac{м^3}{доб}, \quad (1.1)$$

де:  $N_{жс}$  – розрахункова кількість мешканців, чоловік;

$q_{жс}$  - норма водоспоживання на одного мешканця, л/(доб·чол).

При розрахунках було взято приблизні дані щодо кількості населення в районі де відбувається водопостачання даною насосною станцією, отже  $N_{жс}=3900$ , а середня витрата води на господарсько-питні потреби на одного жителя складає,  $q_{ж}=225$  л/(доб·осіб)

$$Q'_{сер.доб} = K_{п} \cdot Q_{сер.доб} \cdot \frac{M^3}{доб}, \quad (1.2)$$

де : Q - добова витрата з урахуванням водоспоживання на потреби місцевої промисловості;

$K_{п}$  – це коефіцієнт витрати води на господарсько–питні потреби підприємствами. У нашому випадку  $K_{п}=1.1$ .

Таким чином, на основі виразу (1.1), (1.2) матимемо

$$Q_{сер.доб} = 1,1 \cdot \frac{3900 \cdot 225}{1000} = 965,25 \frac{M^3}{доб} \quad (1.3)$$

- Добові витрати води при найбільшому водоспоживанні розраховують за формулою

$$Q_{маx.доб} = K_{маx.доб} \cdot Q'_{сер.доб} \cdot \frac{M^3}{доб}, \quad (1.4)$$

де  $K_{маx.доб}$  – коефіцієнт добової нерівномірності водоспоживання, що враховує уклад життя населення, режим роботи підприємств, рівень благоустрою будинків, зміни водоспоживання по сезонам року, складає  $K_{маx.доб}=1,1 \div 1,3$  (середній 1,2)

$$Q_{сер.доб} = 1,2 \cdot 965,25 = 1158,3 \frac{M^3}{доб} \quad (1.5)$$

- Максимальні погодинні витрати води визначаються за формулою

$$q_{маx.год} = \frac{Q_{маx.доб}}{24} \cdot K_{маx.год} \cdot \frac{M^3}{доб}, \quad (1.6)$$

де  $K_{маx.год}$  – це коефіцієнт годинної нерівномірності водоспоживання, визначається за формулою

$$K_{маx.год} = \alpha_{маx} \cdot \beta_{маx}, \quad (1.7)$$

де :  $\alpha_{маx} = 1,2 \div 1,4$  - коефіцієнт, що враховує ступінь благоустрою будинків, режим роботи підприємств та інші місцеві умови;

$\beta_{\max} = 1,3$ —коефіцієнт, що враховує кількість мешканців у населеному пункті.

Отже, маємо коефіцієнт  $K_{\max.год} = 1,4 \cdot 1,3 = 1,82$ ,

$$q_{\max.доб} = \frac{1158,3}{24} \cdot 1,82 = 87,8 \frac{м^3}{доб}. \quad (1.8)$$

- Мінімальна добова витрата водоспоживання визначається за формулою

$$Q_{\min.доб} = K_{\min.доб} \cdot Q_{\text{ср.доб}}, \frac{м^3}{доб}, \quad (1.9)$$

де  $K_{\min.доб}$  — це коефіцієнт добової нерівномірності водопостачання, з урахуванням благоустрою будинків та режиму роботи підприємств, отже  $K_{\min.доб} = 0,85$

$$Q_{\min.доб} = 0,85 \cdot 877,5 = 745,88 \frac{м^3}{доб}$$

- Мінімальна витрата води за годину визначається за формулою

$$q_{\min.год} = \frac{K_{\min.год} \cdot Q_{\min.доб}}{24}, \frac{м^3}{доб}, \quad (1.10)$$

де  $K_{\min.год} = 0,5$ , - коефіцієнт що враховує кількість жителів, та режим роботи підприємств в даному районі водопостачання.

$$q_{\min.год} = \frac{0,5 \cdot 745,88}{24} = 15,54 \frac{м^3}{доб}$$

- Об'єм резервуару чистої води являє собою залізобетонну конструкцію розміри якої є: висота  $H=3,5$ м, довжина  $L=10$ м, ширина  $D=14$ м. Загальний об'єм визначається за формулою

$$V = h \cdot l \cdot k, м^3 = V = 3,5 \cdot 10 \cdot 14 = 490 м^3. \quad (1.12)$$

- Для стабільного водопостачання води споживачам необхідно підтримувати 35-метровий стовп води або 3,5 бари, в загальноприйнятій системі вимірювання та для роботи підприємств на даній території водопостачання.

Метою керування процесом водопостачання, в загальному випадку, є безперебійне забезпечення споживачів якісною питною водою.

Відповідно якщо розглядати водопостачання на базі артезіанської свердловини, як об'єкт керування, то параметри даного процесу можна розділити на три групи, які приведені на інформаційній схемі даного об'єкта керування (рис.1.3).

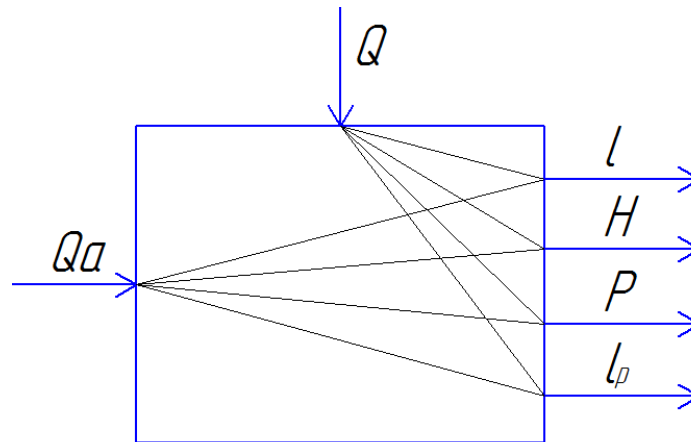


Рис. 1.3. Інформаційна схема водопостачання на базі артезіанської свердловини:  $l$  – рівень подачі води;  $p$  – рівень води у збірному резервуарі;  $P$  – тиск води в трубопроводі;  $H$  – напор води;  $Q_a$  – це подача води до резервуара (можливі управляючі дії);  $Q$  – це витрата води споживачам (можливі контрольовані збурення)

## 1.2. Розробка функціональної схеми автоматизації

На листі 1 графічної частини кваліфікаційної бакалаврської роботи зображена функціональна схема автоматизації системи керування насосною станцією водопостачання із артезіанських свердловин.

Для подачі води із артезіанської свердловини використовуються три занурювальні насоси - насосна станція першого підйому. Перший насос – «основний занурювальний насос», він подає воду до збірного резервуару питної води у випадку якщо рівень в резервуарі зменшиться до 3 м (максимальний рівень складає 3,5 м), і працює до тих пір поки резервуар не буде наповнений до максимальної позначки, у випадку якщо потужностей основного занурювального насосу не вистачає, і рівень в резервуарі знижується до 2,5м – то вмикається другий насос – «допоміжний занурювальний насос», і відповідно вимикається при досягненні максимального рівня в резервуарі. Третій насос використовується в якості «резервного занурювального насосу» він спрацьовує

при аварійному рівні в резервуарі - 1,5 м. Для захисту занурювальних насосів від сухого ходу, використовуються кондуктометричні давач рівня. І відповідно якщо рівень в свердловині зменшиться і насос з давачом не буде знаходитись у воді то давач дасть сигнал контролеру розімкнути коло живлення насосу, і, відповідно, спрацює сигналізація. Рівень в резервуарі вимірюється поплавковим давачом рівня з аналоговим виходом.

Для постачання питної води до споживачів використовується насосна станція другого підйому. В склад даної насосної станції входить три відцентрових насоси. «Основний відцентровий насос» - керується за допомогою частотного перетворювача, який встановлений для підвищення енергоефективності насосної станції, і керується відповідно до тиску в трубопроводі, при збільшенні витрат тиск зменшується, а при зменшенні витрат навпаки. «Допоміжний відцентровий насос вмикається при досягненні максимальної витрати основного насоса яка становить 45 м<sup>3</sup>/год., і працює без перетворювача частоти, тобто коли витрата буде менша 45 м<sup>3</sup>/год., то даний насос вмикається. «Резервний відцентровий насос» використовується у випадку аварійної ситуації, зокрема виходу з ладу основного чи допоміжного насосу.

Сигнал від первинних перетворювачів – давача витрат (витрата води), давача тиску (тиск води в трубопроводі), давача рівня (рівень в збірному резервуарі) надходять до контролера, який виконує задану програму керування даним об'єктом керування, за допомогою аналогових виходів контролер передає всю інформацію від давачів на відеографічний реєстратор. Реєстрація даних параметрів керування – витрата води, тиск води в трубопроводі, та рівень в збірному резервуарі відбувається відеографічним безпаперовим відеографом, який, в свою чергу може, одночасно реєструвати і показувати всі дані параметри.

## РОЗДІЛ 2

### РОЗРОБКА СИСТЕМИ АВТОМАТИЧНОГО РЕГУЛЮВАННЯ ТИСКУ В СИСТЕМІ ВОДОПОСТАЧАННЯ

#### 2.1. Дослідження системи водопостачання як об'єкта керування

Проведемо математичний аналіз динамічних властивостей асинхронного перетворювача, розглядаючи його як об'єкт керування. Для реалізації керування моментом і швидкістю двигуна в широких межах при сприятливих умовах необхідно змінювати частоту підведеної напруги, впливаючи на швидкість поля і амплітуду напруги, визначену при даній частоті магнітний потік двигуна.

Аналіз динамічних процесів перетворення енергії в асинхронному двигуні являє собою складну задачу в зв'язку з існуючою не лінійністю рівнянь, обумовлений наявністю похідних змінних. Дослідження динамічних процесів при широких межах вимірювання швидкості доцільно вести з застосуванням обчислювальної техніки. Для даних цілей зручну форму математичного опису, якщо вирішити кожне рівняння відносно похідної потокозчеплення та записати:

$$\left. \begin{aligned} \frac{d\psi_{1x}}{dt} &= u_{1x} - \frac{R_1 L_2}{L_1 L_2 - L_{12}^2} \psi_{1x} + \frac{R_1 L_{12}}{L_1 L_2 - L_{12}^2} \psi_{2x} + \omega_{0ел} \psi_{1y}, \\ \frac{d\psi_{1y}}{dt} &= u_{1y} - \frac{R_1 L_2}{L_1 L_2 - L_{12}^2} \psi_{1y} + \frac{R_1 L_{12}}{L_1 L_2 - L_{12}^2} \psi_{2y} + \omega_{0ел} \psi_{1x}, \\ \frac{d\psi_{2x}}{dt} &= -\frac{R_2 L_1}{L_1 L_2 - L_{12}^2} \psi_{2x} + \frac{R_2 L_{12}}{L_1 L_2 - L_{12}^2} \psi_{1x} + (\omega_{0ел} - \omega_{ел}) \psi_{2y}, \\ \frac{d\psi_{2y}}{dt} &= -\frac{R_2 L_1}{L_1 L_2 - L_{12}^2} \psi_{2y} + \frac{R_2 L_{12}}{L_1 L_2 - L_{12}^2} \psi_{1y} + (\omega_{0ел} - \omega_{ел}) \psi_{2x}, \\ M &= \frac{p_n L_{12}}{L_1 L_2 - L_{12}^2} (\psi_{1y} \psi_{2x} - \psi_{1x} \psi_{2y}), \end{aligned} \right\} \quad (2.1)$$

де:  $\psi_{1x}$  і  $\psi_{1y}$  - компоненти потокозчеплення статора у вибраній системі координат;

$\psi_{2x}$  і  $\psi_{2y}$  - Аналогічно, це були б компоненти потокозчеплення ротора в тій же системі координат;

$u_{1x}$  і  $u_{1y}$  - Це компоненти напруги статора (або прикладеної напруги) у вибраній системі координат;

$R_1$  - Опір статора. Враховує резистивні втрати в обмотках статора;

$R_2$  - Опір ротора. Враховує резистивні втрати в обмотках ротора;

$L_1$  - індуктивність статора. Представляє власну індуктивність обмотки статора;

$L_2$  - індуктивність ротора. Представляє власну індуктивність обмотки ротора;

$L_{12}$  - взаємна індуктивність між обмотками статора та ротора. Цей термін є вирішальним, оскільки він пов'язує магнітні поля статора та ротора;

$\omega_0 x$  - кутова частота живлячої напруги або синхронна кутова швидкість обертового магнітного поля;

$\omega_{xx}$  - компонент кутової швидкості ротора у вибраній системі відліку;

$M$  - електромагнітний момент, що розвивається двигуном. Останнє рівняння явно обчислює  $M$ ;

$p_n$  - кількість пар полюсів двигуна. Електромагнітний момент пропорційний кількості пар полюсів.

Таким чином, для розглянутих умов процеси електромеханічного перетворення в асинхронному двигуні описуються трьома останніми рівняннями системи (2.1).

Виконаємо допоміжні перетворення

$$\frac{R_2 L_1}{L_1 L_2 - L_{12}^2} = \frac{\omega_{0ел.ном} R_2 (x_{1н} + x_{\muн})}{(x_{1н} + x_{\muн})(x_{2н} + x_{\muн}) - x_{\muн}^2} = \frac{\omega_{0ел.ном} R_2}{\frac{x_{\muн}}{x_{1н} + x_{\muн}} x_{1н} + x_{2н}} = \frac{\omega_{0ел.ном} R_2}{x_{1н} + x_{\muн}} = \omega_{0ел.ном} S_k, \quad (2.2)$$

де: індексом «н» позначено, що індуктивні опори  $x_{1н}$ ,  $x_{2н}$ ,  $x_{\muн}$  відповідають номінальній частоті мережі  $\omega_{0ел.ном}$ ; враховано що,  $x_{\muн} \gg x_{1н}$ ;  $S_k$  визначено при  $R_1 = 0$ . З врахуванням отриманих значень  $\psi_{1x}$  та  $\psi_{1y}$  і останнього співвідношення три вказаних рівняння системи (2.1) запишуться у вигляді:

$$\left. \begin{aligned} \psi_{2x} + T_e \frac{d\psi_{2x}}{dt} - \frac{s_a}{s_k} \psi_{2y} &= 0; \\ \psi_{2y} + T_e \frac{d\psi_{2y}}{dt} + \frac{s_a}{s_k} \psi_{2x} &= \frac{L_{12}}{L_1} \frac{U_{1max}}{\omega_{0ел}}; \\ M &= \frac{p_n L_{12}}{L_1 L_2 - L_{12}^2} \left( \frac{U_{1max}}{\omega_{0ел}} \right) \psi_{2x}, \end{aligned} \right\} \quad (2.3)$$

де:  $T_e = \frac{1}{\omega_{0\text{ел.ном}} S_K}$  – електромагнітна постійна часу;  $S_a = \frac{(\omega_{0\text{ел}} - \omega_{\text{ел}})}{\omega_{0\text{ел.ном}}}$  – абсо-

лютне ковзання, рівне відношенню вимкнення швидкості двигуна  $\omega$  від швидкості поля  $\omega_{0\text{ном}}$  при частоті  $f_1$  до швидкості поля  $\omega_{0\text{ном}}$  при частоті  $f_{1\text{ном}}$ .

Покладемо  $d/dt=s$  і зробимо перетворення алгебраїзованих рівнянь (2.3), маючи на увазі, що ці рівняння нелінійні і тому допустимі тільки такі їх перетворення, при яких строго зберігається передбачений вихідними рівняннями порядок диференціювання змінних. З цією метою спочатку з першого рівняння визначимо

$$\psi_{2y} = \frac{S_K}{S_a} (1 + T_e s) \psi_{2x}. \quad (2.4)$$

Підставивши (2.4) у друге рівняння системи (2.3) з дотриманням виходить порядку диференціювання змінних, отримаємо

$$\psi_{2x} = - \frac{(L_{I2}/L_1)(U_{\text{Imax}}/\omega_{0\text{эл}})}{(1 + T_e s) \left[ \frac{S_K}{S_a} (1 + T_e s) \right] + \frac{S_a}{S_K}}. \quad (2.5)$$

Підстановка (2.5) в третє рівняння системи (2.3) дає шуканий вираз механічної характеристики:

$$M = \frac{2M_K}{(1 + T_e s) \left[ \frac{S_K}{S_a} (1 + T_e s) \right] + \frac{S_a}{S_K}}, \quad (2.6)$$

$$\begin{aligned} M_K &= \frac{1}{2} \frac{p_n L_{I2}^2 / L_I (U_{\text{Imax}} / \omega_{0\text{эл}})^2 \omega_{0\text{эл.ном}}^2}{\omega_{0\text{эл.ном}}^2 (L_1 L_2 - L_{I2}^2)} = \\ &= \frac{1}{2} \frac{p_n (U_{\text{Imax}} / \omega_{0\text{эл}})^2 \omega_{0\text{эл.ном}}^2}{\left( x_{IH} + x'_{2H} + x_{IH} x'_{2H} \frac{2x_{\mu H} + x'_{2H}}{x_{\mu}^2} + \frac{x_{\mu}^2}{x_{\mu}} \right)} = \frac{3(U_I / \omega_0)^2 \omega_{0\text{ном}}}{2(x_{IH} + x'_{2H})}. \end{aligned} \quad (2.7)$$

В останньому записі критичного моменту  $M_K$  проведений перехід від максимальної напруги  $U_{I\text{max}}$  двохфазної моделі двигуна до реального діючим значенням напруги на фазі трифазного двигуна  $U_I$ . За формулою

$$U_{\text{Imax}(2\phi)} = \frac{3}{2} k_c U_{\text{Imax}(3\phi)} = \frac{3}{2} \sqrt{\frac{2}{3}} \sqrt{2U_I} = \sqrt{3} U_I. \quad (2.8)$$

Крім того, враховано, що  $x_{\mu H} \gg x_{1H}$  та  $x_{\mu H} \gg x'_{2H}$ . Незавжди довести, що отримане значення  $M_K$  збігається з визначенням при  $R_l=0$  і ( $\omega_0 = \omega_{ном}$ ). Таким чином, отримане наближене рівняння механічної характеристики в якості окремого випадку статичного режиму роботи ( $s=0$ ) дає рівняння статичної механічної характеристики при  $R_l = 0$ . Однак воно виражено в функції абсолютного ковзання  $s_a$

$$M = \frac{2M_K}{s_K / s_a + s_a / s_K} \quad (2.9)$$

Як було зазначено, для насосної станції другого підйому для насосу К45/20 вибраний електродвигун – АИР160S8У3 із наступними технічними характеристиками (таблиця 2.1).

Таблиця 2.1.

Технічні характеристики електродвигуна АИР160S8У3

Тип	Потужність, кВт	Частота обертання, об/хв.	Сила струму при напрузі 380 В, А	ККД,%	cosφ	I <sub>пуск</sub> , I <sub>ном</sub>
АИР160S8	7,5	750	18,0	85	0,73	6,0

Знаходимо швидкість холостого ходу двигуна

$$\omega_0 = \frac{2\pi \cdot n_0}{60}, \quad (2.18)$$

де отримуємо

$$\omega_0 = \frac{2 \cdot 3,14 \cdot 750}{60} = 78,5 \text{ рад/сек.} \quad (2.19)$$

Після чого знаходимо номінальну швидкість

$$\omega_H = \omega_0(1 - S_n), \quad (2.20)$$

де ковзання номінальне  $S_n = 2,3 \%$ . З чого маємо

$$\omega_H = 78,5 \cdot (1 - 0,023) = 76,7 \text{ рад/сек.} \quad (2.21)$$

Розраховуємо номінальний момент двигуна

$$M_H = \frac{1,05 \cdot P_H}{\omega_H}, \quad (2.22)$$

де  $P_H = 7500$  Вт з чого отримуємо

$$M_H = \frac{1,05 \cdot 7500}{76,7} = 102,68 \text{ Н}\cdot\text{м}. \quad (2.23)$$

Визначаємо критичний момент двигуна так

$$M_K = \lambda \cdot M_H, \quad (2.24)$$

де  $\lambda = 2,3$ , тоді маємо таке

$$M_K = 2,3 \cdot 102,68 = 236 \text{ Н}\cdot\text{м}. \quad (2.25)$$

Знаходимо жорсткість механічної характеристики

$$\beta = \frac{2 \cdot M_K}{\omega_0 \cdot S_K}. \quad (2.26)$$

З чого критичне ковзання  $S_K = 16\%$ , то виходить

$$\beta = \frac{2 \cdot 236}{78,5 \cdot 0,16} = 18,8. \quad (2.27)$$

Передатна функція електроприводу буде мати вигляд

$$W_{EP}(s) = \frac{W_{EC}(s) \cdot W_{MC}(s)}{1 + W_{EC}(s) \cdot W_{MC}(s)}. \quad (2.28)$$

Після чого виконуємо підстановку

$$\begin{aligned} W_{EP}(s) &= \frac{\frac{\beta}{Js(T_e s + 1)}}{1 + \frac{\beta}{Js(T_e s + 1)}} = \frac{\beta}{J \cdot T_e s^2 + J \cdot s + \beta} = \frac{1}{\frac{J}{\beta} T_e s^2 + \frac{J}{\beta} s + 1} = \\ &= \frac{1}{T_M T_e s^2 + T_M s + 1}; \end{aligned} \quad (2.29)$$

Механічна постійна часу

$$T_M = \frac{J}{\beta} = \frac{1,6}{18,8} = 0,085; \quad (2.30)$$

Електромагнітна постійна часу

$$T_E = \frac{1}{\omega_{ном} \cdot S_K} = \frac{1}{314 \cdot 0,16} = 0,02. \quad (2.31)$$

Передатна функція електроприводу отримає такий вигляд (ланку II-го порядку)

$$W_{ЕП}(s) = \frac{1}{0,085 \cdot 0,02 \cdot s^2 + 0,085 \cdot s + 1}. \quad (2.32)$$

Зробимо подання ланки II-го порядку у вигляді двох інерційних ланок, оскільки  $T_M > 4T_e$  (2.33)

$$W_{ЕП}(s) = \frac{1}{T_M T_e s^2 + T_M s + 1} = \frac{1}{(T_1 s + 1)(T_2 s + 1)}. \quad (2.33)$$

Після чого підставимо значення в (2.33) та отримаємо такий вигляд

$$W_{ЕП}(s) = \frac{1}{0,085 \cdot 0,02 \cdot s^2 + 0,085 \cdot s + 1} = \frac{1}{(0,053 \cdot s + 1)(0,032 \cdot s + 1)}. \quad (2.34)$$

Знаходимо регулювання напору з пропорції

$$\frac{H}{H_n} = \frac{\omega^2}{\omega_n^2}, \quad (2.35)$$

Де визначаємо напір  $H$

$$H = \frac{H_n}{\omega_n^2} \cdot \omega^2. \quad (2.36)$$

**Імітаційна модель насосної станції із керуванням напором в середовищі ПП Simulink.**

Створимо в середовищі **Simulink MATLAB** імітаційну схему об'єкта з насосами (рис. 2.4).

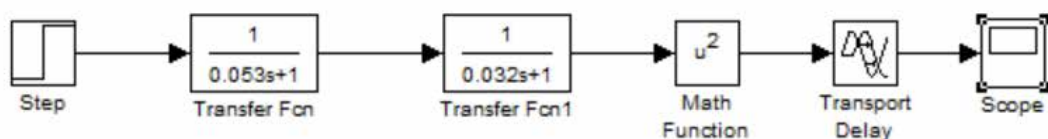


Рис. 2.4. Схема імітаційної моделі насосної станції в блоках Simulink MATLAB

Для введення запізнення  $T = 0,15$  використаємо блок *Transport Delay*. Час моделювання виберемо 2 с.

Початкове значення напору, буде дорівнювати,  $H_0 = 0$  м.

Тоді для досягнення значення напору в трубопроводі  $H_{max} = 1$  м, максимальне відхилення регульованої величини складе  $K_0 = 1$ . Також додаємо нелінійну ланку системи – квадрат напору, блок *Math Function*.

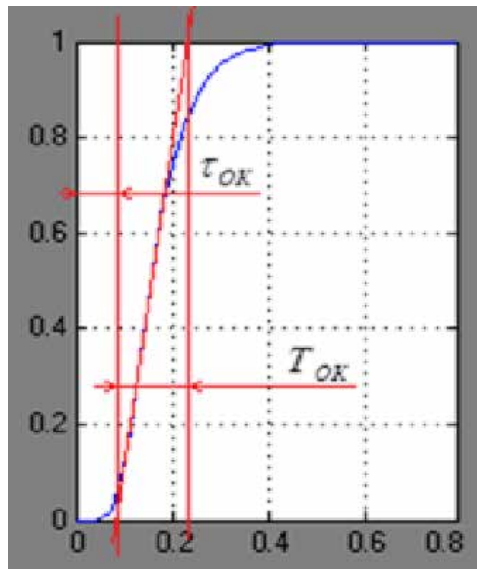


Рис. 2.5. Розгінна крива зміни напору у трубопроводі з часом регулювання  $T_{OK}$  та запізнення системи  $\tau_{OK}$ , отримана за даними імітаційного моделювання

**Результати моделювання.** Результат імітаційного моделювання отримаємо з блока *Scope* у вигляді графіка перехідного процесу (рис. 2.5.). Характеристики об'єкта для каналу регулювання відповідають розрахованим. Постійна часу  $T_{OK} = 0,15$  с, час запізнення для каналу регулювання  $\tau_{OK} = 0,1$  с, а передатний коефіцієнт об'єкта дорівнює

$$K_{об} = \frac{X_{уст}}{X_{ex}} = \frac{1}{1} = 1.$$

Передатна функція мережі водопостачання для каналу регулювання тиску

$$W_{OK}(s) = \frac{1}{0,15 \cdot s + 1} \cdot e^{-0,1s}$$

## 2.2. Вибір алгоритму регулювання та визначення параметрів настройки регулятора

Динамічні властивості об'єктів дають змогу розробникам систем на стадії проектування визначити алгоритм регулювання. Для цього нам слід проаналізувати співвідношення між сталою часу та часом запізнення об'єкта керування.

В даному випадку передатна функція мережі водопостачання

$$W_{OK}(s) = \frac{1}{0,15 \cdot s + 1} \cdot e^{-0,1s}, \text{ для нього відношення } \frac{\tau_{OK}}{T_{OK}} = \frac{0,1}{0,15} = 0,67.$$

Отже, необхідно використати неперервний алгоритм регулювання.

**Динамічний коефіцієнт регулювання** дає змогу вибрати найкращий алгоритм для конкретного об'єкта керування.

Методика вибору найкращого алгоритму керування полягає у визначенні динамічного коефіцієнта регулювання. Для статичних об'єктів:

$$R_D = y_1 / (K_0 y_{\max}), \quad (2.37)$$

де:  $y_1$  – максимальне динамічне відхилення;

$K_0$  – коефіцієнт передачі об'єкта керування;

$y_{\max}$  – максимально можливе значення збурення по навантаженням (береться у відсотках переміщення регульовального органа).

Для насосної станції з  $W(p) = 1 \cdot e^{-0,1s} / (0,15s + 1)$  задані такі показники якості:  $y_1 = 4,5$  м, статична похибка  $\Delta y = 0$  м, час регулювання  $t_p = 2$  с, перерегулювання  $\sigma = 0,04$ ,  $y_{\max} = 5\%$ , транспортне запізнення  $\tau_s = 0,15$  с (рис. 2.5). Визначимо найкращий алгоритм регулювання.

Враховуючи, що об'єкт статичний, то

$$R_D = 4,5 / (1 \cdot 5) = 0,9.$$

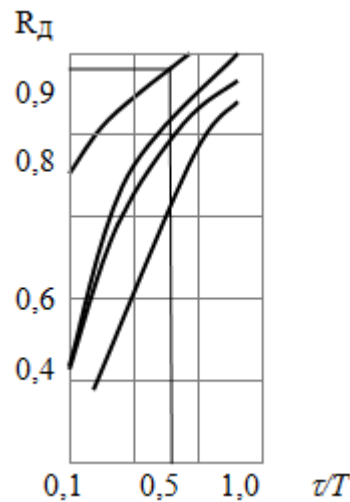


Рис. 2.6. Залежність динамічного коефіцієнта регулювання від динамічних властивостей об'єкта керування для типового аперіодичного перехідного процесу з ПІ-алгоритмом керування

Вибираємо для даного об'єкта аперіодичний перехідний процес. За рис. 2.6, знаходимо пропорційно-інтегральний алгоритм керування. Перевіримо, чи забезпечуватиметься при цьому потрібний час регулювання: за табл. 2.1 беремо для статичного об'єкта,  $\psi=8,0$ , тоді  $t_{рпн}=8,0 \cdot 0,1=0,8$  с. Видно, що  $0,8 < 2$ , тобто ПІ-алгоритм керування задовольняє наші вимоги.

Таблиця 2.1.

Відносний час регулювання

Алгоритм керування	Об'єкт	Відносний час регулювання
		Аперіодичний
Пропорційно-інтегральний	Статичний	8,0
	Астатичний	14,0

ПІ-регулятори на практиці є одними з найбільш поширених, яким властиві наступні переваги:

- забезпечують нульову статичну похибку регулювання;
- є достатньо простими в налагодженні, оскільки мають тільки два параметри настройки – коефіцієнт підсилення  $k_p$  і постійну часу інтегрування  $T_I$ . В таких регуляторах існує можливість оптимізації величини співвідношення

$\frac{k_p}{T_I} \rightarrow \min$ , що забезпечує управління з мінімально можливою середньоквадратичною похибкою регулювання;

тичною похибкою регулювання;

- мала чутливість до шумів у каналі вимірювання (на відміну від ПІД-регуляторів).

Таблиця 2.2.

## Формули для розрахунку оптимальних параметрів регуляторів

Регулятор	Типовий перехідний процес		
	Аперіодичний	З 20%-м перерегулюванням	З мінімальним інтегральним критерієм
<b>Статичні об'єкти</b>			
<b>I</b>	$k_{p.I} = \frac{1}{4,5 \cdot k_{об} \cdot T_{об}}$	$k_{p.I} = \frac{1}{1,7 \cdot k_{об} \cdot T_{об}}$	$k_{p.I} = \frac{1}{1,7 \cdot k_{об} \cdot \tau_{об}}$
<b>II</b>	$k_{p.II} = \frac{0,3}{k_{об} \cdot \tau_{об} / T_{об}}$	$k_{p.II} = \frac{0,7}{k_{об} \cdot \tau_{об} / T_{об}}$	$k_{p.II} = \frac{0,9}{k_{об} \cdot \tau_{об} / T_{об}}$
<b>III</b>	$k_{p.III} = \frac{0,6}{k_{об} \cdot \tau_{об} / T_{об}}$ $T_{із} = 0,6 \cdot T_{об}$	$k_{p.III} = \frac{0,7}{k_{об} \cdot \tau_{об} / T_{об}}$ $T_{із} = 0,7 \cdot T_{об}$	$k_{p.III} = \frac{1,0}{k_{об} \cdot \tau_{об} / T_{об}}$ $T_{із} = T_{об}$
<b>ПІД</b>	$k_{p.ПІД} = \frac{0,95}{k_{об} \cdot \tau_{об} / T_{об}}$ $T_{із} = 2,4 \cdot \tau_{об}$ $T_{\delta} = 0,4 \cdot \tau_{об}$	$k_{p.ПІД} = \frac{1,2}{k_{об} \cdot \tau_{об} / T_{об}}$ $T_{із} = 2,0 \cdot \tau_{об}$ $T_{\delta} = 0,4 \cdot \tau_{об}$	$k_{p.ПІД} = \frac{1,4}{k_{об} \cdot \tau_{об} / T_{об}}$ $T_{із} = 1,3 \cdot \tau_{об}$ $T_{\delta} = 0,5 \cdot \tau_{об}$
<b>Астатичні об'єкти</b>			
<b>II</b>	$k_{p.II} = \frac{0,4}{\tau_{об} / T_{об}}$	$k_{p.II} = \frac{0,7}{\tau_{об} / T_{об}}$	-
<b>III</b>	$k_{p.III} = \frac{0,4}{\tau_{об} / T_{об}}$ $T_{із} = 6 \cdot \tau_{об}$	$k_{p.III} = \frac{0,7}{\tau_{об} / T_{об}}$ $T_{із} = 3 \cdot \tau_{об}$	$k_{p.III} = \frac{1,0}{\tau_{об} / T_{об}}$ $T_{із} = 4 \cdot \tau_{об}$
<b>ПІД</b>	$k_{p.ПІД} = \frac{0,6}{\tau_{об} / T_{об}}$	$k_{p.ПІД} = \frac{1,1}{\tau_{об} / T_{об}}$	$k_{p.ПІД} = \frac{1,4}{\tau_{об} / T_{об}}$

	$T_{iz} = 5 \cdot \tau_{об}$	$T_{iz} = 2 \cdot \tau_{об}$	$T_{iz} = 1,6 \cdot \tau_{об}$
	$T_{\delta} = 0,2 \cdot \tau_{об}$	$T_{\delta} = 0,4 \cdot \tau_{об}$	$T_{\delta} = 0,5 \cdot \tau_{об}$

Для визначення параметрів настройки регулятора використаємо табличний метод (таблиця 2.2). При цьому слід пам'ятати, що параметри  $\tau_{ov}$  і  $T_{ov}$  визначають по нормованій кривій розгону графічним методом незалежно від того, на якій відстані від осі абсцис буде знаходитись точка перегину.

Для ПІ-регулятора з типовим аперіодичним перехідним процесом для статичного об'єкту знаходимо :

$$k_{p.ПІ} = \frac{0,6}{k_{об} \cdot \tau_{об} / T_{об}} = \frac{0,6}{1 \cdot \frac{0,1}{0,15}},$$

$$T_{iz} = 0,6 \cdot T_{об} = 0,6 \cdot 0,15 = 0,09.$$

Передатна функція ПІ-регулятора

$$W_{ПІ}(s) = 0,9 \cdot \left( 1 + \frac{1}{0,09 \cdot s} \right).$$

## 2.3. Реалізація алгоритму регулювання

### 2.3.1. Вибір промислового регулятора

У САР тиску в системі водопостачання в якості пристрою для керування електродвигунами приводу насосів системи водопостачання передбачається використати частотний перетворювач типу ОВЕН ПЧВ203-7к5-в.

**Ці перетворювачі оснащені вбудованим модулем реалізації ПІ- або ПІД-закону керування.**

Для даного об'єкта керування використовується насос другого підйому К45/30. Це горизонтальний агрегат з відцентровим консольним одноступінчастим насосом з одностороннім підводом рідини до робочого колеса для перекачування чистої води з рН=6-9, та інших рідин подібних до води щільності. Загальний вигляд насосу та його технічні характеристики наведені у 2 розділі дипломного проекту.

Універсальна лінійка частотних перетворювачів може бути використана для керування приводами на базі асинхронних двигунів в промисловості. Широкий набір функцій для вирішення базових задач частотного керування.

Основні функціональні можливості:

- плавний пуск двигуна;
- компенсація навантаження і ковзання;
- вольт – частотний або векторний алгоритми керування;
- автоматична адаптація двигун без обертання;
- автоматична оптимізація енергоживлення, забезпечуючи високий рівень енергоефективності;
- повна функціональна і апаратна діагностика і захист роботи ПЧВ;
- вбудований ПІ-регулятор для керування в замкнутому контурі (підтримка тиску, диску, рівня і т. д.);
- вбудований ПЛК для вирішення складних задач керування і позиціонування приводу;
- можливість керування по фізичним виходам і по інтерфейсу RS-485;
- можливість динамічного гальмування, в тому числі з використанням гальмівних резисторів.

Технічні характеристики даного частотного перетворювача ОВЕН ПЧВ203-7к5-в приведені в таблиці 2.3.

Таблиця 2.3.

Основні технічні характеристики частотного перетворювача  
ОВЕН ПЧВ 203-7к5-в

Характеристика	Значення характеристики
Потужність	7.5 кВт
Номінальний вхідний струм	24,8 А
Номінальний вихідний струм	15,3 А
Кількість фаз	3
Частота	50/60 Гц
Цифрові входи	5

Імпульсні виходи	1
Аналогові входи	2
Аналогові виходи	1
Вбудовані джерела живлення	10В/15мА, 24В/130мА
Клас захисту корпусу	IP 20
Температура при номінальному вихідному струмі	Від 0 до 40 °С
Максимальна довжина кабелю двигуна	50 м
Перевантажувальна здатність	150%(60с)
Гальмівний ключ	Є

Схема електричних з'єднань частотного перетворювача ОВЕН ПЧВ203-7к5-в приведено на рис. 2.7.

Алгоритм налаштування регулятора, вбудованого в даний частотний перетворювач, приведений в додатку Б.

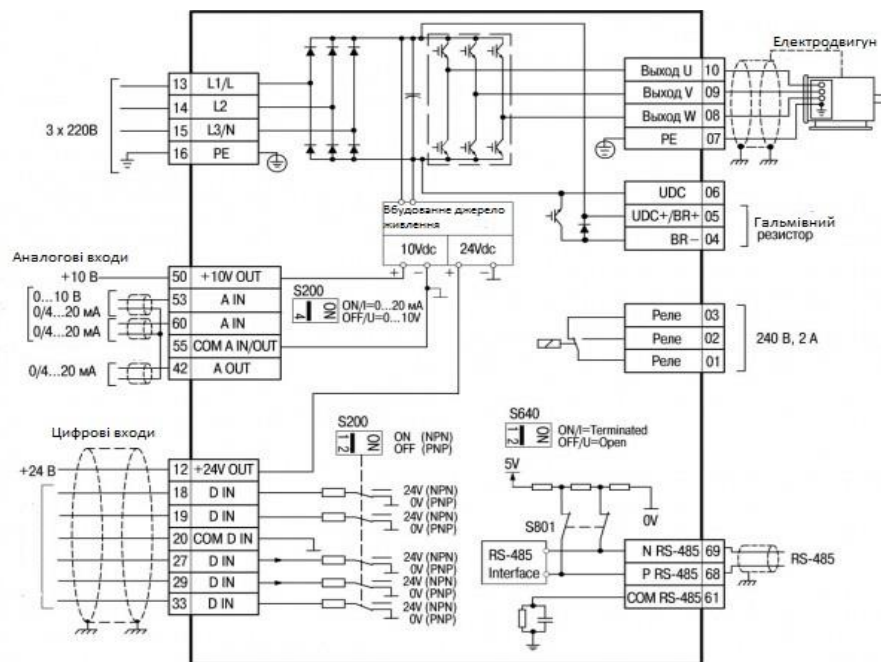


Рис. 2.7. Фрагмент схеми електричної з'єднань частотного перетворювача ОВЕН ПЧВ203-7к5-в

### 2.3.2. Вибір первинного вимірювального перетворювача САР

До давачів САР, як правило, ставлять наступні вимоги: лінійність та однозначність статичної характеристики (допускається нелінійність, яка не повинна перевищувати 0,1...3,0%), висока чутливість і дозволяюча здатність,

стабільність характеристики в часі, швидкодія, стійкість до хімічних дій контрольованого та оточуючого середовища (первинні перетворювачі в захисних оболонках), висока навантажувальна здатність, мінімальна зворотна дія на контрольований параметр, зручність монтажу та обслуговування.

Як правило, давач вибирають в два етапи. На першому, давач вибирають по роду контрольованого параметру та умовах роботи, тобто визначають різновид давача. На другому етапі по каталогу знаходять його типорозмір. При цьому давач бажано вибирати таким чином, щоб його вимірювальна величина була в межах  $1/3 \dots 2/3$  діапазону його вимірювання.

Для нашого статичного об'єкту із передаточною функцією  $W_{ок}(s) = \frac{1}{0,15 \cdot s + 1} \cdot e^{-0,1s}$  та регулюванню величиною - тиском води з межами зміни тиску від 0 до 80 м, вибираємо мікропроцесорний перетворювач тиску Овен ПД100-ДИ4.0-111-0.25, що відповідає всім наведеним вимогам.

Мікропроцесорні перетворювачі надлишкового тиску Овен ПД100-ДИ4.0-111-0.25 призначені для використання в розподільчих мережах ЖКГ (вода, тепло), на теплових пунктах, компресорних станціях, в харчовій промисловості і т.д.

Принцип дії заснований на перетворенні тиску вимірюваного середовища на мембрану давача. Тиск деформує мембрану, яка змінює опір *тензорезистора* у вимірювальному мості, що в свою чергу, викликає зміну сигналу за напругою. Сигнал конвертується перетворювачем у нормований вихідний сигнал 4...20мА.

***Технічні характеристики перетворювача:***

- вимірювання надлишкового тиску нейтральних до титану та нержавіючої сталі середовищ (повітря, пара, рідина);
- перетворення надлишкового тиску в уніфікований сигнал постійного струму 4...20 мА;
- верхня межа вимірюваного тиску – ряд значень від 0 до 4 МПа;
- клас точності 0,5 або 1,0;

- діапазон робочих температур контролюваного середовища (-40...+110°с); навколишнього середовища -40...+80°с;
- напруга живлення 12...36 в постійного струму;
- опір навантаження 0...1 ком в залежності від напруги живлення);
- споживана потужність 0,75 ва;
- середній строк служби 12 років;
- середній строк напрацювання на відмову не менше 100000 годин;
- ступінь захисту корпусу давача – ір65;
- підвищена стійкість до впливу електромагнітних перешкод.



Рис. 2.8. Зовнішній вигляд та габаритні розміри перетворювача тиску  
Овен ПД100-ДИ4.0-111-0.25

Передатна функція первинного перетворювача має вигляд:

$$W_{III}(s) = k_{III} , \quad (2.38)$$

де  $k_{III}$  - коефіцієнт передачі первинного перетворювача.

Коефіцієнт сприймаючого елемента визначається за формулою

$$k_{III} = \frac{I_{вих}}{H} , \quad (2.39)$$

де:  $I_{вих}$  – максимальне вихідне значення струму, мА;

$H$  – напір, на який розрахований даний давач, бар.

Згідно з технічними даними для Овен ПД100-ДИ4.0-111-0.25:

$$I_{\text{вих}} = 20 \text{ мА}$$

Верхня межа тиску:  $H = 4 \text{ МПа} = 40 \text{ бар}$  ( $1 \text{ МПа} = 10 \text{ бар}$ )

Підстановка числових значень

$$k_{\text{пп}} = \frac{20 \text{ мА}}{40 \text{ бар}} = 0,5 \text{ мА/бар}$$

Повна передатна функція з урахуванням розрахованого коефіцієнта

$$W_{\text{пп}}(s) = 0,5$$

Ця передатна функція означає, що:

при зміні тиску на 1 бар, вихідний струм зміниться на 0,5 мА;

при нульовому тиску вихід дорівнює 4 мА (мінімум);

при максимальному тиску ( $40 \text{ бар} = 4 \text{ МПа}$ ) вихід становить

$$I = 4 + 0,5 \cdot 40 = 24 \text{ мА}$$

згідно з технічними характеристиками, вихід обмежений 20 мА, отже робочий діапазон коефіцієнта передачі

$$K = \frac{20}{40} = \frac{16}{40} = 0,4 \text{ мА/бар}$$

Передатна функція з урахуванням робочого діапазону

$$W_{\text{пп}}(s) = 0,4 \text{ мА/бар}$$

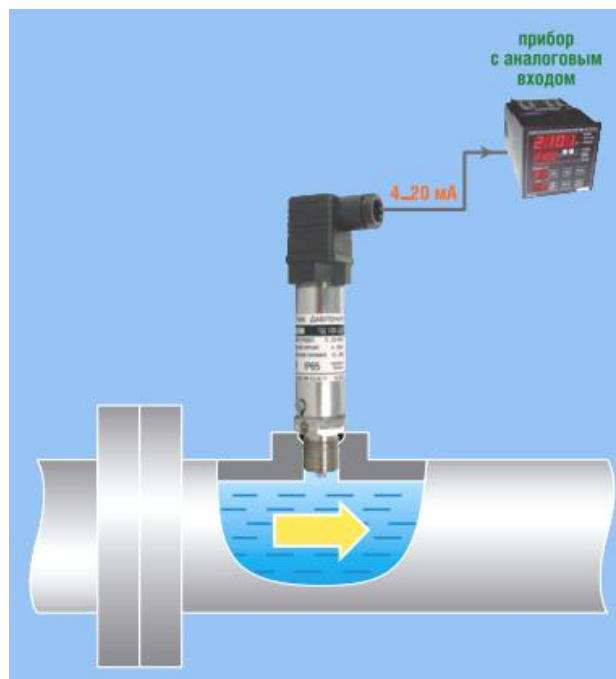


Рис. 2.5. Встановлення давачу тиску в трубопроводі

### 2.3.3. Вибір виконавчого механізму САР та визначення його передатної функції

Виконавчим механізмом системи автоматичного регулювання тиску в системі водопостачання є електродвигун приводу насоса АІР160MS8У3.

Найбільш раціональним способом плавного регулювання швидкості обертання є частотний. Можливість зміни швидкості цим способом впливає із виразу для синхронної швидкості обертового магнітного поля статора

$$\omega_0 = \frac{2 \cdot \pi \cdot f}{p}, \quad (2.40)$$

з якого видно, що швидкість  $\omega_0$  є прямо пропорційною частоті  $f$  напруги, що підводиться до обмоток статора.

Виведемо передатну функцію асинхронного електродвигуна при частотному керуванні. Позначимо через  $\omega_{1V}$  швидкість обертання поля статора при частоті  $f_V$ . Тоді відносна швидкість поля

$$v = \frac{f_V}{f_H} = \frac{\omega_{1V}}{\omega_0}, \quad (2.41)$$

де швидкість  $\omega_0$  пов'язана з номінальною частотою мережі виразом (2.40).

Введемо поняття фіктивного ковзання

$$s_\phi = \left( \frac{\omega_{1V}}{\omega_0} \right) \cdot s = v \cdot s. \quad (2.42)$$

Дійсна швидкість обертання при частоті  $f_V$

$$\omega = \omega_{1V} \cdot (1 - s). \quad (2.43)$$

Підставляючи у (2.43) значення  $\omega_{1V}$  із (2.41) з урахуванням (2.42), визначимо

$$\omega = \omega_0 \cdot (v - s_\phi). \quad (2.44)$$

Для малих значень ковзання обертаючий момент двигуна пропорційний ковзанню

$$M = \left( \frac{M_H}{s_H} \right) \cdot s_\phi. \quad (2.45)$$

Підставляючи (2.44) та (2.45) у вихідне рівняння

$$M - M_c = J \cdot \frac{d\omega}{dt}, \quad (2.46)$$

(вважаючи при цьому  $M_c = 0$ )  $J \cdot s \cdot \omega = M$ , отримаємо

$$J \cdot s \cdot \omega_0 \cdot (v - s_\phi) = \left( \frac{M_H}{s_H} \right) \cdot s_\phi. \quad (2.47)$$

Цей вираз можна представити як

$$\frac{J \cdot \omega_0 \cdot s_H}{M_H} \cdot s \cdot \frac{s_\phi}{s_H} + \frac{s_\phi}{s_H} = \frac{J \cdot \omega_0}{M_H} \cdot s \cdot v. \quad (2.48)$$

Якщо за вхідну величину прийняти відносну швидкість поля  $v$ , а за вихідну – відносне ковзання  $\sigma = \frac{s_\phi}{s_H}$ , то вираз (2.48) матиме вигляд

$$T_{M1} \cdot s \cdot \sigma + \sigma = T_{M2} \cdot s \cdot v, \quad (2.49)$$

$$\text{де } T_{M1} = \frac{J \cdot \omega_0 \cdot s_H}{M_H} \text{ та } T_{M2} = \frac{J \cdot \omega_0}{M_H}.$$

Тоді передатна функція асинхронного електродвигуна при частотному керуванні

$$W(s) = \frac{\sigma(s)}{v(s)} = \frac{T_{M2} \cdot s}{T_{M1} \cdot s + 1}. \quad (2.50)$$

На практиці при частотному керуванні часто використовують іншу методику визначення передатної функції.

Передатна функція асинхронного електродвигуна у цьому випадку

$$W_{BM}(s) = \frac{k_{BM}}{T_{BM} \cdot s + 1}, \quad (2.51)$$

$$k_{BM} = \frac{\omega_H}{f}; \quad (2.52)$$

$$T_{BM} = \frac{J_{3B}}{\beta}, \quad (2.53)$$

де:  $J_{3B}$  - зведений момент інерції електродвигуна та робочої машини (в даному випадку – вентилятора);

$\beta$  - жорсткість механічної характеристики.

$$\beta = \frac{2 \cdot M_{KP}}{\omega_0 \cdot S_{KP}}, \quad (2.54)$$

де:  $M_{KP}$  - критичний момент електродвигуна;

$S_{KP}$  - критичне ковзання електродвигуна.

Розрахуємо необхідні величини для визначення передатної функції за виразами (2.50) - (2.53). Вихідні дані – каталожні значення для електродвигуна.

$$M_H = 9550 \cdot \frac{P_H}{n_H} = 9550 \cdot \frac{7,5}{750} = 95,5 \text{ Н} \cdot \text{м}. \quad (2.55)$$

$$M_{KP} = M_H \cdot \mu_{KP} = 95,5 \cdot 1,6 = 152,8 \text{ Н} \cdot \text{м}. \quad (2.56)$$

$$S_H = \frac{n_0 - n_H}{n_0} = \frac{750 - 720}{750} = 0,04. \quad (2.57)$$

$$\mu_1 = \frac{\mu_{KP}}{\mu_{ПВСК}} = \frac{1,6}{1,4} = 1,14. \quad (2.58)$$

$$S_{KP} = \frac{S_H + \sqrt{S_H \cdot \frac{\mu_{KP} - 1}{\mu_1 - 1}}}{1 + \sqrt{S_H \cdot \frac{\mu_{KP} - 1}{\mu_1 - 1}}} = \frac{0,04 + \sqrt{0,04 \cdot \frac{1,6 - 1}{1,14 - 1}}}{1 + \sqrt{0,04 \cdot \frac{1,6 - 1}{1,14 - 1}}} = 0,4. \quad (2.59)$$

$$\omega_0 = \frac{2 \cdot \pi \cdot n_0}{60} = \frac{2 \cdot 3,14 \cdot 750}{60} = 78,5 \text{ рад./с}. \quad (2.60)$$

$$\omega_H = \frac{2 \cdot \pi \cdot n_H}{60} = \frac{2 \cdot 3,14 \cdot 720}{60} = 75,36 \text{ рад./с}. \quad (2.61)$$

$$J_{PP} = J_{ДВ} + J_{PM} = 0,015 + 0,003 = 0,018 \text{ кг} \cdot \text{м}^2. \quad (2.62)$$

Тоді

$$\beta = \frac{2 \cdot M_{KP}}{\omega_0 \cdot s_{KP}} = 2,17 \frac{\text{Н} \cdot \text{м}}{\text{рад} \cdot \text{с}},$$

$$T_{BM} = \frac{J_{ЗВ}}{\beta} = \frac{0,018}{2,17} = 0,01 \text{ с}, \quad k_{BM} = \frac{\omega_H}{f} = 6,06 \frac{\text{рад} \cdot \text{с}}{\text{Гц}}.$$

$$W_{BM}(s) = \frac{k_{BM}}{T_{BM} \cdot s + 1} = \frac{6,06}{0,01 \cdot s + 1}.$$

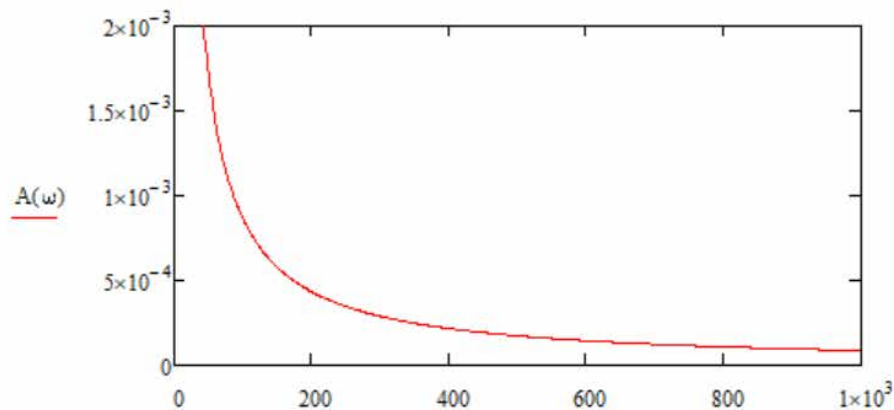
### 2.3.4. Вибір часу дискретизації для побудови процесу системи автоматичного керування

1. Розраховуємо граничний час дискретизації, для цього будемо АЧХ лінійної розімкненої системи

$$k := 0.013 \quad T := 0.15 \quad \tau := 0.1$$

$$W(\omega) := \frac{k}{T \cdot i \cdot \omega + 1} \cdot e^{-\tau \cdot (i \cdot \omega)}$$

$$A(\omega) := \sqrt{\text{Re}(W(\omega))^2 + \text{Im}(W(\omega))^2}$$



2. Розраховуємо 5% від максимальної  $A(0)$  та знаходимо частоту, яка відповідає даній амплітуді

$$A1 := A(0) \cdot 0.05 = 6.5 \times 10^{-4}$$

Given

$$\omega := 0.054$$

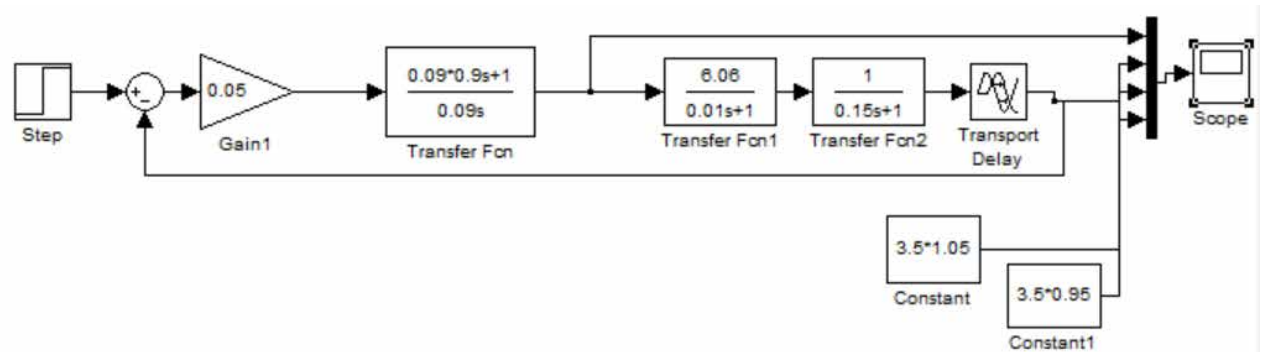
$$A(\omega) = A1$$

$$\omega1 := \text{Find}(\omega) = 133.167$$

3. Розраховуємо граничне значення часу дискретизації за формулою

$$\frac{\pi}{\omega1} = 0.024$$

Складаємо наступну схему в середовищі MatLab/Simulink.



Проводимо моделювання та отримуємо графік перехідного процесу

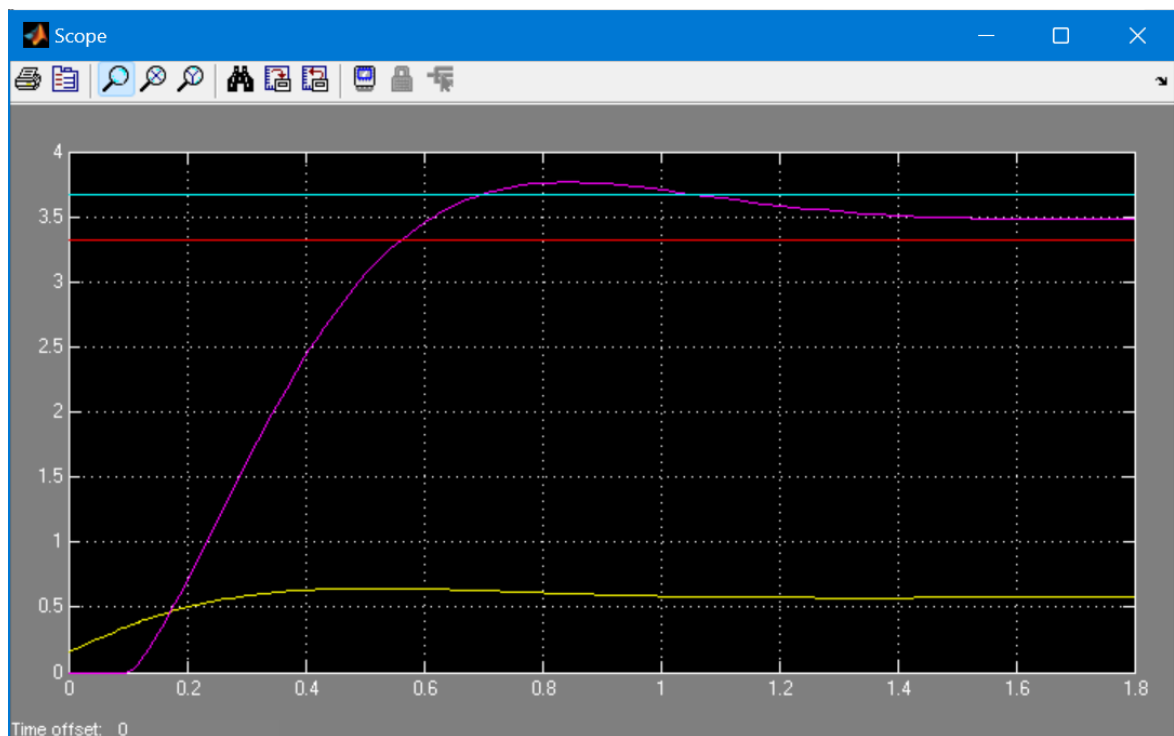


Рис 2.6. Графік перехідного процесу. Графік ілюструє перехідну характеристику системи, показуючи, як вихід реагує на ступінчастий вхідний сигнал, він з часом стабілізується в межах бажаного діапазону. Система досягає стаціонарного стану.

Для отримання передатної функції цифрового регулятора у Z-перетворенні в командному рядку проводимо наступні розрахунки. Примітка: час дискретизації обираємо  $t_d < t_r$ , де  $t_r$  – граничний час дискретизації. Нехай  $t_d = 0,024$ с.

```

>> Wpi=tf([0.9*0.09 1], [0.09 0])

Transfer function:
0.081 s + 1
-----
0.09 s

>> Wpi=c2d(Wpi, 0.024)

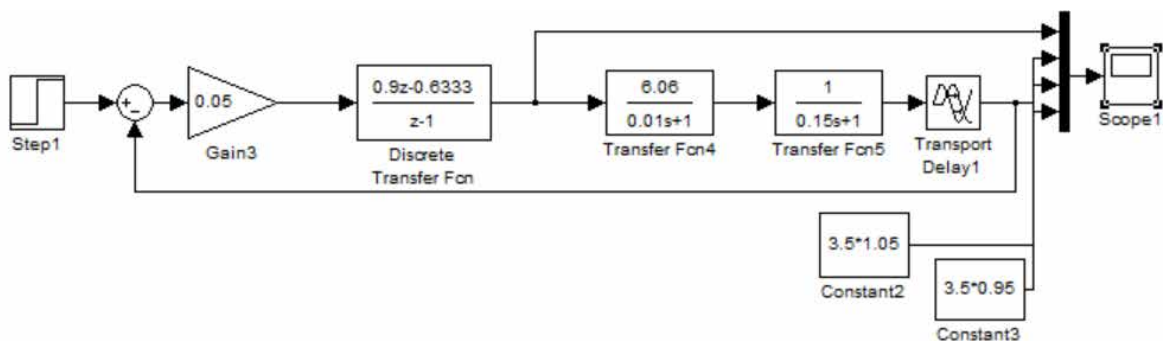
Transfer function:
0.9 z - 0.6333
-----
z - 1

Sampling time: 0.024

```

Відбувається процес моделювання системи керування, а саме: спочатку визначається неперервна передавальна функція, потім ця неперервна функція перетворюється на дискретну для використання в цифрових системах керування або моделюванні з дискретним часом. Час дискретизації (0.024) є ключовим параметром для цього перетворення.

Отримуємо наступну схему



Проводимо моделювання та отримуємо графік перехідного процесу

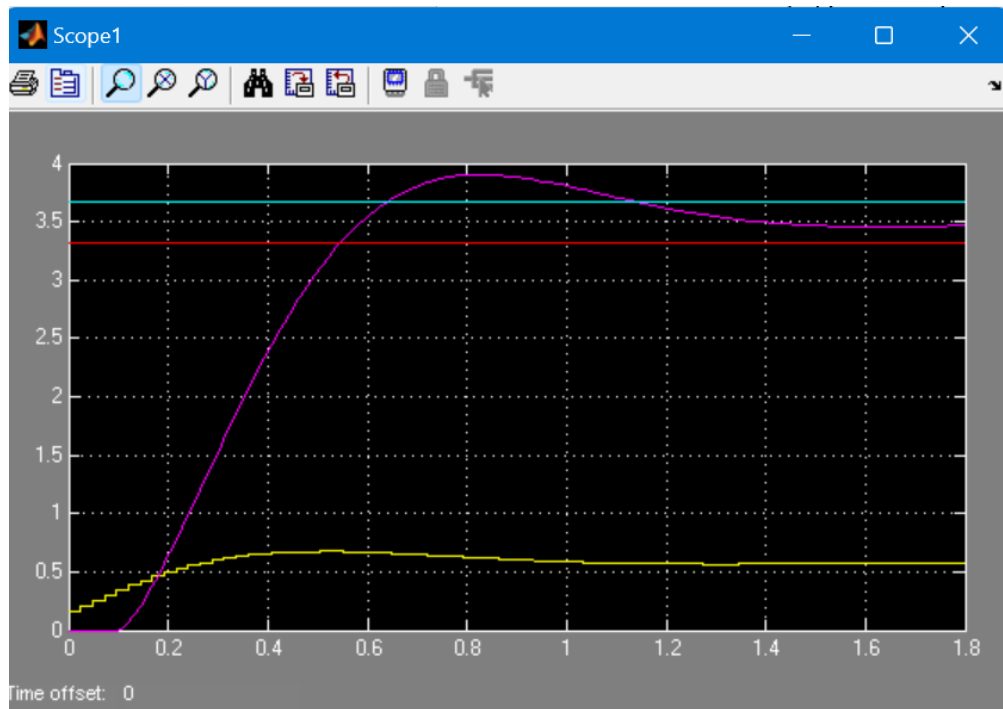


Рис 2.8. Графік перехідного процесу з цифровим регулятором. Графік демонструє перехідну характеристику системи керування після подачі ступінчастого вхідного сигналу. Вихід системи спочатку зростає, має помітне перерегулювання вище верхньої межі, поступово стабілізується між заданими верхньою та нижньою межами. Наявність перерегулювання вказує на те, що система здатна досягти стабільного стану в межах визначеного допуску.

### Порівняння динамічних характеристик аналогової та цифрової моделей. Вибір часу дискретизації

Для переведення неперервної (аналогової) системи в дискретну форму був обраний час дискретизації  $T = 0,024$  с. Щоб переконатися в коректності цього вибору, скористаємося теоремою Котельникова–Персеваля, яка вимагає, щоб частота дискретизації перевищувала подвоєну максимальну частоту спектру сигналу

$$f_d \geq 2f_{max} \quad \text{або} \quad T \leq \frac{1}{2f_{max}}, \quad (2.63)$$

де:  $f_d$  — частота дискретизації Гц;

$f_{max}$  — максимальна частота спектру неперервного (аналогового) сигналу (Гц);

$T$  — інтервал дискретизації, час між двома сусідніми відліками дискретного сигналу;

$\frac{1}{2f_{max}}$  — мінімально допустимий інтервал дискретизації, згідно з теоремою Котельникова.

Визначення частоти дискретизації

$$f_d = \frac{1}{T} = \frac{1}{0,024} \approx 41,67 \text{ Гц} . \quad (2.64)$$

Максимальна частота визначається за найшвидшою ланкою системи з постійною часу  $\tau = 0,01$  с, для аперіодичної ланки оцінка максимальної значущої частоти в спектрі сигналу (верхня межа частотної смуги)

$$f_{max} \frac{1}{2\pi\tau} = \frac{1}{2\pi \cdot 0,01} \approx 15,9 \text{ Гц} . \quad (2.65)$$

Максимально допустимий інтервал дискретизації

$$T_{max} \frac{1}{2 \cdot f_{max}} = \frac{1}{2 \cdot 15,9} \approx 0,0314 \text{ с} . \quad (2.65)$$

Перевіримо виконання умови теореми Котельникова

$$f_d = 41,67 \geq 2 \cdot 15,9 = 31,8 \text{ Гц} .$$

Отже, умова виконується, перехід до цифрової моделі із часом дискретизації  $T=0,024$ с не призвів до погіршення динамічних характеристик системи. Система зберегла стійкість, точність, швидкодію та аперіодичний характер реакції, що підтверджує правильність проведеної дискретизації та еквівалентність обох моделей за основними показниками якості.

#### **2.4. Оцінка стійкості системи автоматичного регулювання тиску в системі водопостачання**

Частотний критерій стійкості Найквіста дозволяє визначити стійкість замкненої системи за амплітудно-фазовою частотною характеристикою розімкненої системи, яка може бути отримана й експериментально.

Вихідною функцією при визначенні стійкості за критерієм Найквіста є передаточна функція розімкненої системи

$$W(s) = \frac{M_p(s)}{D_p(s)} , \quad (2.66)$$

де  $M_p(s)$ ,  $D_p(s)$  — поліноми відповідно  $m$ -го та  $n$ -го степенів від  $s$  ( $m \leq n$ ).

Підставляючи в (2.63)  $s = j\omega$ , знаходимо АФЧХ розімкненої системи (годограф Найквіста)

$$W(j\omega) = \frac{M_p(j\omega)}{D_p(j\omega)} = \text{Re}(\omega) + j \text{Im}(\omega) = A(\omega) \cdot e^{j\varphi(\omega)}, \quad (2.67)$$

Сформулюємо критерій Найквіста для найбільш поширеного випадку, коли розімкнена система стійка або знаходиться на границі стійкості. Для стійкості замкненої системи автоматичного регулювання необхідно і достатньо, щоб годограф Найквіста при зміні частоти  $\omega$  від 0 до  $\infty$  не охоплював точку з координатами  $(-1, j0)$  при русі його проти годинникової стрілки (рис. 2.9). Якщо годограф Найквіста проходить через точку з координатами  $(-1, j0)$ , замкнена система знаходиться на границі стійкості.

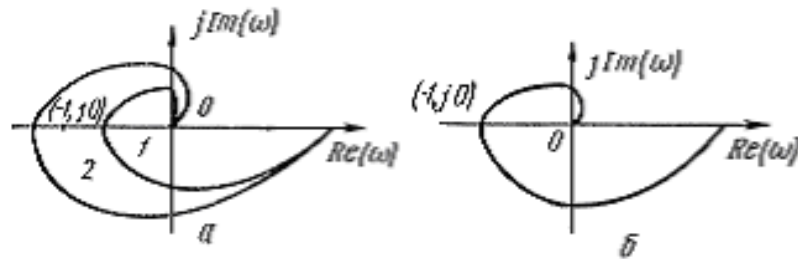


Рис. 2.9. Годограф Найквіста  $W(j\omega)$ :

$a$  – стійкої (1) та нестійкої (2) системи;  $б$  – системи, що знаходиться на границі стійкості

Передатна функція розімкненої системи

$$\begin{aligned} W_{PO3}(s) &= W_{PEГ}(s) \cdot W_{BM}(s) \cdot W_{OY}(s) \cdot W_{ПВН}(s) = \\ W_{PO3}(s) &= 0,9 \cdot \left(1 + \frac{1}{0,09 \cdot s}\right) \cdot \frac{6,06}{0,01 \cdot s + 1} \cdot \frac{1 \cdot e^{-0,1s}}{0,15 \cdot s + 1} \cdot 0,2 = \\ &= \frac{0,098 \cdot s + 1,09}{0,09 \cdot s \cdot (0,01 \cdot s + 1) \cdot (0,15 \cdot s + 1)} \cdot e^{-0,1s}. \end{aligned} \quad (2.68)$$

**Запаси стійкості** характеризуються віддаленням частотних характеристик від критичних точок.

АФЧХ не охоплює точку з координатами  $(-1, j0)$ , отже автоматична система є стійкою.

Зв'язок між запасами стійкості за амплітудою в абсолютних  $\beta$  та логарифмічних  $\Delta L$  [дБ] одиницях

$$\Delta L = 20 \lg \beta, \quad (2.69)$$

де  $\beta$  - запас стійкості за амплітудою (або за модулем) є

$$\beta = \frac{1}{|W_{роз}(j\omega_n)|}. \quad (2.70)$$

Стійкість за амплітудою

$$\Delta L = 20 \lg \frac{1}{0,32} = 9,9 \text{ дБ.}$$

Дана автоматична система задовольняє умову на запаси стійкості за амплітудою 9,9 дБ, а запас стійкості за фазою  $\Delta\varphi = 61,4^\circ$ .

## 2.5. Визначення показників якості роботи системи

Для визначення показників якості роботи системи зазвичай проводять аналіз реакції системи на різні типи впливи (одинична сходинка, одиничний імпульс, гармонійний вплив, стаціонарний випадковий процес).

Точність роботи автоматичної системи визначається наявністю різниці між задавальною дією і вихідною величиною в різних усталених режимах. Точність системи в усталеному стані визначається статичною похибкою  $\delta$ , яка розраховується за формулою

$$\delta = \frac{y_{зад} - y^{(\infty)}}{y_{зад}} \cdot 100\%, \quad (2.71)$$

де:  $y_{зад}$  – задане значення регульованої величини (вхідна задавальна дія);

$y^{(\infty)}$  – усталене значення вихідної величини.

Розглянемо перехідний процес даної системи автоматизації (рис. 2.9). Швидкодія системи або тривалість перехідного процесу оцінюється часом  $T_{рег}$ , який визначається проміжком часу від моменту прикладення вхідної дії до того моменту, коли різниця між вихідною величиною та її усталеним значенням  $y^{(\infty)}$  у всі наступні моменти часу стає меншою за відхилення  $\Delta$ .

Звичайно  $\Delta$  приймається рівною 5 % від усталеного значення вихідної величини  $y^{(\infty)}$ .

Тоді: - статична похибка  $\delta = \frac{y_{зад} - y_{уст}}{y_{зад}} \cdot 100\% = \frac{1-1}{1} \cdot 100\% = 0\%$ ;

- час регулювання  $T_{рег} = 0,34с$ ;

- перерегулювання  $\sigma$  характеризує величину максимального динамічного відхилення системи в перехідному процесі

$$\sigma = \frac{y_{max} - y(\infty)}{y(\infty)} \cdot 100\%, \quad (2.72)$$

де  $y_{max}$  – максимальне значення регульованої (вихідної) величини.

$$\sigma = \frac{1.0417-1}{1} \cdot 100\% = 4.17\% .$$

Кількість напівколивань  $n$  за час перехідного процесу  $T_{рег}$  є мірою коливальності. У даній системі напівколивання відсутні.

## РОЗДІЛ 3

### СХЕМИ СИСТЕМИ АВТОМАТИЗАЦІЇ

#### 3.1. Розробка програми керування процесом в програмному середовищі TIA Portal

Враховуючи той факт що ми будемо використовувати контролер компанії Siemens, розумно використовувати спеціально розроблене інтегроване середовище розробки програмного забезпечення систем автоматизації технологічних процесів – TIA Portal.

Програмне забезпечення нового покоління "Totally Integrated Automation Portal" (TIA Portal) створює інтегроване середовище розробки для комплексних проектів автоматизації на основі численних програмних та апаратних продуктів сімейства SIMATIC, SINAMICS, SIMOTION, SENTRON та SIRIUS. У рамках TIA Portal використовується єдиний інтерфейс користувача для всіх програмних продуктів, що забезпечує підтримку функцій навігації проектів, єдиної концепції використання бібліотек, централізованого управління даними та забезпечення їх повної відповідності, запуску необхідних редакторів, збереження проектів, діагностики та багатьох інших функцій.

Це програмне забезпечення дозволяє досягати високого рівня ефективності при розробці будь-яких проектів автоматизації і значно зменшує витрати на конфігурацію та організацію взаємодії між контролерами, приводами, приладами та системами інтерфейсу "людина-машина".

Для програмування контролерів Siemens широко використовуються мови програмування, визначені стандартами Міжнародної Електротехнічної Комісії (МЕК) та іншими мовами специфічними для Siemens. Основні мови програмування для контролерів Siemens включають:

1. Ladder Logic (Ладдерні діаграми): Це графічна мова програмування, що дозволяє виразити логіку керування у вигляді контактів, реле і керуючих реле, що легко розуміються та використовуються в галузі автоматизації.
2. Structured Text (Структурований текст): Ця мова програмування використовує синтаксис схожий на мови програмування C і підтримує складну логіку та обчислення.

3. Function Block Diagram (Функціональні блоки): Ця графічна мова програмування використовує блоки, які містять функціональні елементи та зв'язки між ними.
4. Instruction List (Список інструкцій): Ця мова програмування використовує текстовий синтаксис для запису послідовностей інструкцій.
5. Sequential Function Chart (Послідовні функціональні схеми): Ця графічна мова програмування використовує схеми для моделювання послідовних процесів.
6. Structured Control Language (Мова структурованого керування): Ця мова подібна до мови Structured Text і використовується для програмування комплексних управляючих завдань.

В даній роботі, програмування контролера буде виконуватись за допомогою мови програмування «SCL»

Було розроблено інтерфейс панелі оператора, використовуючи програму EasyBuilder Pro для панелей оператора WEINTEK. На (рис. 3.1) зображено основний інтерфейс управління насосною установкою підвищення тиску на два насоси.

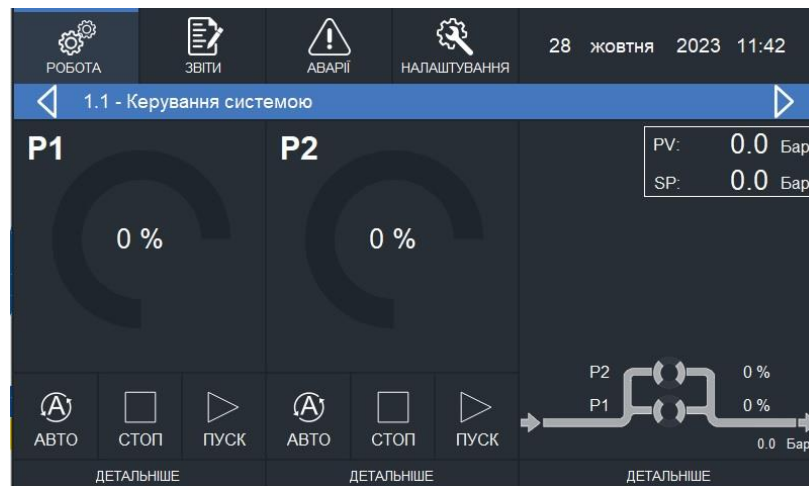


Рис. 3.1 Основний екран управління насосною станцією, відображений на панелі оператора.

В даному вікні можна запустити насоси в ручному та автоматичному режимі роботи або зупинити їх. Показано який тиск треба підтримувати та дійсний тиск в системі. На шкалах показується продуктивність кожного з насосів.

На (рис. 3.2) показано частину коду що відповідає за режим роботи та зображено середовище програмування.

Рис. 3.2 Частину коду що відповідає за режим роботи та вигляд середовища програмування.

Нижче приведено код програми, який відповідає за керування насосами в замкненому контурі:

```
FUNCTION_BLOCK "Closed_Loop_control"
{ S7_Optimized_Access := 'TRUE' }
VERSION : 0.2
VAR_INPUT
VAR_OUTPUT
Count_of_pumps { ExternalAccessible := 'False'; ExternalVisible := 'False'; ExternalWritable := 'False' } : Int; // Количество насосов в системе
ProcessVariable { ExternalAccessible := 'False'; ExternalVisible := 'False'; ExternalWritable := 'False' } : Real; // Текущее значение параметра (физическое значение)
SetPoint { ExternalAccessible := 'False'; ExternalVisible := 'False'; ExternalWritable := 'False' } : Real; // Уставка параметра (физическое значение)
DeadBand { ExternalAccessible := 'False'; ExternalVisible := 'False'; ExternalWritable := 'False' } : Real; // Зона нечувствительности (физическое значение)
deltaValue { ExternalAccessible := 'False'; ExternalVisible := 'False'; ExternalWritable := 'False' } : Real := 0.0; // Область пуска/останова физической частоты
FrequencyON { ExternalAccessible := 'False'; ExternalVisible := 'False'; ExternalWritable := 'False' } : Array[1..6] of Real := [6(0.0)]; // Частота вкл
FrequencyOFF { ExternalAccessible := 'False'; ExternalVisible := 'False'; ExternalWritable := 'False' } : Array[1..6] of Real := [6(0.0)]; // Частота вкл
TimeOFF { ExternalAccessible := 'False'; ExternalVisible := 'False'; ExternalWritable := 'False' } : Array[1..6] of UInt := [0, 5(5)]; // Задержка выкл
TimeON { ExternalAccessible := 'False'; ExternalVisible := 'False'; ExternalWritable := 'False' } : Array[1..6] of UInt := [0, 5(5)]; // Задержка вкл
SleepMode { ExternalAccessible := 'False'; ExternalVisible := 'False'; ExternalWritable := 'False' } : Struct // Функция остановки насоса при низком расходе
"Function" { ExternalAccessible := 'False'; ExternalVisible := 'False'; ExternalWritable := 'False' } : Bool := 0; // Активация/деактивация функции
SleepFunctionMode { ExternalAccessible := 'False'; ExternalVisible := 'False'; ExternalWritable := 'False' } : UInt; // Тип работы спящего режима: 0 LowFlowDetectMode { ExternalAccessible := 'False'; ExternalVisible := 'False'; ExternalWritable := 'False' } : UInt; // Способ оценки низкого расхода
FrequencyOFF { ExternalAccessible := 'False'; ExternalVisible := 'False'; ExternalWritable := 'False' } : Real := 0.0; // Частота насоса при отсутствии расхода
SleepModeOnDelay { ExternalAccessible := 'False'; ExternalVisible := 'False'; ExternalWritable := 'False' } : UInt := 0; // Задержка, перед переходом из спящего режима
AnalyzeTime { ExternalAccessible := 'False'; ExternalVisible := 'False'; ExternalWritable := 'False' } : UInt := 0; // Время анализа выхода из спящего режима
Hysteresis { ExternalAccessible := 'False'; ExternalVisible := 'False'; ExternalWritable := 'False' } : UInt := 0; // Гистерезис уставки, %
LowFlow { ExternalAccessible := 'False'; ExternalVisible := 'False'; ExternalWritable := 'False' } : Real := 0.0; // Значение низкого расхода в системе
END_STRUCT;
PipeFilling { ExternalAccessible := 'False'; ExternalVisible := 'False'; ExternalWritable := 'False' } : Struct // Функция заполнения трубопровода
"Function" { ExternalAccessible := 'False'; ExternalVisible := 'False'; ExternalWritable := 'False' } : Bool := 0; // Активация/деактивация функции
FillingPressure { ExternalAccessible := 'False'; ExternalVisible := 'False'; ExternalWritable := 'False' } : Real := 0.0; // Давление заполнения труб
MaxFillingTime { ExternalAccessible := 'False'; ExternalVisible := 'False'; ExternalWritable := 'False' } : UInt := 0; // Макс. время заполнения трубы
PumpsCount { ExternalAccessible := 'False'; ExternalVisible := 'False'; ExternalWritable := 'False' } : Int := 0; // Макс. кол. насосов с частотным приводом
FillingAlarm { ExternalAccessible := 'False'; ExternalVisible := 'False'; ExternalWritable := 'False' } : UInt := 0; // Действия в случае превышения скорости
PumpsSpeed { ExternalAccessible := 'False'; ExternalVisible := 'False'; ExternalWritable := 'False' } : Real := 0.0; // Максимальная частота насосов
RumpTime { ExternalAccessible := 'False'; ExternalVisible := 'False'; ExternalWritable := 'False' } : UInt := 0; // Время линейного нарастания давления
END_STRUCT;
PIDSpeed { ExternalAccessible := 'False'; ExternalVisible := 'False'; ExternalWritable := 'False' } : Real; // Задание скорости PID
PumpsAutoModeAllowCount { ExternalAccessible := 'False'; ExternalVisible := 'False'; ExternalWritable := 'False' } : Int; // Количество насосов доступных для переключения
maskCascade { ExternalAccessible := 'False'; ExternalVisible := 'False'; ExternalWritable := 'False' } : UInt; // Маска каскадного включения насосов
SleepModeON { ExternalAccessible := 'False'; ExternalVisible := 'False'; ExternalWritable := 'False' } : Bool; // Флаг, система перешла в режим спящего режима
"S-Mode" { ExternalAccessible := 'False'; ExternalVisible := 'False'; ExternalWritable := 'False' } : Bool; // S-режим регулирования
FillingPhase { ExternalAccessible := 'False'; ExternalVisible := 'False'; ExternalWritable := 'False' } : Bool; // Флаг, Этап заполнения трубы
DryRunAlarm { ExternalAccessible := 'False'; ExternalVisible := 'False'; ExternalWritable := 'False' } : Bool; // Авария Время заполнения трубы
FillingPhaseMaxTimeAlarm { ExternalAccessible := 'False'; ExternalVisible := 'False'; ExternalWritable := 'False' } : Bool; // Авария Время заполнения трубы
FeedBackSensorError { ExternalAccessible := 'False'; ExternalVisible := 'False'; ExternalWritable := 'False' } : Bool; // Авария датчика обратной связи
LowPressure { ExternalAccessible := 'False'; ExternalVisible := 'False'; ExternalWritable := 'False' } : Bool; // Авария, аварийно-низкое давление
AlarmHighPressureError { ExternalAccessible := 'False'; ExternalVisible := 'False'; ExternalWritable := 'False' } : Bool; // Авария аварийно-высокое давление
BlockingSignal { ExternalAccessible := 'False'; ExternalVisible := 'False'; ExternalWritable := 'False' } : Bool; // Сигнал, блокировка работы в автоматическом режиме
END_VAR
VAR_IN_OUT
maskCurrentCascade { ExternalAccessible := 'False'; ExternalVisible := 'False'; ExternalWritable := 'False' } : UInt; // Текущая маска каскадного включения насосов
END_VAR
VAR
TimeCascadeOn { ExternalAccessible := 'False'; ExternalVisible := 'False'; ExternalWritable := 'False'; S7_SetPoint := 'False' } : "Array_of_TON_TIMER";
TimeCascadeOFF { ExternalAccessible := 'False'; ExternalVisible := 'False'; ExternalWritable := 'False'; S7_SetPoint := 'False' } : "Array_of_TON_TIMER";

```

```

VAR_TEMP
i : Int;
ProccesoverHighLimit : Bool;
ProccesbelowLowLimit : Bool;
error : Bool;
status : Word;
END_VAR

BEGIN
REGION BLOCK INFO
//=====
// AKN LLC / (c)Copyright 2022
//=====
// Title: Closed Loop Control
// Comment/Function: Управление насосами в замкнутом контуре
//
//
//
// Library/Family: Algoritm Functions
// Author: Moroz Maksym
// Tested with: CPU1214C DC/DC/DC FW:V4.2
// Engineering: TIA Portal V16.1
// Restrictions:
// Requirements: PLC (S7-1200)
//=====
// Change log table:
// Version | Date | Expert in charge | Changes applied
// 01.00.00 | 30.09.2022 | Moroz Maksym AKN LLC | first release
//=====
END_REGION

//Инициализация таймеров задержки включения насосов и выключения насосов
#TimeCascadeOn(PT := #TimeOn);
#TimeCascadeOff(PT := #TimeOff);

IF #FeedBackSensorError = 0 AND #FillingPhaseMaxTimeAlarm = 0 AND #LowPressure=0 AND #AlarmHightPressureError=0 AND #BlokngSignal=0 THEN //Если нету аварии датчика обратной с
//нету аварии "аварийно-низкое давление"
//нету сигнала блокировки работы в автоматическом режиме

IF "GET_BIT_FROM_VALUE"(Value := #maskCurrentCascade, Bit_number := #i + 1) = 1 AND "GET_BIT_FROM_VALUE"(Value := #maskCascade, Bit_number := #i + 1) = 1 AND "GET_BIT_FROM_VALUE"(Value := #maskCascade,
IF "LGF_IsValueInRange"(Value := #ProcessVariable, setpoint := #SetPoint, range := #DeadBand * 2, overHighLimit => #ProccesoverHighLimit, belowLowLimit => #ProccesbelowLowLimit, error => #error, s
#TimeCascadeOff.IN[#i + 2] := 1;
ELSE
#TimeCascadeOff.IN[#i + 2] := 0;
END_IF;

IF #TimeCascadeOff.O[#i + 2] = 1 THEN
#maskCurrentCascade := "RESET_BIT_IN_VALUE"(Bit_number := #i + 1, IN := #maskCurrentCascade);
#TimeCascadeOff.IN[#i + 2] := 0;
END // EXIT;
END_IF;
END_IF;

END_FOR;
ELSE
#maskCurrentCascade := 0; //Если в системе нет доступных насосов для работы в автоматическом режиме
END_IF;

ELSE //Если система перешла в спл режим
IF #SleepMode.SleepFunctionMode = 0 THEN //Если выбран колебательный режим (спл режима)
IF #ProcessVariable < #SetPoint - "X_to_Real"("X") := #SleepMode.Hysteresis, Value := #SetPoint) THEN // Включение первого насоса если давление упало ниже уставки - гистерезис
IF "GET_BIT_FROM_VALUE"(Value := #maskCascade, Bit_number := 0) = 0 THEN //Если первый насос еще не запущен
#maskCurrentCascade := "SET_BIT_IN_VALUE"(Bit_number := 0, IN := #maskCurrentCascade); //Выставляем флаг необходимости включения первого насоса
END_IF;
ELSIIF #ProcessVariable > #SetPoint + "X_to_Real"("X") := #SleepMode.Hysteresis, Value := #SetPoint) THEN // Включение первого насоса если давление поднялось выше уставки + гистерезис
IF "GET_BIT_FROM_VALUE"(Value := #maskCascade, Bit_number := 0) = 1 THEN //Если первый насос запущен
#maskCurrentCascade := "RESET_BIT_IN_VALUE"(Bit_number := 0, IN := #maskCurrentCascade); //Выставляем флаг необходимости выключения первого насоса
END_IF;
ELSE //Если выбран пороговый режим (спл режима)
IF #ProcessVariable < #SetPoint - "X_to_Real"("X") := #SleepMode.Hysteresis, Value := #SetPoint) THEN // Включение первого насоса если давление упало ниже уставки - гистерезис
IF "GET_BIT_FROM_VALUE"(Value := #maskCascade, Bit_number := 0) = 0 THEN //Если первый насос еще не запущен
#maskCurrentCascade := "SET_BIT_IN_VALUE"(Bit_number := 0, IN := #maskCurrentCascade); //Выставляем флаг необходимости включения первого насоса
END_IF;
ELSIIF "LGF_IsValueInRange"(Value := #ProcessVariable, setpoint := #SetPoint, range := #DeadBand * 2, overHighLimit => #ProccesoverHighLimit, belowLowLimit => #ProccesbelowLowLimit, error => #error, status
IF "GET_BIT_FROM_VALUE"(Value := #maskCascade, Bit_number := 0) = 1 THEN //Если первый насос запущен
#maskCurrentCascade := "RESET_BIT_IN_VALUE"(Bit_number := 0, IN := #maskCurrentCascade); //Выставляем флаг необходимости выключения первого насоса
END_IF;
END_IF;
END_IF;
ELSE
//Если в системе нету регулируемых приводов (не авт. режим работы/в резерве/аварии) (для вида пуска E,FE) или преобразователь частоты в аварии (для вида пуска F) выполняем включение насосов согласно S-установке
IF #PumpsAutoModeAllowCount > 0 THEN // Если есть насосы доступные для автоматического режима работы
//Включение первого насоса без задержки времени если есть необходимость
IF #ProcessVariable < #SetPoint - #deltaValue THEN
IF "GET_BIT_FROM_VALUE"(Value := #maskCascade, Bit_number := 0) = 0 THEN //Если первый насос еще не запущен
#maskCurrentCascade := "SET_BIT_IN_VALUE"(Bit_number := 0, IN := #maskCurrentCascade); //Выставляем флаг необходимости включения первого насоса
END_IF;
ELSIIF #ProcessVariable > #SetPoint + #deltaValue THEN
IF "GET_BIT_FROM_VALUE"(Value := #maskCascade, Bit_number := 0) = 1 THEN //Если первый насос запущен
#maskCurrentCascade := "RESET_BIT_IN_VALUE"(Bit_number := 0, IN := #maskCurrentCascade); //Выставляем флаг необходимости выключения первого насоса
END_IF;
ELSE
#maskCurrentCascade := 0; //Если в системе нет доступных насосов для работы в автоматическом режиме
END_IF;

ELSE //Если система перешла в спл режим
IF #SleepMode.SleepFunctionMode = 0 THEN //Если выбран колебательный режим (спл режима)
IF #ProcessVariable < #SetPoint - "X_to_Real"("X") := #SleepMode.Hysteresis, Value := #SetPoint) THEN // Включение первого насоса если давление упало ниже уставки - гистерезис
IF "GET_BIT_FROM_VALUE"(Value := #maskCascade, Bit_number := 0) = 0 THEN //Если первый насос еще не запущен
#maskCurrentCascade := "SET_BIT_IN_VALUE"(Bit_number := 0, IN := #maskCurrentCascade); //Выставляем флаг необходимости включения первого насоса
END_IF;
ELSIIF #ProcessVariable > #SetPoint + "X_to_Real"("X") := #SleepMode.Hysteresis, Value := #SetPoint) THEN // Включение первого насоса если давление поднялось выше уставки + гистерезис
IF "GET_BIT_FROM_VALUE"(Value := #maskCascade, Bit_number := 0) = 1 THEN //Если первый насос запущен
#maskCurrentCascade := "RESET_BIT_IN_VALUE"(Bit_number := 0, IN := #maskCurrentCascade); //Выставляем флаг необходимости выключения первого насоса
END_IF;
ELSE //Если выбран пороговый режим (спл режима)
IF #ProcessVariable < #SetPoint - "X_to_Real"("X") := #SleepMode.Hysteresis, Value := #SetPoint) THEN // Включение первого насоса если давление упало ниже уставки - гистерезис
IF "GET_BIT_FROM_VALUE"(Value := #maskCascade, Bit_number := 0) = 0 THEN //Если первый насос еще не запущен
#maskCurrentCascade := "SET_BIT_IN_VALUE"(Bit_number := 0, IN := #maskCurrentCascade); //Выставляем флаг необходимости включения первого насоса
END_IF;
ELSIIF "LGF_IsValueInRange"(Value := #ProcessVariable, setpoint := #SetPoint, range := #DeadBand * 2, overHighLimit => #ProccesoverHighLimit, belowLowLimit => #ProccesbelowLowLimit, error => #error, status
IF "GET_BIT_FROM_VALUE"(Value := #maskCascade, Bit_number := 0) = 1 THEN //Если первый насос запущен
#maskCurrentCascade := "RESET_BIT_IN_VALUE"(Bit_number := 0, IN := #maskCurrentCascade); //Выставляем флаг необходимости выключения первого насоса
END_IF;
END_IF;
END_IF;
ELSE
//Если в системе нету регулируемых приводов (не авт. режим работы/в резерве/аварии) (для вида пуска E,FE) или преобразователь частоты в аварии (для вида пуска F) выполняем включение насосов
IF #PumpsAutoModeAllowCount > 0 THEN // Если есть насосы доступные для автоматического режима работы
//Включение первого насоса без задержки времени если есть необходимость
IF #ProcessVariable < #SetPoint - #deltaValue THEN
IF "GET_BIT_FROM_VALUE"(Value := #maskCascade, Bit_number := 0) = 0 THEN //Если первый насос еще не запущен
#maskCurrentCascade := "SET_BIT_IN_VALUE"(Bit_number := 0, IN := #maskCurrentCascade); //Выставляем флаг необходимости включения первого насоса
END_IF;
ELSIIF #ProcessVariable > #SetPoint + #deltaValue THEN
IF "GET_BIT_FROM_VALUE"(Value := #maskCascade, Bit_number := 0) = 1 AND "GET_BIT_FROM_VALUE"(Value := #maskCascade, Bit_number := 0) = 1 AND "GET_BIT_FROM_VALUE"(Value := #mask
#maskCurrentCascade := "RESET_BIT_IN_VALUE"(Bit_number := 0, IN := #maskCurrentCascade); //Выставляем флаг необходимости включения первого насоса
END_IF;
END_IF;
FOR #i := 0 TO #PumpsAutoModeAllowCount - 2 DO
//Если вид пуска насоса E/FE - привода/преобразователь частоты не аварии/резерве и режим работы и их режим работы автоматический
//для вида пуска насоса F - преобразователь частоты не аварии
//тогда включение и отключение насосов осуществляется согласно заданным пользователем времени и частоты включения/отключения насосов
//Если текущее давление меньше уставки и текущая частота регулируемого насоса больше частоты заданной пользователем
//включение 2-го и более насосов если необходимо
IF "GET_BIT_FROM_VALUE"(Value := #maskCurrentCascade, Bit_number := #i + 1) = 0 AND "GET_BIT_FROM_VALUE"(Value := #maskCascade, Bit_number := #i + 1) = 0 AND "GET_BIT_FROM_VALUE"(Va
IF #ProcessVariable < #SetPoint - #deltaValue THEN

```

```

//Включеніе 2-го и более насосов если необходимо
IF "GET_BIT_FROM_VALUE"(Value := #maskCurrentCascade, Bit_number := #i + 1) = 0 AND "GET_BIT_FROM_VALUE"(Value := #maskCascade, Bit_num

    IF (#ProcessVariable < #SetPoint - #deltaValue) THEN
        #TimeCascadeOn.IN[#i + 2] := 1;
    ELSE
        #TimeCascadeOn.IN[#i + 2] := 0;
    END_IF;

    IF #TimeCascadeOn.Q[#i + 2] = 1 THEN
        #maskCurrentCascade := "SET_BIT_IN_VALUE"(Bit_number := #i + 1, IN := #maskCurrentCascade);
        #TimeCascadeOn.IN[#i + 2] := 0;
        // EXIT;
    END_IF;
END_IF;

IF "GET_BIT_FROM_VALUE"(Value := #maskCurrentCascade, Bit_number := #i + 1) = 1 AND "GET_BIT_FROM_VALUE"(Value := #maskCascade, Bit_num
IF (#ProcessVariable > #SetPoint + #deltaValue) THEN
    #TimeCascadeOFF.IN[#i + 2] := 1;
ELSE
    #TimeCascadeOFF.IN[#i + 2] := 0;
END_IF;

IF #TimeCascadeOFF.Q[#i + 2] = 1 THEN
    #maskCurrentCascade := "RESET_BIT_IN_VALUE"(Bit_number := #i + 1, IN := #maskCurrentCascade);
    #TimeCascadeOFF.IN[#i + 2] := 0;
    // EXIT;
END_IF;
END_IF;
END_FOR;
ELSE
    #maskCurrentCascade := 0; //Если в системе нет доступных насосов для работы в автоматическом режиме
END_IF;
END_IF;
END_IF;

IF #DryRunAlarm = 1 OR #FeedBackSensorError=1 OR #fillingPhaseMaxTimeAlarm=1 OR #LowPresure=1 OR #AlarmHightPressureError=1 OR #BlokigSignal=1 THEN //
    //При аварии датчика обратной связи
    //При аварии заполнения трубопровода
    //При аварии аварийно-низкое давление
    //При аварии аварийно-низкое давление
    //При сигнале блокировки

    #maskCurrentCascade:= 0;
END_IF;

```

ND\_FUNCTION\_BLOCK

В даній системі можна легко встановити тиск, який необхідно підтримувати. Та показано графік роботи системи(рис. 3.3).

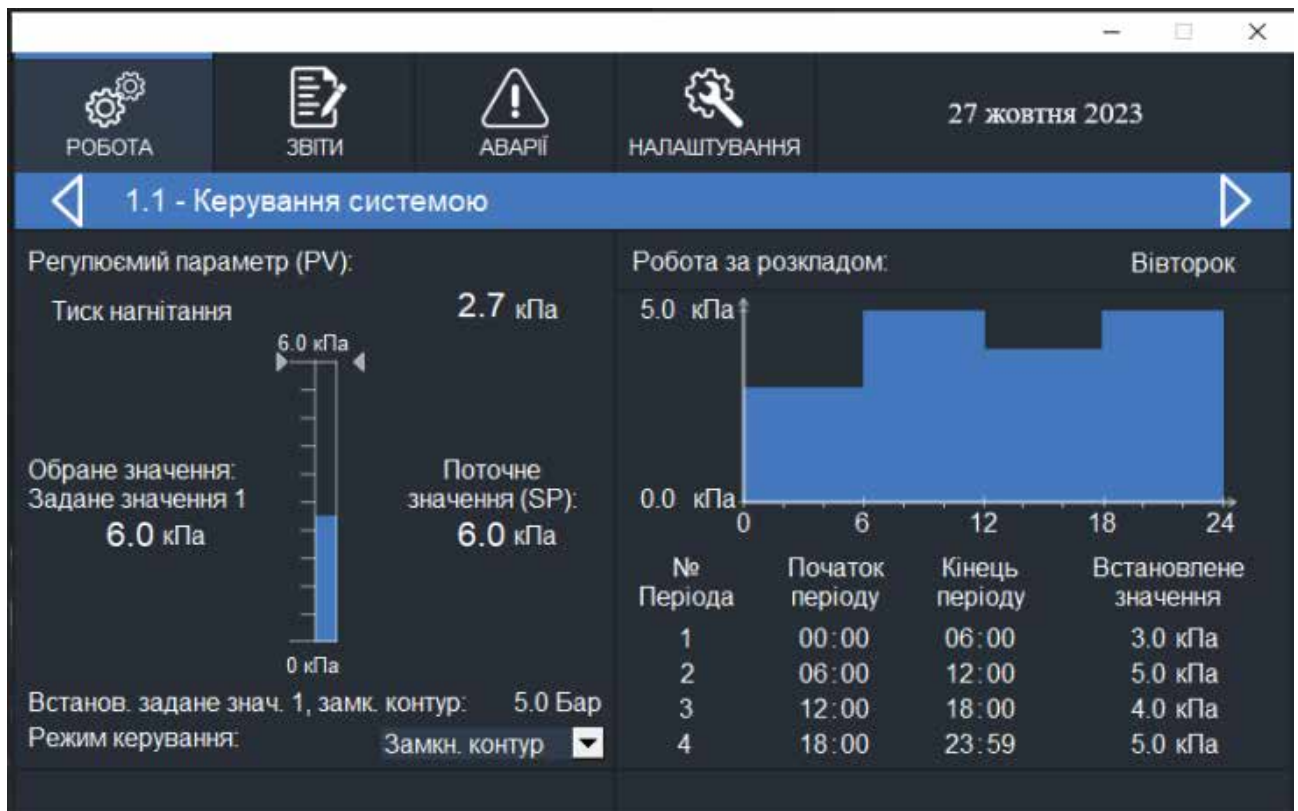


Рис. 3.3 Вікно «Керування системою»

В системі також вказано кількість запусків та напрацювання годин кожного з насосів (рис. 3.4).

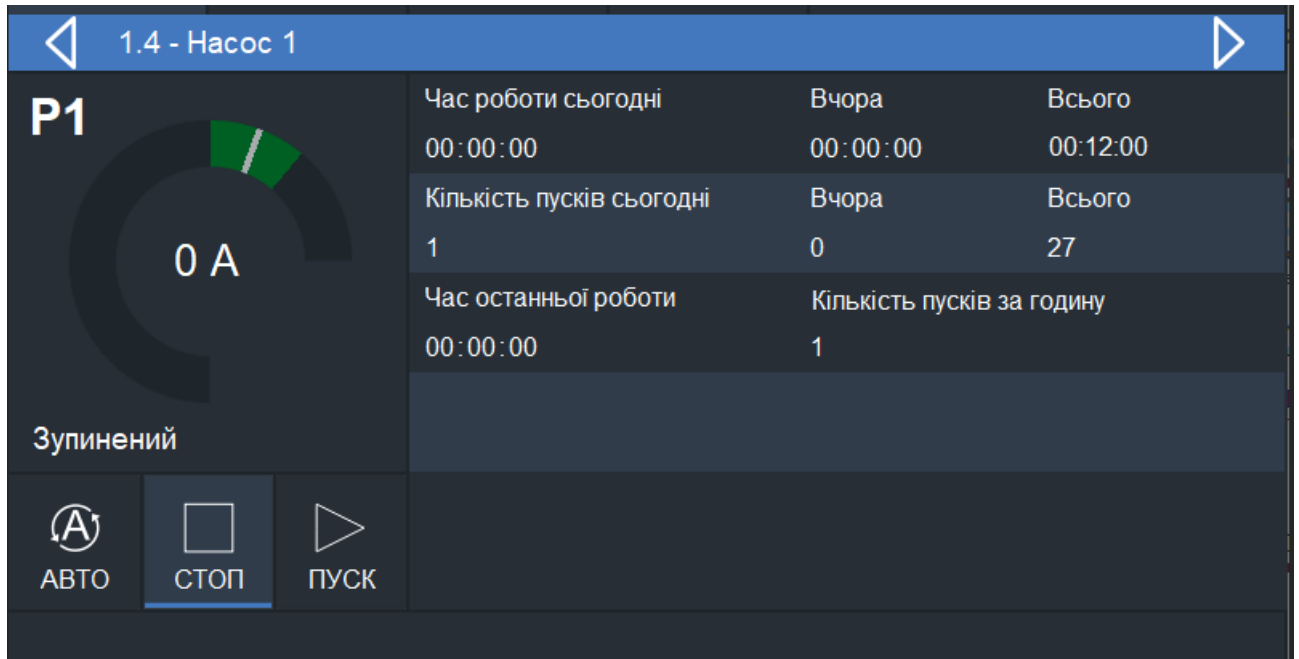


Рис. 3.4 Вікно «Насос 1»

Так як система каскадна, то якщо для підтримання тиску необхідна робота одного насоса, система може вибирати який насос запустити по його напрацюванню(рис. 3.5).

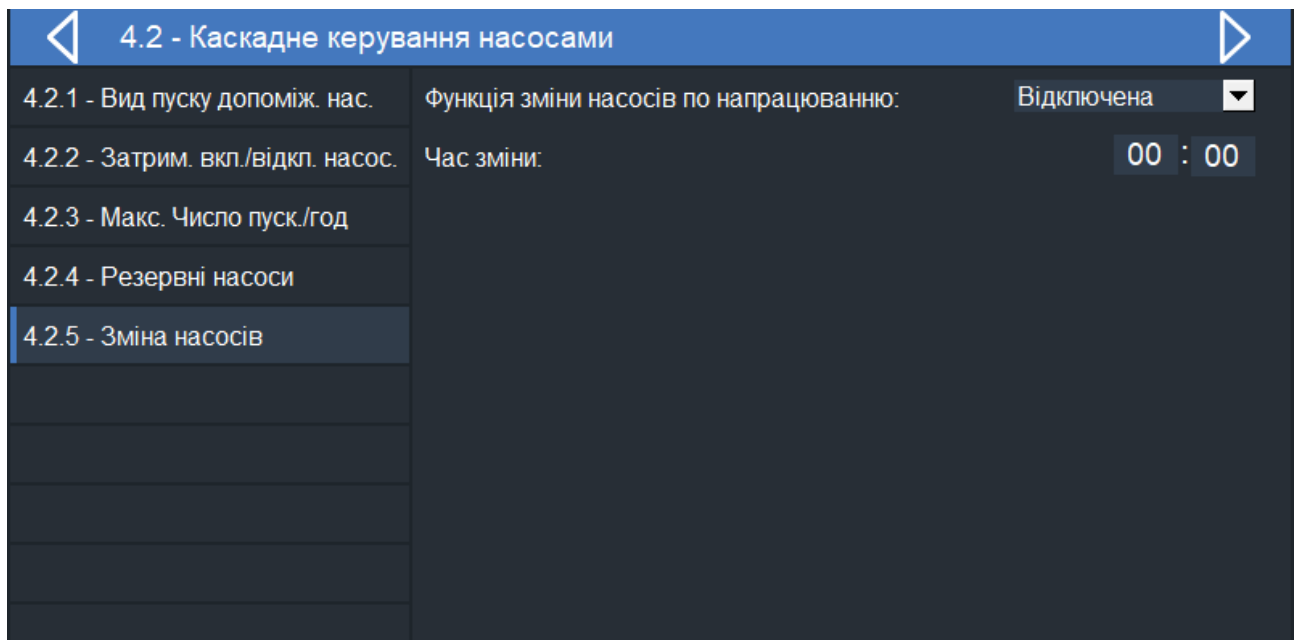


Рис. 3.5 Вікно «Зміна насосів по напрацюванню»

Нижче показано як це реалізовано за допомогою коду

---

```

FUNCTION "PriorityRotation" : Void
{ S7_Optimized_Access := 'TRUE' }
VERSION : 0.1
  VAR_INPUT
    InputPriority : Array[1..6] of Int;    // Вход для массива приоритетов
    PumpsAutoModeAllow : Array[1..6] of Bool;    // Разрешение работы насосов
    Pumps_Swich_Types : Array[1..6] of UInt;    // 6 - S - прямой пуск от
  END_VAR

  VAR_OUTPUT
    "Idex_of-pump_priotity" : Array[1..6] of Int;    // Адреса насосов с н
  END_VAR

  VAR_TEMP
    j : Int;
    k : Int;
    z : Int;
    x : Int;
    j1 : Int;
    i1 : Int;
    v : Int;
    b : Int;
    n : Int;
    m : Int;
    l : Int;
    h : Int;
    Prioritet_by_Allow : Array[1..6] of Int;    // Приоритет по готовности
    Prioritet_by_SwichMode : Array[1..6] of Int;    // Приоритет по типу п
    priority : Int;
    SwichmodePriority : Int;
    start_smenu_prioritetov : Bool;
  END_VAR

  VAR CONSTANT
    Count_of_pumps : Int := 6;    // Количество насосов в системе
  END_VAR

BEGIN
  REGION BLOCK INFO
    //=====
    //-----
    // Title:          PriorityRotation
    // Comment/Function: Смена приоритетов включения насосов
    //                  в случае неготовности насосов к работе
    //                  При смене приоритетов учитываются осн
    //                  Если насос не готов к работе, его приор
    // Library/Family: PumpsControl Algoritms

    // Tested with:    CPU1215C DC/DC/RLY FW:V4.2
    // Engineering:    TIA Portal V16.1
    // Restrictions:

```

---

```

END_REGION

REGION LOGIC

//Для расчета приоритетов включения насосов с учетом вида пуска насосов сперва необходимо
//по виду пуска и времени наработки.
#SwichmodePriority := 1;
FOR #1 := 1 TO 6 DO //счетчик способов включения насосов: 6 - S - прямой пуск от сети, 5 -
  FOR #v := 1 TO #Count_of_pumps DO //Счетчик приоритетов от 1 до "количества насосов"
    FOR #b := 1 TO #Count_of_pumps DO
      IF (#Pumps_Swich_Types[#b] = #1 AND #InputPriority[#b] = #v) THEN //Задача дан
                                                                    //насосам с о
          #Prioritet_by_SwichMode[#b] := #SwichmodePriority;
          #SwichmodePriority := #SwichmodePriority + 1;
        END_IF;
      END_FOR;
    END_FOR;
  END_FOR;

//После присвоения приоритетов по виду пуска и времени наработки выставляем приоритеты по г

#priority := 1; //Объявляем переменную и присваиваем ей значение наибольшего приоритета.
FOR #j := 1 TO #Count_of_pumps DO //счетчик приоритетов от 1 до "количества насосов"
  FOR #k := 1 TO #Count_of_pumps DO
    IF (#PumpsAutoModeAllow[#k] = 1 AND #Prioritet_by_SwichMode[#k] = #j) THEN //Прим.:
      #Prioritet_by_Allow[#k] := #priority; //выставляем
      #priority := #priority + 1; //Инкриментируем p
    END_IF;
  END_FOR;
END_FOR;

//После того, как выставили приоритеты от 1 до # начинаем выставлять приоритеты для насосов
// Продолжаем выставлять приоритеты для неработающих насосов начиная с последнего приоритет
FOR #z := 1 TO #Count_of_pumps DO
  FOR #x := 1 TO #Count_of_pumps DO
    IF #PumpsAutoModeAllow[#x] = 0 AND #Prioritet_by_SwichMode[#x] = #z THEN
      #Prioritet_by_Allow[#x] := #priority;
      #priority := #priority + 1;
    END_IF;
  END_FOR;
END_FOR;

//Запоминаем индексы насосов по новым приоритетам
FOR #i1 := 1 TO #Count_of_pumps DO
  FOR #j1 := 1 TO #Count_of_pumps DO
    IF #Prioritet_by_Allow[#i1] = #j1 THEN
      #"Idex_of-pump_priotity"[#j1] := #i1;
    END_IF;
  END_FOR;
END_FOR;

END_REGION
END_FUNCTION

```

### 3.2. Розрахунок електропривода насоса станції другого підйому К45/30

За функціональною схемою автоматизації для регулювання тиску у системі водопостачання використовується насос другого підйому К45/30. Це горизонтальний агрегат з відцентровим консольним одноступінчатим насосом з одностороннім підводом рідини до робочого колеса для перекачування чистої

води з рН=6-9, та інших рідин подібних до води щільності. Загальний вигляд насосу приведено на рис. 3.6.



Рис. 3.6. Загальний вигляд насосу K45/30

**Основні характеристики насосу:**

Подача – 45 м<sup>3</sup>/год.;

Напір – 32 м;

Частота обертання – 750 об/хв.;

Потужність насосу – 7.5 кВт;

Допустимий кавітаційний запас – 4 м;

Маса насоса – 53кг.

Розрахункова потужність насоса  $P_{POЗP}$ , кВт, за даними технічними характеристиками насоса ( $Q_{НАС}$ ,  $H_{НАС}$ ,  $\eta_{НАС}$ ) визначається за виразом

$$P_{POЗP} = \frac{Q_{НАС} \cdot H_{НАС} \cdot \rho \cdot g}{\eta_{НАС} \cdot 10^3}, \quad (3.1)$$

де:  $Q_{НАС}$  - подача насоса, м<sup>3</sup>/с;  $H_{НАС}$  - напір насоса, м;  $\rho$  - густина молока, кг/м<sup>3</sup>;  $g$  - прискорення вільного падіння, м/с<sup>2</sup>;  $\eta_{НАС}$  - ККД насоса.

$$Q_{НАС} = 45 \text{ (м}^3 \text{ / год.)} = 0,0125 \text{ (м}^3 \text{ / с)},$$

$$P_{POЗP} = \frac{0,0125 \cdot 32 \cdot 1000 \cdot 9,8}{0,56 \cdot 10^3} = 6,3 \text{ кВт}.$$

Потужність привідного двигуна  $P_{Н.ДВ}$ , кВт, визначається за співвідношенням

$$P_{Н.ДВ} \geq \frac{K_3 \cdot P_{POЗP}}{\eta_{ПЕР}}, \quad (3.2)$$

де:  $\eta_{ПЕР}$  - ККД передачі (при безпосередньому з'єднанні двигуна з насосом  $\eta_{ПЕР} = 1$ , для клинопасової передачі -  $\eta_{ПЕР} = 0,97$ );

$K_3$  - коефіцієнт запасу (при потужності насоса до 1,5 кВт  $K_3 = 1,5$ ; від 1,5 до 4,0 кВт -  $K_3 = 1,2$ ; від 4,0 до 35 кВт  $K_3 = 1,15$ ; більше 35 кВт -  $K_3 = 1,1$ ).

$$P_{Н.ДВ} \geq \frac{K_3 \cdot P_{ПОЗР}}{\eta_{ПЕР}} = \frac{1,15 \cdot 6,3}{1} \geq 7,2 \text{ кВт}.$$

За вищевказаними умовами для приводу насоса К45/30 доцільно використати асинхронний трифазний електродвигун марки АИР160S8У3 потужністю  $P_{Н.ДВ} = 7,5 \text{ кВт}$ , напругою живлення  $U_{Ж} = 380 \text{ В}$ , 50 Гц, технічні характеристики якого наведені в таблиці 3.1.

Таблиця 3.1.

Технічні характеристики електродвигуна АИР160S8 У3

$P_{Н.ДВ},$ кВт	$n,$ $\frac{\text{об.}}{\text{хв.}}$	$I_H,$ А	$\eta,$ %	$\cos\varphi$	$S_H,$ , %	$\frac{I_{ПУСК}}{I_H}$	$\frac{M_{ПУСК}}{M_H}$	$\frac{M_{МАКС}}{M_H}$	$\frac{M_{МИН}}{M_H}$	$J_{ДВ},$ кг·м <sup>2</sup>
7,5	750	18	85	0,73	3,0	6,0	1,9	2,0	1,4	0,08

Розшифровка умовного позначення АИР160S8 У3: 160 – габарит (висота вісі обертання, мм); S - установочний розмір за довжиною станини; кліматичне виконання У3 за ГОСТ 15150-69;

Для перевірки вибраного електродвигуна за умовами пуску по нагріву під час пуску, при зниженій напрузі та із урахуванням розкидання параметрів двигуна необхідно провести певні розрахунки.

*Механічна характеристика насоса* має типову вентиляторну характеристику [9], яка описується рівнянням

$$Mc = Mc_0 + (Mc_H - Mc_0) \cdot \left[ \frac{\omega}{\omega_H} \right]^x, \quad (3.3)$$

де:  $Mc$  - момент опору робочої машини,  $H \cdot м$ ;

$M_{c_0}$  - початковий момент тертя (зрушення) робочої машини, який не залежить від зміни швидкості,  $H \cdot m$ ;

$M_{c_H}$  - момент статичних опорів робочої машини при номінальній швидкості,  $H \cdot m$ ;

$\omega$  - поточне значення кутової швидкості вала робочої машини,  $rad/c$ ;

$\omega_H$  - номінальне значення кутової швидкості обертання робочої машини,  $rad/c$ ;

$X$  - коефіцієнт, який характеризує ступінь залежності моменту статичних опорів від швидкості; для насосів  $X = 2$ .

$$M_{c_H} = 9550 \cdot \frac{P_H}{n_H} = 9550 \cdot \frac{7,5}{750} = 99,479 H \cdot m, \quad (3.4)$$

$$\omega_H = \frac{2 \cdot \pi \cdot n_H}{60} = \frac{2 \cdot 3,14 \cdot 720}{60} = 75,398 rad/c, \quad (3.5)$$

$$M_{c_0} = 0,15 \cdot M_{c_H} = 0,15 \cdot 99,479 = 14,922 H \cdot m. \quad (3.6)$$

Результати розрахунку даних для побудови механічної характеристики насоса, отримані за допомогою математичного пакету Mathcad, заносимо до таблиці 3.2, механічна характеристика насоса зображена на рис. 3.2.

Момент інерції, приведений до валу двигуна, визначається за виразом

$$J_{IP} = J_{ДВ} + J_{PM}, \quad (3.7)$$

де:  $J_{ДВ}$  - момент інерції двигуна,  $kg \cdot m^2$ ;

$$J_{ДВ} = 0,08 kg \cdot m^2 \text{ (табл. 3.1);}$$

$J_{PM}$  - момент інерції робочої машини,  $kg \cdot m^2$ ;

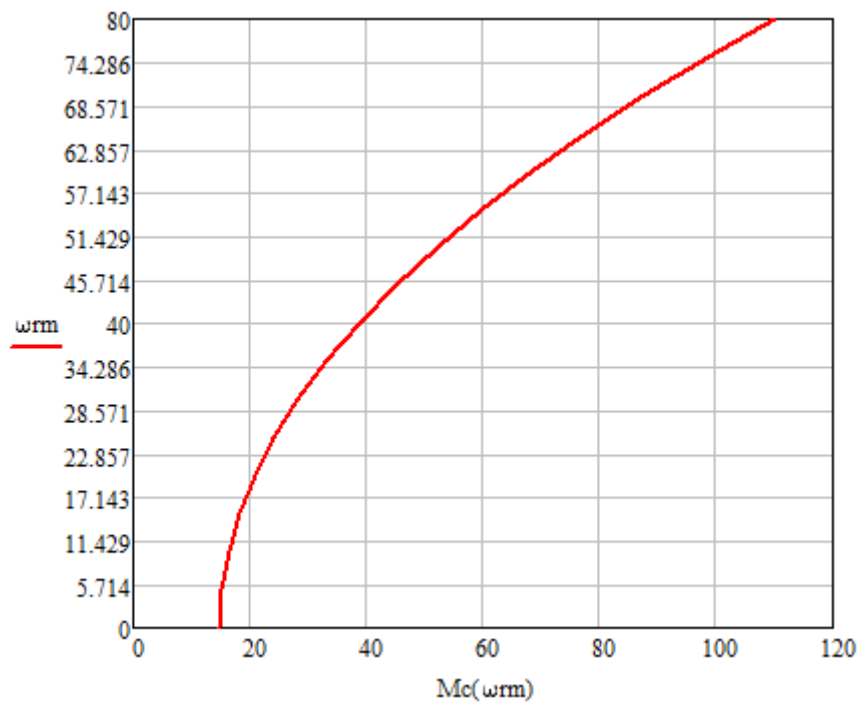
$$J_{PM} = 0,7 \cdot J_{ДВ} = 0,7 \cdot 0,08 = 0,056 kg \cdot m^2.$$

$$J_{IP} = J_{ДВ} + J_{PM} = 0,08 + 0,056 = 0,136 kg \cdot m^2.$$

Таблиця 3.2.

## Розрахункова механічна характеристика насоса

$\omega, \text{рад./с}$	0	5	10	15	20	25	30	35
$M_c, \text{Н} \cdot \text{м}$	14,92	15,29	16,40	18,26	20,87	24,21	28,30	33,143
	2	4	9	9	1	8	9	
40	45	50	55	60	65	70	75	80
38,720	45,04	52,10	59,91	68,46	77,76	87,80	98,58	110,11
	2	7	6	8	5	5	8	6

Рис. 3.7. Механічна характеристика насоса  $M_c = f(\omega_{PM})$ 

Механічна характеристика електродвигуна розраховується за каталожними даними (таблиця 3.1) за 5 точками:

1. Перша точка визначається за умовою

$$M_1 = 0; S_1 = 0. \quad (3.8)$$

2. Друга точка визначається за умовою

$$M_2 = M_H = 9550 \cdot \frac{P_H}{n_H} = 99,479 \text{ Н} \cdot \text{м}; \quad (3.9)$$

$$S_2 = S_H = \frac{n_0 - n_H}{n_0} = \frac{750 - 720}{750} = 0,04. \quad (3.10)$$

3. Третя точка відповідає режиму максимального навантаження

$$M_3 = M_{KP}; S_3 = S_{KP}; \quad (3.11)$$

$$M_{KP} = M_H \cdot \mu_{KP} = 99,479 \cdot 2,0 = 198,958 \text{ Н} \cdot \text{м}; \quad (3.12)$$

де  $\mu_{KP} = \frac{M_{\text{МАКС}}}{M_H} = 2,0$  (таблиця 3.1).

$$S_{KP} = \frac{S_H + \sqrt{S_H \cdot \frac{\mu_{KP} - 1}{\mu_1 - 1}}}{1 + \sqrt{S_H \cdot \frac{\mu_{KP} - 1}{\mu_1 - 1}}}; \quad (3.13)$$

де:  $\mu_1 = \frac{\mu_{KP}}{\mu_{\text{ПУСК}}} = \frac{2,0}{1,9} = 1,053$ ;  $\mu_{\text{ПУСК}} = \frac{M_{\text{ПУСК}}}{M_H} = 1,9$  (таблиця 3.1).

$$S_{KP} = \frac{S_H + \sqrt{S_H \cdot \frac{\mu_{KP} - 1}{\mu_1 - 1}}}{1 + \sqrt{S_H \cdot \frac{\mu_{KP} - 1}{\mu_1 - 1}}} = \frac{0,04 + \sqrt{0,04 \cdot \frac{2,0 - 1}{1,053 - 1}}}{1 + \sqrt{0,04 \cdot \frac{2,0 - 1}{1,053 - 1}}} = 0,487,$$

де:  $M_3 = M_{KP}$  — момент, що розраховується, рівний контрольному моменту;

$S_3 = S_{KP}$  — коефіцієнт ковзання, що розраховується, рівний контрольному ковзанню;

$M_{KP}$  — контрольний момент;

$M_H$  — номінальний (розрахунковий) момент;

$\mu_{KP}$  — відношення максимального моменту до номінального,  $\mu_{KP} = \frac{M_{\text{МАКС}}}{M_H}$ ;

$M_{\text{МАКС}}$  — максимальний момент;

$S_H$  — номінальне ковзання;

$\mu_1$  — відношення  $\mu_{KP}$  до  $\mu_{\text{ПУСК}}$ , тобто  $\mu_1 = \frac{\mu_{KP}}{\mu_{\text{ПУСК}}}$ ;

$\mu_{\text{ПУСК}}$  — пусковий моментний коефіцієнт,  $\mu_{\text{ПУСК}} = \frac{M_{\text{ПУСК}}}{M_H}$ ;

$M_{\text{ПУСК}}$  — пусковий момент.

4. Четверта точка визначається за умови

$$M_4 = M_{MH}; S_4 = S_{MH} = 0,8; \quad (3.14)$$

$$M_{MH} = M_H \cdot \mu_{MH} = 99,479 \cdot 1,4 = 139,271 \text{ Н} \cdot \text{м}; \quad (3.15)$$

де  $\mu_{MH} = \frac{M_{MH}}{M_H} = 1,4$  (таблиця 3.1).

5. П'ята точка визначається за умови

$$M_5 = M_{ПВСК}; S_5 = S_{ПВСК} = 1; \quad (3.16)$$

$$M_{ПВСК} = M_H \cdot \mu_{ПВСК} = 99,479 \cdot 1,9 = 189,01 \text{ Н} \cdot \text{м}; \quad (3.17)$$

Результати розрахунків для побудови механічної характеристики електродвигуна, отримані за допомогою математичного пакету Mathcad, заносимо в таблицю 3.3.

Побудова механічної характеристики електродвигуна з урахуванням допустимих відхилень моментів проводиться також за п'ятьма точками.

$$1) \quad S_1 = 0; \quad M_1^{мом} = 0; \quad (3.18)$$

$$2) \quad S_2 = S_H = 0,04; \quad M_2^{мом} = M_H = 99,479 \text{ Н} \cdot \text{м}; \quad (3.19)$$

$$3) \quad S_3 = S_{КР} = 0,487; \quad M_3^{мом} = 0,9 \cdot M_{КР} = 179,063 \text{ Н} \cdot \text{м}; \quad (3.20)$$

$$4) \quad S_4 = S_{МН} = 0,8; \quad M_4^{мом} = 0,8 \cdot M_{МН} = 111,417 \text{ Н} \cdot \text{м}; \quad (3.21)$$

$$5) \quad S_5 = S_{ПВСК} = 1; \quad M_5^{мом} = 0,85 \cdot M_{ПВСК} = 160,659 \text{ Н} \cdot \text{м}. \quad (3.22)$$

Побудова механічної характеристики електродвигуна з урахуванням допустимих відхилень напруги ( $-5\%$ ) проводиться за наступними точками.

$$1) \quad S_1 = 0; \quad M_1^{нап} = 0; \quad (3.23)$$

$$2) \quad S_2 = S_H = 0,04; \quad M_2^{нап} = 0,95^2 \cdot M_2^{мом} = 89,78 \text{ Н} \cdot \text{м}; \quad (3.24)$$

$$3) \quad S_3 = S_{КР} = 0,487; \quad M_3^{нап} = 0,95^2 \cdot M_3^{мом} = 161,604 \text{ Н} \cdot \text{м}; \quad (3.25)$$

$$4) \quad S_4 = S_{МН} = 0,8; \quad M_4^{нап} = 0,95^2 \cdot M_4^{мом} = 100,554 \text{ Н} \cdot \text{м}; \quad (3.26)$$

$$5) \quad S_5 = S_{ПВСК} = 1; \quad M_5^{нап} = 0,95^2 \cdot M_5^{мом} = 144,995 \text{ Н} \cdot \text{м}. \quad (3.27)$$

Для переведення значень ковзання  $S_1 - S_5$  в кутову швидкість,  $\text{рад}/\text{с}$ , необхідно скористатись виразами

$$1) \quad S_1 = 0; \quad \omega_1 = \omega_0 = \frac{2 \cdot \pi \cdot n_0}{60} = 78,54 \text{ рад}/\text{с}; \quad (3.28)$$

$$2) \quad S_2 = S_H; \quad \omega_2 = \omega_H = \frac{2 \cdot \pi \cdot n_H}{60} = 75,398 \text{ рад}/\text{с}; \quad (3.29)$$

$$3) \quad S_3 = S_{КР}; \quad \omega_3 = \omega_0 \cdot (1 - S_{КР}) = 40,282 \text{ рад}/\text{с}; \quad (3.30)$$

$$4) \quad S_4 = S_{МН}; \quad \omega_4 = \omega_0 \cdot (1 - S_{МН}) = 15,708 \text{ рад}/\text{с}; \quad (3.31)$$

$$5) \quad S_5 = S_{ПВСК}; \quad \omega_5 = 0. \quad (3.32)$$

Результати розрахунків для побудови вказаних механічних характеристик електродвигуна з урахуванням допустимих відхилень моментів, з урахуванням допустимих відхилень напруги (-5%), та значення переведення ковзання в кутову швидкість, отримані також за допомогою математичного пакету Mathcad, зводимо в таблицю 3.3.

Побудова механічних характеристик електродвигуна і робочої машини здійснюємо у такій послідовності.

1. Наносимо механічну характеристику електродвигуна  $\omega_{дв} = f(M^{напр})$
2. Наносимо характеристику робочої машини  $\omega_{рм} = f(M_c)$ .

Таблиця 3.3.

Розрахункові дані для побудови механічних характеристик електродвигуна

$S$	0	0,040	0,487	0,800	1,000
$\omega, \text{рад./с}$	78,54	75,398	40,282	15,708	0
$M, \text{Н} \cdot \text{м}$	0	99,479	198,958	139,271	189,010
$M^{мом}$	0	99,479	179,063	111,417	160,659
$M^{напр}$	0	89,780	161,604	100,554	144,995

3. Визначаємо графічним способом (рис. 3.3) значення динамічного моменту приводу за виразом

$$M_{дин} = M_{дв} - M_c, \quad (3.33)$$

причому необхідно розрахувати значення динамічного моменту і для характерних точок  $\omega_1, \omega_2 \dots \omega_5$ .

$$\omega_1 = 0 \text{ рад./с} \quad M_{дин1} = 130 \text{ Н} \cdot \text{м}$$

$$\omega_2 = 10 \text{ рад./с} \quad M_{дин2} = 93 \text{ Н} \cdot \text{м}$$

$$\omega_3 = 15,708 \text{ рад./с} \quad M_{дин3} = 82 \text{ Н} \cdot \text{м}$$

$$\omega_4 = 20 \text{ рад./с} \quad M_{дин4} = 87 \text{ Н} \cdot \text{м}$$

$$\omega_5 = 30 \text{ рад./с} \quad M_{дин5} = 115 \text{ Н} \cdot \text{м}$$

$$\omega_6 = 40,282 \text{ рад./с} \quad M_{дин6} = 122 \text{ Н} \cdot \text{м}$$

$$\omega_7 = 50 \text{ рад./с} \quad M_{\text{дин}7} = 100 \text{ Н} \cdot \text{м}$$

$$\omega_8 = 60 \text{ рад./с} \quad M_{\text{дин}8} = 65 \text{ Н} \cdot \text{м}$$

$$\omega_9 = 70 \text{ рад./с} \quad M_{\text{дин}9} = 22 \text{ Н} \cdot \text{м}$$

$$\omega_{10} = 74 \text{ рад./с} \quad M_{\text{дин}10} = 0 \text{ Н} \cdot \text{м}$$

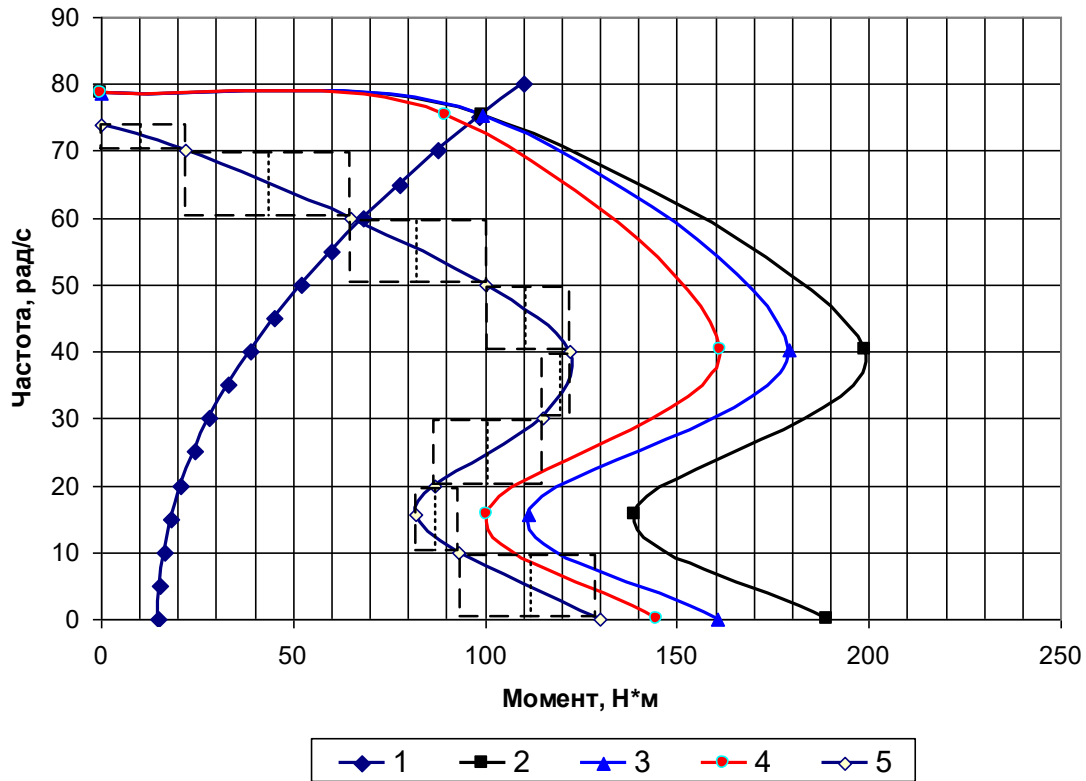


Рис. 3.8. Механічні характеристики: 1 – робочої машини  $\omega_{PM} = f(M_C)$ ; 2 – електродвигуна за каталожними даними  $\omega_{ДВ} = f(M)$ ; 3 – електродвигуна з урахуванням допустимих відхилень моментів  $\omega_{ДВ} = f(M^{мом})$ ; 4 – електродвигуна з урахуванням допустимих відхилень напруги  $\omega_{ДВ} = f(M^{нап})$ ; 5 – динамічна характеристика  $\omega = f(M_{\text{дин}})$

4. Розбиваємо на 8 ділянок (рис. 3.3) вісь  $\omega$  і на кожній ділянці усереднюємо динамічний момент

$$M_{\text{дин}1\text{СЕР}} = 112 \text{ Н} \cdot \text{м};$$

$$M_{\text{дин}2\text{СЕР}} = 87 \text{ Н} \cdot \text{м};$$

$$M_{\text{дин}3\text{СЕР}} = 101 \text{ Н} \cdot \text{м};$$

$$M_{\text{ДИН4СЕР}} = 120 \text{ Н} \cdot \text{м};$$

$$M_{\text{ДИН5СЕР}} = 111 \text{ Н} \cdot \text{м};$$

$$M_{\text{ДИН6СЕР}} = 83 \text{ Н} \cdot \text{м};$$

$$M_{\text{ДИН7СЕР}} = 43 \text{ Н} \cdot \text{м};$$

$$M_{\text{ДИН8СЕР}} = 11 \text{ Н} \cdot \text{м}.$$

5. Визначаємо на кожній ділянці  $\Delta t$  за виразом

$$\Delta t_i = J_{\text{ПР}} \cdot \frac{\Delta \omega_i}{M_{\text{ДИН } i}}. \quad (3.34)$$

$$\Delta t_1 = J_{\text{ПР}} \cdot \frac{\Delta \omega_1}{M_{\text{ДИН } 1}} = 0,136 \cdot \frac{10}{112} = 0,012 \text{ с}; \quad \Delta t_2 = J_{\text{ПР}} \cdot \frac{\Delta \omega_2}{M_{\text{ДИН } 2}} = 0,136 \cdot \frac{10}{87} = 0,016 \text{ с};$$

$$\Delta t_3 = J_{\text{ПР}} \cdot \frac{\Delta \omega_3}{M_{\text{ДИН } 3}} = 0,136 \cdot \frac{10}{101} = 0,013 \text{ с}; \quad \Delta t_4 = J_{\text{ПР}} \cdot \frac{\Delta \omega_4}{M_{\text{ДИН } 4}} = 0,136 \cdot \frac{10}{120} = 0,011 \text{ с};$$

$$\Delta t_5 = J_{\text{ПР}} \cdot \frac{\Delta \omega_5}{M_{\text{ДИН } 5}} = 0,136 \cdot \frac{10}{111} = 0,012 \text{ с}; \quad \Delta t_6 = J_{\text{ПР}} \cdot \frac{\Delta \omega_6}{M_{\text{ДИН } 6}} = 0,136 \cdot \frac{10}{83} = 0,016 \text{ с};$$

$$\Delta t_7 = J_{\text{ПР}} \cdot \frac{\Delta \omega_7}{M_{\text{ДИН } 7}} = 0,136 \cdot \frac{10}{43} = 0,032 \text{ с}; \quad \Delta t_8 = J_{\text{ПР}} \cdot \frac{\Delta \omega_8}{M_{\text{ДИН } 8}} = 0,136 \cdot \frac{4}{11} = 0,049 \text{ с}.$$

6. Визначаємо час пуску електродвигуна

$$t_{\text{ПУСКУ}} = \sum \Delta t_i = 0,161 \text{ с}. \quad (3.35)$$

Перевірка за тепловим режимом під час пуску

$$\Theta_{\text{ДОП.ІЗОЛ}} - 40 > \Theta_{\text{ПУСК}} + 40. \quad (3.36)$$

де  $\Theta_{\text{ДОП.ІЗОЛ}}$  - допустима температура ізоляції, залежить від класу ізоляції (для даного електродвигуна клас ізоляції "F" (за ГОСТ 8865-93), тому  $\Theta_{\text{ДОП.ІЗОЛ}} = 155^\circ \text{C}$ );

$\Theta_{\text{ПУСК}}$  - температура нагріву ізоляції під час пуску,  $^\circ \text{C}$ .

Температура нагріву ізоляції під час пуску визначається за виразом

$$\Theta_{\text{ПУСК}} = \nu \cdot t_{\text{ПУСКУ}}, \quad (3.37)$$

де  $\nu$  - швидкість нагрівання електродвигуна;  $\nu = 5,9 \frac{^\circ \text{C}}{\text{с}}$ .

$$\Theta_{\text{ПУСК}} = \nu \cdot t_{\text{ПУСКУ}} = 5,9 \cdot 0,161 = 0,95^\circ \text{C}. \quad 155 - 40 > 0,95 + 40.$$

Умова (3.36) виконується, за тепловим режимом під час пуску електродвигун вибраний вірно.

### **3.3. Розробка схеми електричної принципової системи водопостачання**

Для вибору комплексу технічних засобів автоматизації, для системи водопостачання на базі артезіанських свердловин, потрібно враховувати основні параметри даного об'єкта керування, навколишнього середовища (температуру, тиск, склад середовища, вологість, наявність вібрації, запиленість тощо), розміри та характер об'єкта керування. Також, повинні бути витримані вимоги до засобів автоматизації за точністю, чутливістю, інертністю, а також за умовами безпеки праці.

Окрім зазначених технічних засобів автоматизації, до складу системи керування водопостачанням із артезіанських свердловин входить наступне обладнання.

**Первинний перетворювач поплавковий для вимірювання рівня в резервуарі.** Вимірювання рівня води в резервуарі буде виконувати поплавковий давач рівня з аналоговим сигналом. Висота вимірювання складає – 3 м, при висоті резервуара 3,5 м, Отже, вимірювання реального рівня буде відповідно з 0,5 – до 3,5м. Якщо рівень в резервуарі буде нижче 1,5 м, отже це свідчить про аварійно ситуацію, і буде ввімкнено резервний занурювальний насос. Так як при звичайних умовах рівень в резервуарі повинен коливатись в межах від 2,5 м до 3,4 м.

Використовуємо поплавковий давач рівня Овен ПДУ-И.3000. Технічні характеристики даного давача наведені в таблиці 3.4.

Таблиця 3.4.

Технічні характеристики поплавкового давача рівня Овен ПДУ-И.3000

Назва характеристики	Значення характеристики
Вихідний сигнал постійного струму	4..20 мА
Похибка вимірювання рівня	±40 мм

Діапазон робочих температур вимірюваного середовища	від - 55 до +125 °С
Напруга живлення	12..36 В постійного струму
Ступінь захисту	IP 65
Діапазон вимірювання	0..3000 мм
Споживана потужність	1 Вт

**Кондуктометричний давач рівня, для захисту занурювального насосу від сухого ходу.** Для захисту насосу від сухого ходу в свердловині використовують дискретний давач рівня. Давачи рівня кондуктометричного типу, призначені для вимірювання та сигналізації рівнів рідин. Принцип дії давачів заснований на зміні електропровідності між загальним і сигнальними електродами залежно від рівня вимірюваної речовини.

Якщо рівень води буде нижче від сигнального електрода то коло розмикається, і відповідно розмикає контакт який сигналізує про відсутність води, контролер вимикає насос якщо він працює. Для виконання цієї функції вибрано Овен ДС.П-0,5.

Технічні характеристик первинного перетворювача Овен ДС.П-0,5:

- матеріал ізолятора – пластик;
- матеріал електрода – 12Х18Н10Г;
- максимальна робоча температура +100°С;
- довжина електрода 0,5м;
- робоче положення – горизонтальне і вертикальне;

Даний давач використовується разом з блоком погодження кондуктометричних давачів Овен БКК1-24, технічні характеристики наведені в таблиці 3.5. Він використовується для сигналізації рівня, і відповідно може керувати виконавчими механізмами, або ж може використовуватися як блок погодження між кондуктометричними давачами та ПЛК, в нашому випадку з ПЛК 160.

Таблиця 3.5.

Технічні характеристики боку погодження кондуктометричних  
давачів Овен БКК1-24

Назва характеристики	Значення характеристики
Тип дискретного виходу	4 транзисторних двох на- правлені ключа
Допустиме навантаження виходу	50 мА змінного струму при 36 В
Діапазон робочих температур	від - 25 до +70 °С
Напруга живлення	12..36 В постійного струму
Ступінь захисту	IP 20
Кількість каналів контролю рівня	4
Споживана потужність	не більше 1 ВА

Загальна схема підключення даного блоку до кондуктометричного давача рівня приведена на рис. 3.9.

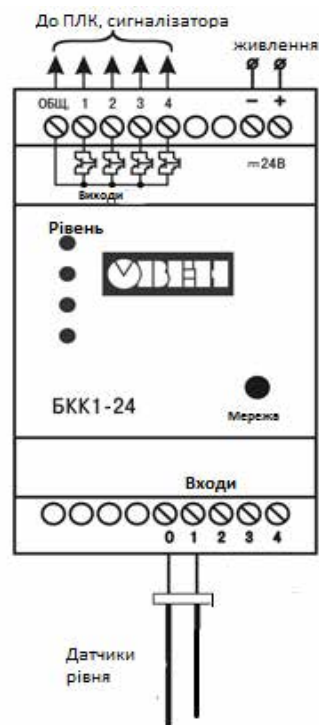


Рис. 3.9. Схема підключення давача Овен ДС.П-0.5 до блоку погодження кондуктометричних давачів Овен БКК1-24

Для захисту трьох занурювальних насосів нам необхідно мати три комплекти даної системи, у складі якої є зазначені вище кондуктометричний давач і блок погодження кондуктометричних давачів.

### Первинний перетворювач витрат

Для вимірювання витрати води споживачам вибираємо електромагнітний витратомір Vedger Meter M1000 Type III у виконанні  $D_y=65$  мм, діаметр проходу трубопроводу визначений за витратою води формула (3.38).

$$Q_{\text{розрах.мах}} < Q_{\text{мах}} \frac{\text{м}^3}{\text{год}}, \quad (3.38)$$

де: -  $Q_{\text{розрах.мах}} = 87,8 \frac{\text{м}^3}{\text{год}}$  - це розрахункова витрата води за годину в метрах кубічних  $Q_{\text{мах}} = 90 \frac{\text{м}^3}{\text{год}}$  - це максимальне значення витрати води вибраного з табличних даних, для умовного діаметру  $D_y=65$ .

$$87,8 < 90 \frac{\text{м}^3}{\text{год}}.$$

Технічні характеристики електромагнітного витратоміра наведені в таблицях 3.6 та 3.7.

Таблиця 3.6.

Технічні характеристики давача витратоміра Type III у виконанні  $D_y=65$

Назва характеристики	Значення характеристики
Умовний діаметр	65 мм
Тип з'єднання	міжфланцеве «сандвіч»
Робочий тиск	до 4МПа
Тип електродів	хастеллой С (стандартно), тантал, сплав платини і золота, сплав платини і родія
Ступінь захисту	IP 67
Робоча температура	від - 40 до +150 °С

Таблиця 3.7

Технічні характеристики головного електронного  
блоку Bedger Meter M1000

Назва характеристики	Значення характеристики
Живлення	220 В змінного струму, або 24 В постійного струму
Аналоговий вихідний сигнал	0-20мА, 4-20мА
Температура навколишнього середовища	від - 20 до +60 °С
Основна приведена похибка	0,25%
Ступінь захисту	IP 67

**Блок живлення датчиків**

Живлення датчиків з уніфікованими сигналами, та приладів на щиті, які відповідно живляться напругою 24 В постійного струму, буде виконувати багатоканальний блок живлення PSM-4/3-24. Технічні характеристики наведені в таблиці 3.8, а схема наведена на рисунку 3.5.

Таблиця 3.8.

Технічні характеристики блоку живлення PSM-4/3-24

Назва характеристики	Значення характеристики
Нпруга живлення	змінного струм 90..264В,
Частота змінного струму	50 Гц
Поріг спрацювання захисту по струму	(1,3...1,8) $I_{max}$
Робочий діапазон	від - 20 до +50 °С
Ступінь захисту	IP 20
Кількість вихідних каналів	4
Вихідна потужність на кожний канал, не менше	3 Вт

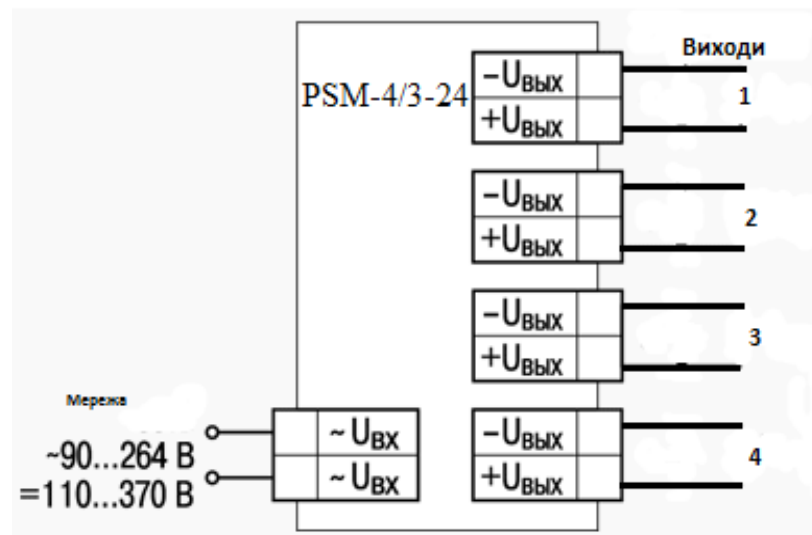


Рис. 3.10. Схема багатоканального блоку живлення PSM-4/3-24

### Відеографічний безпаперовий реєстратор

Безпаперовий самописець, відеографічний реєстратор ЛПЗ R10 – станція збору даних, призначений для вимірювання, відображення і реєстрації (архівування) параметрів фізичних величин технологічних процесів (температура, рівень, витрата, тиск та ін.), які перетворені первинними давачами в сигнали напруги, постійного струму і активного опору.

Відображення поточних параметрів вимірювань в реальному часі, перегляд архіву даних і архіву подій, а так само сенсорне управління роботою і базовими настройками приладу здійснюється без переривання процесу реєстрації за допомогою 10,4" сенсорного TFT LED дисплея самого приладу.

Прилад виконаний на мікропроцесорі архітектури ARM9, мікроконтролерах Atmel і аналогових мікросхемах Analog Devise і працює під керуванням операційної системи Linux.

Конструктивно прилад виконаний для утопленого щитового монтажу в металевому корпусі з передньою панеллю з алюмінієвого сплаву. Зовнішній вигляд приладу наведено на рис. 3.6. Для зручності монтажу і підключення всі зовнішні кола обладнані з'ємними роз'ємами фірми PHOENIX CONTACT.



Рис. 3.11. Зовнішній вигляд відеографічного безпаперового реєстратора ЛПЗ R10

Основне меню приладу містить вкладки:

1. Аналогові входи. Повний набір інструментів для програмування каналів вихідних каналів.
2. Екрані форми. Для програмування різних варіантів представлення результатів вимірювань і архівування на дисплеї приладу.
3. Уставка. Інструменти для програмування параметрів спрацювання релейної сигналізації.
4. Архів. Перегляд архіву вимірюваних значень і архіву подій.
5. Системні установки. Програмування системи: час, дата, мова інтерфейсу і ін.

Тривалість безперервної реєстрації залежить від кількості підключених каналів і періоду реєстрації по кожному з каналів. Загальна глибина масиву становить 30 млн. точок вимірювання, що відповідає безперервному реєструванню показань по 4-м каналам з періодом 1 сек і ще по 4-м каналам з періодом 5 сек протягом 290 днів.

Основні технічні характеристики даного приладу наведені в таблиці 3.9.

Таблиця 3.9.

## Технічні характеристики відеографічного реєстратора ЛПЗ R10

№	Параметр	Значення
1	Кількість каналів вимірювання	до 32
2	Характеристика екрана	TFT LED 600x800
3	Основна приведена похибка прилада по реєстрації і сигналізації	0,1% та 0,25%, відповідно
4	Період реєстрації в енергонезалежній пам'яті прилада : мінімальний (реєстрації / сигналізації) максимальний	0,1/1s 60 s
5	Ємність архіву внутрішньої енергонезалежної пам'яті, подій	30 млн.
6	Кількість каналів одночасно відображених на дисплеї	до 12
7	Напруга живлення	220 В змінного струму (50;60 Гц)
8	Споживана потужність (максимальна)	35 Вт
9	Вхідні електричні сигнали: - напруга постійного струму - постійного струму	0-10mV, 0-20mV, 0-50mV, 0-100mV, 0-1V, 0-10V; 0-5mA, 0-20mA, 4-20 mA;
10	Маса	5кг
11	Габаритні розміри приладу	200x290x167 мм

**Програмно-логічний контролер (ПЛК)**

Для даного об'єкта керування вибрано програмуючий логічний контролер Овен ПЛК-160-220.И-М. Так як даний контролер забезпечує необхідні

параметри для керування даною системою, ПЛК має необхідну кількість аналогових та дискретних входів/виходів.

Схема підключення наведена на рис. 3.12.

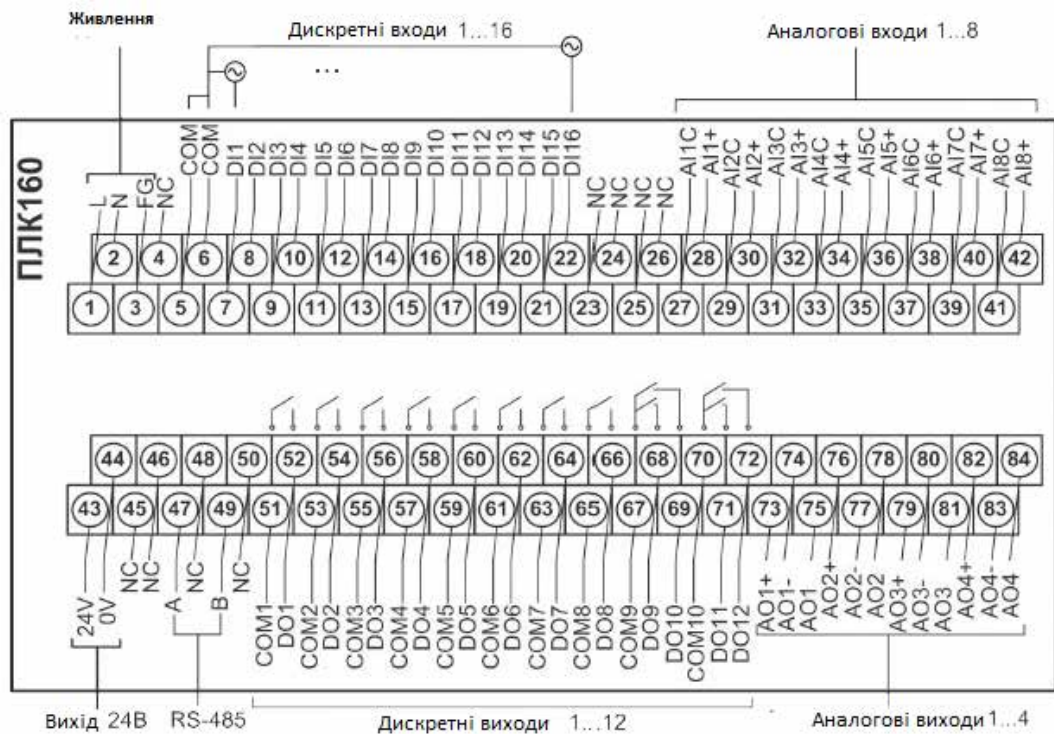


Рис. 3.12. Фрагмент схеми підключень Овен ПЛК 160-220.И-М

Контролер має достатньо добрі обчислювальні можливості при відсутності операційної системи:

- високопродуктивний процесор RISC архітектури ARM9 з частотою 180 МГц компанії Atmel;
- об'єм оперативної пам'яті – 8 МБ;
- об'єм постійної пам'яті – Flash пам'ять, 4 МБ;
- об'єм енергонезалежної пам'яті для зберігання значень змінних - до 16 КБ.

Підтримуванні інтерфейси і протоколи приведені в таблиці 3.10.

Інтерфейси і протоколи : всі контролери даної лінійки ОВЕН ПЛК мають велику кількість інтерфейсів на борту, працюючих незалежно один від одного:

- 1) Ethernet;
- 2) до трьох послідовних портів;
- 3) USB Device для програмування контролера.

Таблиця 3.10.

## Підтримуванні інтерфейси і протоколи

Протокол	Інтерфейс	Застосування
Овен	RS-232 RS-485	Підтримка модулів Овен МВА8, МВУ8. Робота в мережі Овен разом з регуляторами, контролерами ТРМ хх
Протокол	Інтерфейс	Застосування
Modbus RTU Modbus ASCII	RS-232 RS-485	Підтримка модулів вводу/виводу і операторських панелей, зв'язок з SCADA – системами
Modbus TCP	Ethernet 10/100 Mbps	Підтримка модулів вводу/виводу наприклад ADAM-6000, зв'язок з SCADA – системами
DCON	RS-232 RS-485	Підтримка модулів вводу/виводу I-7000, ADAM-4000, операторських панелей.
GateWay (протокол CoDeSys)	RS-232 Ethernet 10/100 Mbps USB- Devic	Програмування контролера, налаштування користувальницької програми (та високошвидкісне налаштування в режимі Realtime по Ethernet)/ Робота з файлами на вбудованому Flash – диску. Зв'язок з контролером інших виробників, виконаних на базі CoDeSys. Робота з OPC-сервером CoDeSys.

Програмування ПЛК відбувається в професійному, розповсюдженому середовищі CoDeSys v.2.3, максимально відповідний стандарту MEK 61131:

- підтримка п`яти мов програмування для спеціалістів будь-якої галузі;
- потужний засіб розробки і налаштування комплексних проектів автоматизації на базі контролерів;

- кількість логічних операцій обмежується тільки кількістю вільної пам'яті контролера;
- майже необмежена кількість використання в проекті лічильників, тригерів генераторів;
- мови програмування які можна використати в даній програмі: LD (релейні схеми), IL (асемблер-подібна мова), FBD (функціональні блоки), ST (Pascal - подібна мова), SFC (діаграми станів), CFC (безперервні функціональні схеми).

Програма керування об'єктом керування в мові приведена в додатку В.

Технічні характеристики даного контролера Овен ПЛК-160-220.И-М наведені в таблиці 3.11.

Таблиця 3.11.

Технічні характеристики Овен ПЛК-160-220.И-М

Назва характеристики	Значення характеристики
Габаритні розміри	140x110x73 мм
Ступінь захисту корпусу	IP20 зі сторони передньої панелі, IP00 зі сторони клем
Напруга живлення	Від 90 до 264 В змінного струму (номінальна напруга 220 В)
Споживча потужність, не більше	40ВА
Центральний процесор	RISC-процесор, 32 розряди, 180 МГц, на базі ядра ARM-9
Параметри вбудованого джерела живлення	Вихідна напруга 24±3 В, струм не більше 620мА
Додаткове обладнання	Годинник реального часу з власним акумуляторним живленням; вбудоване джерело видачі звукового сигналу;

Кількість дискретних входів/виходів	16 входів/ 12 виходів
Вхідні прилади які підключаються	Комутаційні прилади; давачи які мають на виході транзистор n-p-n, або p-n-p типу з відкритим колектором; дискретні сигнали 24±3 В;
Гальванічна розв'язка дискретних входів	Групова
Гальванічна розв'язка дискретних виходів	Індивідуальна
Кількість аналогових входів/виходів	8 входів/ 4 виходів
Тип вхідного аналогового сигналу	Струм 0(4) ... 20 мА; Струм 0...5 мА; Напруга 0...10 В;
Тип вихідного аналогового сигналу	Струм 4..20 мА
Межа приведеної похибки	0.25
Живлення аналогових виходів	Вбудоване, загальне на всі виходи

Умови експлуатації ПЛК-160:

- температурний робочий діапазон повітря навколишнього середовища складає від -10 до +50°C;
- закриті вибухобезпечні приміщення або шафи електрообладнання (в нашому випадку в щиті керування) без агресивних речовин;
- верхня межа відносної вологості повітря -80% при 25°C і більш низьких температурах без конденсації вологи;
- атмосферний тиск від 84 до 106,7 кПа.

#### **Занурювальні насоси ЭЦВ-10-63-200.**

Насос ЭЦВ 10-63-200 зображено на рис. 3.8 – відцентровий свердловинний занурювальний багатоступінчастий насос з вертикальним розташуванням

вала, використовуються для підйому з артезіанських свердловин чистої, питної води.



Рис. 3.13. Загальний вигляд занурювального насоса ЭЦВ-10-63-200

Насос складається з електродвигуна і відцентрового насосу вали яких з'єднані жорсткою муфтою. Робоче положення – вертикальне. Сам насос під час роботи знаходиться під водою.

У верхній частині насоса знаходиться зворотній клапан, який при зупинці насосу не дає змоги воді витікати з водопровідної труби, яка постачає воду до резервуара.

Умовні позначення які застосовуються в назві насоса ЭЦВ-10-63-200:

ЭЦВ – електронасос відцентровий вертикальний (електронасос відцентровий вертикальний);

10 – внутрішній діаметр обсадної труби свердловини, в дюймах;

63 – номінальна подача, м<sup>3</sup>/год.;

200 – номінальний напір, м.

Технічні характеристики даного насосу наведені в таблиці 3.12.

Таблиця 3.12.

## Технічні характеристики насосу ЭЦВ-10-63-200

Характеристика	Значення характеристики
Номінальна подача	63 м <sup>3</sup> /год.
Напір	200 м
Номінальна потужність	50 кВт
Номінальний струм	106 А
Частота обертання	3000 об/хв.
Коефіцієнт корисної дії	84%
Номінальна напруга	380 В
Частота струму	50 Гц
Маса насосу	278 кг
Довжина насосу	2057 мм

Схема електрична принципова системи керування водопостачанням із артезіанських свердловин зображена на листі 3 графічної частини кваліфікаційної бакалаврської роботи.

Електромагнітний давач витрат (SF) який живиться від мережі 220В відповідно ввімкнений від автоматичного вимикача (QF5), та давач рівня (SL1), давач тиску (SP) які відповідно живляться напругою 24В під'єднанні до блоку живлення (AA1). Зазначенні вище первинні перетворювачі мають аналогові виходи з уніфікованим сигналом (4..20мА) які підключені до аналогових входів програмуючого логічного контролера (AA3). кондуктометричні давачи (SL2; SL3; SL4;) які захищають занурювальні насоси від сухого ходу, підключені до блоку погодження кондуктометричних давачів (KL1; KL2; KL3;), які підключенні до дискретних входів ПЛК. Також до дискретних входів ПЛК підключені дві кнопці станції для ввімкнення/вимкнення допоміжного насосу другого підйому (SB1; SB2), ввімкнення/вимкнення резервного насосу другого підйому, підключені контакти для сигналізації від теплового реле (KK1; KK2; KK3; KK4;

КК5; КК6;) які захищаються насоси від перенавантаження (m1; m2; m3; m4; m5; m6;).

Від ПЛК через аналогові виходи подається уніфікований сигнал до відеографічного реєстратора (АА2), який показує, та реєструє значення витрат, тиску в трубопроводі, та рівня в збірному резервуарі. Також з аналогового виходу подається сигнал керування на частотний перетворювач (АА4) який керує насосом другого підйому (m6). До дискретних виходів підключені сигнальні лампи (НЛ1; НЛ2; НЛ3; НЛ4; НЛ5; НЛ6;) які сигналізують про аварійні ситуації в роботі насосів. Магнітні пускачі (КМ1; КМ2; КМ3; КМ4; КМ5;) контакти керування яких підключені до дискретних виходів ПЛК керують запуском/вимкненням насосів (m1; m2; m3; m4; m5;). Автоматичні вимикачі (QF2; QF3; QF4;) захищають занурювальні насоси, а автоматичний вимикач (QF1) захищає групу насосів другого підйому.

### 3.4. Вибір апаратів захисту та керування

1) Вибір автоматичного вимикача для електродвигуна занурювального насосу ЕЦВ-10-63-200:

- Для захисту одного електродвигуна за напругою

$$U_{н.ав} \geq U_n, \quad (3.39)$$

де:  $U_{н.ав}$  – номінальна напруга автоматичного вимикача, В;

$U_n$  – номінальна напруга споживача.

$$660В > 380В.$$

- За струмом

$$I_{н.ав} \geq I_{н.дв}, \quad (3.40)$$

де:  $I_{н.ав}$  - номінальний струм автоматичного вимикача, А;

$I_{н.дв}$  – номінальний струм електродвигуна.

$$125А \geq 106А.$$

- За струмом відсічки електромагнітного розчіплювача

$$I_{н.роз.} \geq (1.5..1.6) I_{пуск.дв}, \quad (3.41)$$

де:  $I_{н.роз.}$  – номінальний струм розчіплювача, А;

$I_{пуск.дв}$  – пусковий струм електродвигуна.

$$10\text{kA} \geq 795..848\text{A}.$$

Електромагнітний розчіплювач – відповідає за швидке вимкнення електродвигуна у випадку короткого замикання.

Для захисту трьох електродвигунів занурювальних насосів (Насос ЕЦВ 10-63-200) вибрано автоматичний вимикач, для кожного електродвигуна окремо – ПРОМФАКТОР EVO АВ2000-3Р-D-125А-10кА.

Основні характеристики даного автоматичного вимикача приведені в таблиці 3.13.

Таблиця 3.13.

Основні характеристики автоматичного вимикача  
ПРОМФАКТОР EVO АВ2000-3Р-D-125А-10кА

Характеристика	Значення характеристики
Номінальна напруга	400 В
Номінальна частота	50/60 Гц,
Номінальний струм	125 А
Номінальна вимикаюча здатність	10кА
Характеристика вимикання	D
Ступінь захисту	IP 20
Робоча температура	Від -5 до +40 °С
Розріз провідників які підключаються	1..25 мм

2) Вибір автоматичного вимикача для трьох електродвигунів насосів другого підйому:

- Для захисту групи електродвигунів за напругою, за формулою

$$U_{н.ав} \geq U_n,$$

де:  $U_{н.ав}$  – номінальна напруга автоматичного вимикача, В;  $U_n$  – номінальна напруга споживача.

$$U_{660В} > 380В.$$

- За струмом

$$I_{н.ав} \geq I_{н.дв1} + I_{н.дв2} + I_{н.дв3}, \quad (3.42)$$

де:  $I_{н.ав}$  - номінальний струм автоматичного вимикача, А;

$I_{н.дв}$  – номінальний струм електродвигуна.

$$50A \geq 15A + 15A + 15A,$$

$$50A \geq 45A.$$

- За струмом відсічки електромагнітного розчіплювача

$$I_{н.роз.} \geq 1.8(I_{сум.н.дв} + I_{найб.пуск.дв}), \quad (3.43)$$

де:  $I_{н.роз.}$  – номінальний струм розчіплювача, А;

$I_{найб.пуск.дв}$  – найбільший пусковий струм серед групи електродвигунів;

$I_{сум.н.дв}$  – сумарний номінальний струм електродвигунів.

$$6кА \geq (45А + 57А),$$

$$6кА \geq (102А).$$

Для захисту даної групи з трьох насосів (насос К45/30) які мають електродвигуни (АІР160S8У3), вибрано автоматичний вимикач – ПРОМФАКТОР АВ2000-3Р-D-50А-6кА.

Основні характеристики даного автоматичного вимикача наведені в таблиці 3.14.

Таблиця 3.14.

Основні характеристики автоматичного вимикача

ПРОМФАКТОР АВ2000-3Р-D-50А-6кА

Характеристика	Значення характеристики
Номінальна напруга	400 В
Номінальна частота	50/60 Гц,
Номінальний струм	50 А
Номінальна вимикаюча здатність	6 кА
Характеристика вимикання	D
Ступінь захисту	IP 20
Робоча температура	Від -5 до +40 °С
Розріз провідників які підключаються	1..25 мм

3) Вибір автоматичного вимикача для живлення приладів електричних кіл:

- для захисту електричних кіл за напругою, за формулою

$$U_{н.ав} \geq U_n,$$

$$220V \geq 220V,$$

де:  $U_{н.ав}$  – номінальна напруга автоматичного вимикача, В;

$U_n$  – номінальна напруга споживача.

- за струмом, за формулою (3.44)

$$I_{н.ав} \geq I_n, \quad (3.44)$$

де:  $I_{н.ав}$  - номінальний струм автоматичного вимикача, А;

$I_n$  – номінальний струм споживача,

$$25A \geq 15A.$$

Отже, для живлення приладів вибрано однофазний автоматичний вимикач – ПРОМФАКТОР АВ2000-1Р-С-25А-6кА .

Основні характеристика даного вимикача наведені в таблиці 3.15.

Таблиця 3.15.

Основні характеристики автоматичного вимикача

ПРОМФАКТОР АВ2000-1Р-С-25А-6кА

Характеристика	Значення характеристики
Номінальна напруга	400 В
Номінальна частота	50/60 Гц,
Номінальний струм	25 А
Номінальна вимикаюча здатність	6кА
Характеристика вимикання	С
Ступінь захисту	IP 20
Робоча температура	Від -5 до +40 °С
Розріз провідників які підключаються	1..25 мм

### Вибір магнітного пускача

Магнітні пускачі ПММ – електромеханічні комутуючі пристрої, призначені для дистанційного запуску безпосереднім підключенням до мережі, зупинкою, і реверсування трифазних асинхронних двигунів з короткозамкненим ротором. При наявності теплових реле пускачі захищають керовані електродвигуни від перенавантажень недопустимої тривалості та від струмів що виникають при обриві однієї із фаз.

Пускачі ПММ випускаються з 8 типорозмірами на номінальні напруги від 6А до 1000 А.

1) Вибір електромагнітних пускачів для насосів другого підйому К45/30:

- за напругою

$$U_{н.п} \geq U_{дв}, \quad (3.45)$$

де:  $U_{н.п}$  – номінальна напруга магнітного пускача, В;

$U_{дв}$  – напруга двигуна

$$380В > 380В.$$

- за струмом

$$I_{н.п} \geq I_p, \quad (3.46)$$

де:  $I_{н.п}$  - номінальний струм магнітного пускача, А;

$I_p$  - розрахунковий струм споживача, А;

$$25А \geq 15А.$$

- За напругою котушки, напруга котушки 24В.

- За потужністю

$$P_{н.п} \geq P_p, \quad (3.47)$$

де:  $P_{н.п}$  - номінальна потужність магнітного пускача, кВт;

$P_p$  - розрахункова потужність споживача, кВт;

$$11кВт \geq 7.5кВт.$$

Отже для керування насосами другого підйому використовується магнітний пускач – ПРОМФАКТОР ПММ-2/25, характеристики магнітного пускача наведені в таблиці 3.16.

Таблиця 3.16.

## Характеристика магнітного пускача ПРОМФАКТОР ПММ-2/25

Тип магнітного пускача	ПММ-2/25
Номінальний струм	25А
Номінальна напруга котушки	24В
Кількість спрацювань за годину	1200
Номінальна потужність головних контактів	11 кВт

2) Вибір електромагнітних пускачів для занурю вальних насосів (ЕЦВ 10-63-200) :

- за напругою (3.45)

$$U_{н.п} \geq U_{дв},$$

де:  $U_{н.п}$  – номінальна напруга магнітного пускача, В;

$U_{дв}$  – напруга двигуна.

$$380В > 380В.$$

- За струмом (3.46)

$$I_{н.п} \geq I_p,$$

де:  $I_{н.п}$  - номінальний струм магнітного пускача, А;

$I_p$  - розрахунковий струм споживача, А.

$$125А \geq 106А.$$

- За напругою котушки, напруга котушки 24В.
- За потужністю (3.47)

$$P_{н.п} \geq P_p,$$

де:  $P_{н.п}$  - номінальна потужність магнітного пускача, кВт;

$P_p$  - розрахункова потужність споживача, кВт.

$$55кВт \geq 45кВт.$$

Отже, для керування насосами другого підйому використовується магнітний пускач – ПРОМФАКТОР ПММ-5/125, основні характеристики наведені в таблиці 3.17.

Таблиця 3.17.

## Характеристика магнітного пускача ПРОМФАКТОР ПММ-5/125

Тип магнітного пускача	ПММ-5/125
Номінальний струм	125А
Номінальна напруга котушки	24В
Кількість спрацювань за годину	1200
Номінальна потужність головних контактів	55 кВт

**Вибір теплового реле**

1) Для захисту електродвигунів насосів другого підйому (насос К45/30), вибрано теплове реле EST.22.16-22, відповідно до його технічних характеристик:

- Номінальна напруга складає  $U_n=550В$ ;
- Регулювання струму не спрацювання  $I_{nc}=16-22А$ ;
- Наявність додаткових контактів для сигналізації роботи і розмикання кола живлення при спрацюванні.

Реле теплового захисту EST.22.16-22 призначено для захисту трьохфазних асинхронних електродвигунів з коротко замкнутим ротором від перенавантаження недопустимого продовження і від струмів які виникають при обриві однієї з фаз. Також наявні контакти для сигналізації роботи та аварійної сигналізації. Ступінь захисту даного теплового реле IP 20.

2) Для захисту електродвигунів занурювальних насосів (насос ЭЦВ 10-63-200), вибрано теплове реле ПРОМФАКТОР РТ 2-200-80-125 А, відповідно до його технічних характеристик :

- Номінальна напруга складає  $U_n=380В$ ;
- Регулювання струму не спрацювання  $I_{nc}=80-125А$ ;
- Наявність додаткових контактів для сигналізації роботи і розмикання кола живлення при спрацюванні.

Теплове реле серії РТ2М застосовується для кіл змінного струму, частотою 50 Гц з номінальною робочою напругою до 660 В, для захисту електродвигунів від перенавантаження, обриву фаз, і тривалого пуску.

#### **Вибір сигнальної лампи**

Для сигналізації аварійних ситуацій застосовується сигнальна лампа Овен МТ22-А14. Колір – червоний, напруга живлення 24 В постійного/змінного струму.

#### **Вибір кнопкової станції**

Кнопкова станція ПKE-722/2, яка застосовується в даному проекті для запуску та вимкнення двигунів. Призначені для комутації електричних кіл керування змінного струму до 660 В.

### **3.5. Вибір проводів та кабелів**

Електропроводка – це сукупність проводів і кабелів з усіма належними до них кріпленнями та підтримуючими захисними конструкціями. Відкрита електропроводка прокладається на поверхні стін та стелі будівельних конструкцій. Схована електропроводка прокладається у стінах, перегородках і стелях (під штукатуркою), підлозі та інших конструктивних елементах будівель. Вибрана електропроводка та з характеристикою наведена наведені в таблиці 3.18.

Таблиця 3.18.

Кабелі та проводи

<b>Назва, кількість та переріз жил</b>	<b>Струмове навантаження</b>
ВВГ 3x185+1x50	406А
ВВГ 3x25	130А
ВВГ 3x1.5	28А
ПВЗ 1x1	10А
ПВСе 2x0.75	6А
ПВСе 2x0.5	2.5А

1) Вибір силового кабелю для живлення занурювального насоса:

Переріз струмопровідної жили проводу або кабелю вибирають, виходячи з умов гранично допустимого його нагрівання та достатньої механічної міцності. Площу поперечного перерізу жил проводів, шнурів і кабелів вибирають за тривало допустимим струмом

$$I_{тр.доп.} \geq I_{роз.}, \quad (3.48)$$

де:  $I_{роз.}$  – розрахунковий струм ділянки електричної мережі, А.

Для відгалужень до окремих електроспоживачів за максимальні тривалі робочі струми беруть їх номінальні струми.

Для трифазного асинхронного двигуна з короткозамкненим ротором тривало допустимий струм визначається за формулою

$$I_{НОМ} = \frac{10^3 P_{НОМ}}{\sqrt{3} U_{НОМ} \eta_{НОМ} \cos \varphi_{НОМ}}. \quad (3.49)$$

Для двигуна насоса ЕЦВ 10-63-200 отримаємо

$$I_{НОМ} = \frac{1000 \cdot 50}{\sqrt{3} \cdot 380 \cdot 0.84 \cdot 0.85} = 106.4 \text{ А}.$$

Отже, для трьох занурювальних насосів ЕЦВ 10-63-200 підходить кабель ВВГ 3x25 відповідно його характеристика згідно формули (3.48)  $130 \geq 106,4$ .

2) Вибір силового кабелю для живлення насосів другого підйому:

Площу поперечного перерізу жил проводів, шнурів і кабелів вибирають за тривало допустимим струмом (3.48)

$$I_{тр.доп.} \geq I_{роз.},$$

де  $I_{роз.}$  - розрахунковий струм ділянки електричної мережі, А.

Для відгалужень до окремих електроспоживачів за максимальні тривалі робочі струми беруть їх номінальні струми.

Для трифазного асинхронного двигуна з короткозамкненим ротором тривало допустимий струм визначається (3.49)

$$I_{НОМ} = \frac{10^3 P_{НОМ}}{\sqrt{3} U_{НОМ} \eta_{НОМ} \cos \varphi_{НОМ}}.$$

Для двигуна насоса К45/30 отримаємо

$$I_{НОМ} = \frac{1000 \cdot 7.5}{\sqrt{3} \cdot 380 \cdot 0.87 \cdot 0.885} = 14.8 \text{ А}.$$

Отже, для трьох насосів другого підйому підходить кабель ВВГ 3х1,5 відповідно його характеристика згідно формули (3.48)  $28 \geq 14,8A$ .

3) Вибір проводів і кабелів з'єднувальних та живлення давачів та реле:

Враховуючи, що номінальний струм живлення давачів та реле не перевищує 5А, тому вибираємо – такий тип кабеля ПВСе 2х0.75 який має тривало допустимий струм 6А. Відповідно сигнал керування від даних давачів та реле вибираємо кабель ПВСе 2х0.5, допустимий струм якого дорівнює 2,5 А та провід ПВЗ-1х1 який в свою чергу має допустимий струм 15А.

4) Вибір кабелю живлення щита керування:

Тривало допустимий струм шафи керування визначаємо за виразом:

$$I_{ш.тр.доп.} = \sum I_{тр.доп.} = 318 + 45 + 25 = 388A \quad (3.50)$$

де  $\sum I_{тр.доп.}$  – сума тривало допустимих струмів електродвигуна і кола керування.

Для живлення шафи керування вибираємо кабель ВВГ 185х3+1х50 мм<sup>2</sup> – кабель з мідними жилами, перерізом силових жил 185 мм<sup>2</sup>, тривало допустимий струм яких дорівнює 406 А.

### 3.6. Розробка схеми електричної з'єднань

Схема електричної з'єднань в даному дипломному проекті наведена в графічній частині дипломного проекту.

Відповідно до ГОСТ 2.702-75 «Правила виконання електричних схем» схеми з'єднань – це схеми, на яких зображують з'єднання складових частин установки або виробу. Вони розробляються на основі принципів схем живлення та використовуються під час виконання монтажних і налагоджувальних робіт.

Схеми з'єднань виконують на підставі таких загальних правил:

- схеми з'єднань розробляють на один щит, пульт, статор, станцію керування.
- усі типи апаратів, приладів та арматури, що передбачені принциповою електричною схемою, мають бути повністю відображені на схемі з'єднань;

- позиційне позначення приладів та засобів автоматизації, а також маркування ділянок кіл, що прийняті на принципових схемах, потрібно зберегти на схемі з'єднань.

Застосовують три способи виконання схем з'єднань: адресний, графічний і табличний. Для перших двох, крім зазначених вище правил, слід виконувати ще декілька:

- щит або шафу керування розвертають в одну площину, показуючи лише ті їхні конструкції, на яких розміщуються прилади та засоби автоматизації при цьому зберігають взаємне розміщення приладів та засобів автоматизації;

- прилади та засоби автоматизації показують спрощено без збереження масштабу у вигляді прямокутників, над якими розміщують кола, розподілені рисою навпіл; цифри над рисою вказують порядковий номер виробу (номера присвоюються попанельно зліва направо і зверху вниз), а під рисою - позиційне позначення цього виробу (відповідно до принципової електричної схеми). За потребою показують внутрішню схему апаратів.

- для кількох реле, що розміщені в одному ряду, внутрішню схему показують один раз, якщо вона у них одна й та сама.

- вивідні затискачі зображують колами, у середині яких показують їхнє заводське маркування; якщо у вивідних апаратів заводського маркування немає, то їх маркують умовно арабськими цифрами, що зумовлено пояснювальними надписами. Слід зазначити, що маркування проводів і позначення затискачів на схемах з'єднань є незалежними.

- платам, на яких розміщуються резистори, конденсатори та інші елементи, присвоюється лише порядковий номер (проставляється в колі над рисою); позиційне позначення елементів розміщують у безпосередній близькості від їхнього умовного графічного позначення.

### **3.7. Розробка схеми електричної підключень**

Згідно з ГОСТ 2.702-75, схеми вмикання показують зовнішнє підключення апаратів, установок щитів, пультів і т.д. Схеми з'єднань виконують на підставі принципових схем живлення, специфікацій приладів і обладнання а

також креслень виробничих приміщень із розміщенням технологічного обладнання та трубопроводів. Їх використовують під час монтажу проводок, що забезпечують живлення щитів, пультів, установок, приладів та апаратів.

Практично використовують дві побудови схем підключень: графічну та табличну. Більш поширеною є графічна. При цьому умовними графічними позначеннями зображають: відбірні пристрої та первинні перетворювачі; щити, пульти та локальні пульти керування контролю сигналізації та вимірювання; поза щитові прилади та засоби автоматизації; з'єднувальні та протяжні коробки, вільні коробки кінців терморпарі, електропроводки та кабелі, що прикладаються поза щитами; вузли приєднання електропроводів і приладів, апаратів та коробок; забірну апаратуру, елементів для з'єднання та відгалуження; комутаційні затискачі, розміщені поза щитами; захисне заземлення.

Шафи, пульти, окремі прилади та апарати зображають у вигляді прямокутників або кіл, у середини яких розміщують відповідні надписи.

Зв'язки одного призначення на схемах підключень показують суцільні лінії, і лише в місцях гір. і єднання для приладів виконавчих механізмів та до інших апаратів проводи розділяють, щоб провести їх маркування.

На лініях зв'язку, що означають проводи або кабелі, вказують номер проводки (підключення), марку, переріз та довжину проводів і кабелів (якщо проводка виконана в трубі, то необхідно вказати також характеристику труби). Проводи, джгути та кабелі показують лініями товщиною 0,4... 1 мм.

### **3.8. Вибір щита керування**

Зовнішній вигляд щита керування наведено в графічній частині дипломного проекту.

Щити і пульти на стадії проектування вибирають на підставі таких нормативних документів: ГОСТ 20504-81 «Система уніфікованих типових конструкцій агрегатних комплексів ГСП. Типи та основні розміри», ДСТУ 3288-95 (ГОСТ 26032-96) «Система уніфікованих типових конструкцій агрегатних комплексів. Загальні технічні умови». ОСТ 36.13-76 «Щити та пульти систем

автоматизації технологічних процесів". На додаток до ОСТ 36.13-76 розроблені інструкції РМ4-107-82.

Згідно з вище вказаними нормативними документами щити і пульти розраховано, на розміщення їх у закритих приміщеннях із температурою навколишнього середовища від  $-30$  до  $+50^{\circ}\text{C}$  за відносної вологості не більше як 80%. Промисловість випускає також щити та пульти спеціального призначення, які розраховані на більш високі або низькі температури, підвищену вологість, наявність агресивного середовища тощо. Щити та пульти умовно позначають згідно з вимогами ОСТ 36.13-76.

Шафові щити використовують:

- у виробничих приміщеннях, що характеризуються запиленістю, великою вологістю та можливістю механічного пошкодження апаратури й внутрішньощитових проводів;
- для розміщення допоміжної апаратури (реле, джерел живлення) всередині щита;
- для захисту обслуговуючого персоналу від дотиків до відкритих струмоведучих частин апаратури та затискачів.

**Комплектування щитів і пультів апаратурою керування та захисту.**

#### **Вимоги до щитових приміщень**

Габаритні розміри щитів і пультів визначаються розмірами технічних засобів, що в них розміщуються.

Прилади на передньому боці щита розміщуються відповідно до прийнятих принципів їх компоновки. В щитах, які обслуговуються зовні, прилади з струмоведучими частинами можна розташовувати на будь-яких внутрішніх стінках.

Для даного дипломного проекту використовується щит ЩПК (2200x800x600). Даний щит має таке кліматичне виконання УЗ.1 згідно з ГОСТ 15150-69. «Кліматичне виконання, категорія розміщення», (це означає – У – помірний мікрокліматичний район, 3.1 – робота в нерегулярно опалювальних приміщеннях з природною вентиляцією).

Прилади, що розміщуються всередині щитів, рекомендується розміщувати на такій висоті, від основи щита:

- трансформатори, джерела живлення – 1700...2000мм;
- автоматичні вимикачі, запобіжники – 700...1700мм;
- реле – 600...1900мм;
- збірки затискачів у випадку вертикального розташування (як в даному щиті): нижній край збірки – 350 мм; верхній край збірки – 1900 мм;

Прилади з рухомими струмоведучими частинами (автоматичні вимикачі, магнітні пускачі, реле та інші) слід розташовувати так, щоб вони самовільно не замикали коло живлення системи керування, під час дії сили тяжіння. Рухомі струмоведучі частини апаратів у вимкненому стані не повинні бути під напругою.

Для з'єднання приладів що знаходяться на задній стінці щита з передньою використовують клемну колодку яка встановлюється на боковій стінці щита.

Щити встановлюються у виробничих і спеціальних щитових приміщеннях: операторських, диспетчерських чи апаратних. Щити і пульти систем автоматизації повинні відповідати - ОСТ 36.13-90 «Щити и пульти систем автоматизації технологічних процесів». Прилади що встановлені на щиті, які розраховані на роботу в певному діапазоні температур та при відповідній вологості, то вимоги до температури довкілля в місці установки щита або пульта повинні визначатися технічними умовами на експлуатацію даних приладів.

У відповідності з вимогами ОСТ 36.13-90, кожен щит повинен бути заземленим. Заземлюючий затискач знаходиться у нижній частині опорної рами щита, та позначений відповідним знаком. Заземлення корпусів приладів, які мають спеціальні виводи «земля», виконують гнучким провідником. Цей провідник від клеми «земля» під'єднується до нульового затискача щита.

В операторських (диспетчерських) пунктах не повинно бути:

- вібрацій від технологічного обладнання більше встановлених меж які наведені в таблиці 3.19;

– дії магнітного поля від електрообладнання та електропроводок з напруженістю більш як 400 В/м.

Таблиця 3.19.

## Межі допустимих значень вібрації

Частота, Гц	Амплітуда, мм	Швидкість коливальних рухів, см/с	Прискорення коливальних рухів, см/с <sup>2</sup>
8...15	0,05...0,03	0,25...0,20	13...27
15...25	0,03...0,009	0,20...0,17	27...52

Розташування оператора від щита керування, на відстані 2,5 м приведена на рис. 3.14.

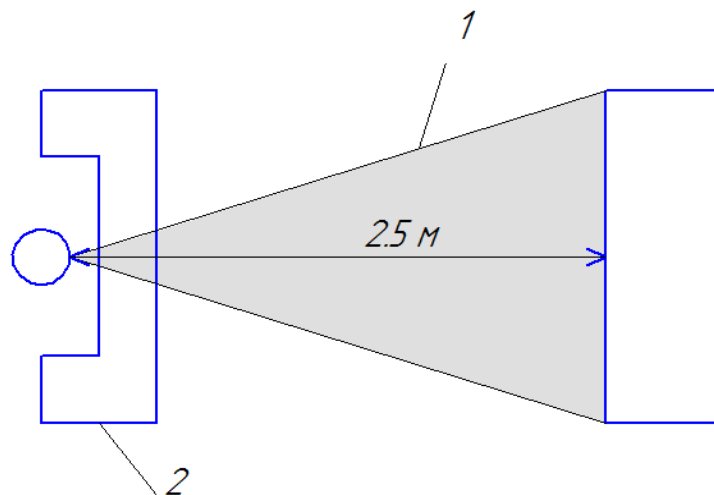


Рис. 3.14. Розташування стола оператора у щитовому приміщенні:

1 – сектор найкращого огляду; 2 – стіл оператора

На стан оператора та його працездатність впливає багато факторів навколишнього середовища: температура, вологість, тиск, освітлення, колір деталей приміщення та обладнання, шум, вібрація, наявність пари, газів тощо. Комфортні умови за температурою і вологістю для більшості людей складають відповідно 21°C і 30...70% , загальні норм мікроклімату наведені в таблиці 3.20.

Таблиця 3.20.

## Норми мікроклімату в щитових приміщеннях

Оптимальні			Допустимі		
$t, ^\circ\text{C}$	$\varphi, \%$	$v^*, \text{м/с}$ , не більше	$t, ^\circ\text{C}$	$\varphi, \%$	$v^*, \text{м/с}$ , не більше
холодний і перехідний пори року ( $t_{\text{зовн.пов}} \leq 10^\circ\text{C}$ )					
18...21	60...40	0,2	17...20	80	0,3
Тепла пора року ( $t_{\text{зовн.пов}} > 10^\circ\text{C}$ )					
22...25	60...40	0,3	23	80	0,5
			24	75	
			25	70	
			26	65	
			27	60	
			28	55	

де:  $v^*$  – швидкість руху повітря.

Підлоги в щитових приміщеннях не повинні бути електропровідними; опалення необхідно передбачити повітряне або ж допускається водяне за умов використання утеплених із решітками радіаторів. У щитових приміщеннях потрібно створити надмір тиску в 20...30 Па. Вміст пилу в повітрі даного приміщення не повинен перевищувати 2 мг/м<sup>3</sup>.

Освітлення в операторській має бути, як правило, природним. Співвідношення площі вікон та площі підлоги повинно становити 1:5 за умов роботи з дрібними деталями, в інших випадках – 1:10. Штучне освітлення в щитових має становити 550...1100 Лк за умов знімання показів приладів, 220...250 Лк за умов ведення записів та керування, 100 Лк – під час огляду та ремонту, 20...50 Лк – у проходах.

### 3.9. Розрахунок показників надійності системи водопостачання

Надійність визначають як властивість об'єкта виконувати задані функції, зберігаючи в часі значення встановлених експлуатаційних показників у заданих межах.

Проектний розрахунок надійності САР тиску в системі водопостачання на базі артезіанських свердловин, елементів наведені в таблиці 3.21.

В даній таблиці наведена інтенсивність відмов елементів, та загальна інтенсивність відмов, яка одержана як добуток інтенсивності відмов елементів на їх кількість, загальна інтенсивність відмов системи – це сума інтенсивностей відмов кожного елемента.

Таблиця 3.21.

## Інтенсивність відмов елементів системи

№	Назва елемента	Кількість елементів, шт.	Інтенсивність відмов, $\lambda_i \cdot 10^{-6}$ , 1/Год.	Загальна інтенсивність відмов, $\lambda_i \cdot 10^{-6}$ , 1/Год.
1.	Давач рівня	3	0,1	0,3
2.	Давач рівня аналоговий	1	0,16	0,16
3.	Давач тиску	1	0,15	0,15
4	Давач витрат	1	0,171	0,171
5.	Резистор металоплівковий	2	0,04	0,08
6.	Показуючий реєструючий прилад	1	0,08	0,08
7.	Блок живлення	1	0,15	0,15
8.	ПЛК	1	0,300	0,300
9.	Кнопочна станція	4	0,063	0,252
10.	Лампа сигнальна	6	0,625	3,75
11.	Магнітний пускач	5	0,25	1,25
12.	Частотний перетворювач	1	0,35	0,35
13.	Електричний двигун	6	5,24	31,44
14.	Автоматичний вимикач	5	0,175	0,875
15.	Теплове реле	6	0,1375	0,8250
16.	Блок погодження кондуктометричних сигналів	3	0,25	0,75

Отже, загальна інтенсивність відмов системи становить:  $\sum \lambda_i = 40.883 \cdot 10^{-6}$  1/год.

Відповідно, середній час безвідмовної роботи САР дорівнює складає

$$T_{\text{сер}} = \frac{1}{\sum \lambda_i} \equiv \frac{1}{40,883 \cdot 10^{-6}} = 24460.045 \text{ год.} \quad (3.51)$$

Отже, отримане значення напрацювання на відмову становить  $T_{\text{сер}} = 24460.045 \text{ год.}$ , що є гарним показником.

Приймаємо, що строк нормальної експлуатації становить  $t = 1000$  год. Тоді, знайдемо результуючу імовірність відмови  $P(1000)$

$$P_{\text{рез}}(t) = e^{-k \cdot \sum \lambda_i \cdot t}, \quad (3.52)$$

де:  $k$  – коефіцієнт, що враховує вплив зовнішнього середовища (приймаємо 1);

$t$  – час експлуатації.

$$P_{\text{рез}}(t) = e^{-1 \cdot 40.883 \cdot 10^{-6} \cdot 1000} = 0,96$$

Враховуючи попередні розрахунки, можна зробити висновок, що на протязі 1000 годин ймовірність відмови складає 0,04.

### 3.10. Екологія

Безпека та екологічні аспекти облаштування артезіанських свердловин є надзвичайно важливими для забезпечення сталого питного водопостачання та збереження навколишнього середовища. Використання сучасних технологій експлуатації артезіанських свердловин, проведення екологічного моніторингу та дотримання правових норм дозволяють забезпечити високу якість підземних вод та захистити їх від забруднення. Рациональне використання водних ресурсів є запорукою їх збереження для майбутніх поколінь.

Артезіанське питне водопостачання має кілька переваг над централізованим.

Вода з артезіанських свердловин має кращу якість, оскільки глибоко підземні шари фільтрують воду від багатьох забруднювачів. Не потрібно видобути воду піддавати процесу освітлення, встановлювати додаткове

технологічне обладнання для фільтрації води, таке як освітлювачі, механічні та іонообмінні фільтри, відстійники, додавати хімічні речовини такі як коагулянти, флокулянти і т.д. При відсутності такого обладнання рівень втрат та технологічних витрат питної води на підприємстві значно знижується тому, що не потрібно витрачати питну воду на промивки, регенерації фільтруючих матеріалів і т.д. Це ні що інше, як раціональне використання водних ресурсів, що, в свою чергу, є позитивним екологічним аспектом процесу питного водопостачання.

Також при відсутності такого обладнання та відсутності хімічної обробки води коагулянтами та флокулянтами відсутній процес утворення шламу водоочищення. Тобто відсутні такі екологічні аспекти як - утворення, збирання та тимчасове зберігання відходів шламу водоочищення, передача шламу водоочищення для подальшої утилізації, скорочення споживання матеріально-сировинних ресурсів. Це також позитивні екологічні аспекти тому, що, позитивний вплив на довкілля, по-перше - скорочення обсягу земель, що використовуються для розміщення відходів, по-друге – скорочення виснаження природних ресурсів.

Артезіанська вода має менший вміст домішок, зокрема заліза, що робить її більш придатною для пиття і приготування їжі. В артезіанській воді значно кращі ніж в поверхневій мікробіологічні показники. Це свідчить про те, що артезіанську воду не завжди потрібно обробляти хімічними речовинами для знезараження, оскільки вона може мати природні антибактеріальні властивості.

В цій роботі приведений розрахунок зменшення енерговитрат після авто-матизації процесу водопостачання на базі артезіанських свердловин, різниця у витраті електроенергії складає близько 25%. Це також позитивний екологічний аспект тому, що споживання електроенергії на власні потреби також є скороченням виснаження ресурсів.

Перевагами артезіанського водопостачання також є:

- Артезіанська вода містить корисні мінерали, такі як кальцій, магній, калій і натрій, що позитивно впливає на здоров'я людини.

- Стійкість до сезонних коливань. Артезіанські свердловини забезпечують стабільний доступ до води навіть у посушливі періоди, оскільки забирають воду з глибоких водоносних горизонтів.
- Незалежність від поверхневих джерел. Артезіанські свердловини не залежать від забруднення поверхневих вод, що є важливим у регіонах з високим рівнем забруднення.
- Довговічність. З правильно облаштованою і експлуатованою артезіанською свердловиною можна користуватися десятки років, а то й століття.
- Надійність. Артезіанські свердловини забезпечують постійний і стабільний водозабір, що робить їх надійним джерелом водопостачання.
- Економічність. Після облаштування свердловини, експлуатація є більш економічною, ніж використання насосів для забору води з поверхневих джерел.

Експлуатація артезіанських свердловин повинна здійснюватися з урахуванням екологічних аспектів.

Метою оцінки впливу на довкілля для артезіанських свердловин є:

- Забезпечення екологічної безпеки та захист підземних вод.
- Поліпшення якості води та зменшення ризику забруднення.
- Забезпечення сталого використання природних ресурсів.
- Збереження екологічних компонентів та біорізноманіття.

## РОЗДІЛ 4

### ТЕХНІКО – ЕКОНОМІЧНЕ ОБҐРУНТУВАННЯ

Показники економічної доцільності впровадження автоматизації необхідно розраховувати для того, щоб встановити черговість автоматизації інноваційних і економічно доцільних технологічних процесів, вибрати найбільш економічні методи і технічні засоби автоматизації, визначити техніко–економічні показники її ефективності, підрахувати економічний ефект й, звичайно, спрогнозувати термін окупності інвестованих коштів. В таблиці 4.1 приведені капітальні затрати на автоматизацію насосної станції.

Таблиця 4.1.

Капітальні затрати автоматизації насосної станції

№ п/п	Стаття інвестиційних затрат	Сума, грн.
1	Вартість технологічного проекту і консультативний супровід	72 000,00
2	Вартість засобів автоматизації	831 827,69
3	Вартість монтажу, та виконання інших робіт пов'язаних з монтажем	149 728,98
4	Непередбачувані видатки	25 000,00
Всього:		1 078 556,67

Детальна інформація про вартість засобів автоматизації наведено в додатку А.

Вартість монтажних робіт за формулою (4.1)

$$B_m = \frac{B_{np} \times 18\%}{100\%} = \frac{831827.69 \times 18\%}{100\%} = 149728,98 \text{ грн} \quad (4.1)$$

де  $B_{np}$  – вартість приладів автоматизації.

Річні експлуатаційно – виробничі витрати приведені в таблиці 4.2.

Обслуговуючий персонал для даної станції складає – 4 оператори, відповідно з графіком для одного оператора –1 доба робоча, 3 – вихідних, тобто якщо заробітну плату розрахувати на кожен день то вийде

$$B_3 = 71,86 \cdot 24 \cdot 360 = 620\,870,40 \text{ грн.},$$

де: 71,86 - грн./год. – ставка оператора; 24 – години роботи на добу; 360 – кількість діб роботи на рік.

Таблиця 4.2.

## Річні експлуатаційні та виробничі витрати

№ п/п	Стаття витрат	Кількість	Одиниця Виміру	Ціна/од., грн.	Всього за рік, грн.
1	Електроенергія	442300	кВт/год/рік	6,68	2 954 564,00
2	Персонал	4	Осіб	155 217,60	620 870,40
3	Накладні видатки (50%)			77 608,80	310 435,20
4	Опалення (6 міс.)	1600	м <sup>3</sup>	6,52	62 592,00
Всього:					3 948 461,60

Прибуток за рахунок зміни річних експлуатаційних витрат за формулою

$$П = B_n - B_a + Д, \quad (4.2)$$

де:  $B_n$  – річні витрати на неавтоматизованому способі виробництва (на зарплату доводилося витратити на 351 129,60 грн. більше, так як була більша кількість працівників а саме 9 чоловік, і середня зарплата в них складала близько 9000 грн., ( $972\,000,00 - 620\,870,40 = 351\,129,60$  грн.), пропорційно зменшилися накладні видатки на 175 564,80 грн. ( $486\,000,00 - 310\,435,20 = 175\,564,80$  грн.); витрата електроенергії складала 584 157,5 (кВт/год.)/рік, це дорівнювало – 3 902 172,10 грн., що більше ніж зараз на 947 608,10 грн.;

$B_a$  – річні витрати на автоматизованому способі виробництва;

$Д$  – додатковий прибуток за рахунок зменшення витрат, та збільшення якості.

$$П = 5\,417\,264,10 - 3\,948\,461,60 + 5500,00 = 1\,474\,302,50 \text{ грн.},$$

За рахунок автоматизації виникла можливість скоротити обслуговуючий персонал. За рахунок встановлення частотного перетворювача, вдалося

зменшити використання електроенергії. Також за рахунок скорочення персоналу, стало можливим підняти заробітну плату операторам з 9 000,00 грн/міс до 12 934,80 грн/міс.

Термін окупності капітальних витрат на автоматизацію при однаковому річному обсязі виробництва розраховується за формулою (4.3)

$$T_n = \frac{K_a}{Pr}, \quad (4.3)$$

де:  $K_a$  – це капітальні витрати на автоматизацію;

$Pr$  – запланований річний прибуток.

Річний прибуток визначається за формулою (4.4):

$$Pr = O - B_a, \quad (4.4)$$

де:  $O$  – сума реалізації продукції;

$B_a$  – річні експлуатаційні витрати,

$$O = 965,25 \cdot 14,77 \cdot 365 = 5\,203\,711,01 \text{ грн.},$$

де: 965,25 – це середньодобова витрата води в  $m^3$ ;

14,77 – це вартість 1  $m^3$  води (без ПДВ);

365 – кількість днів – рік.

Отже, відповідно до формул (4.4) та (4.5) отримуємо:

$$Pr = 5\,203\,711,01 - 3\,948\,461,60 = 1\,255\,249,41 \text{ грн.},$$

$$T_n = \frac{1078556,67}{1255249,41} = 0,86.$$

Відповідно до розрахунків система автоматизації окупиться за 0,86 років.

Рентабельність насосної станції – характеристика економічної ефективності виробництва, за якої підприємство за рахунок грошової виручки від реалізації продукції повністю відшкодовує витрати на її виробництво й одержує прибуток як головне джерело розширеного відтворення.

Рентабельність насосної станції визначається як відношення чистого прибутку до загальних витрат на її роботу. Чистий прибуток – це різниця між доходами, отриманими від продажу води та витратами на її функціонування (електроенергія, ремонт, обслуговування тощо).

Рентабельність насосної станції знаходиться за формулою (4.5)

$$P = \frac{\Pi_p \cdot 100}{B_a}, \quad (4.5)$$

Отже, рентабельність даної насосної станції складає 31,79 %.

$$P = \frac{1255249,41 \cdot 100}{3948461,60} = 31,79 \%$$

## ВИСНОВКИ

У кваліфікаційній бакалаврській роботі розроблено комп'ютерно-інтегровану систему автоматичної подачі води споживачам для КП «Зеленодольський міський водоканал» Криворізького району. Мета роботи — підвищення ефективності та надійності водопостачання на базі артезіанських свердловин за рахунок впровадження сучасних засобів автоматизації.

Розроблено математичну модель об'єкта керування та визначено її передатну функцію. Це дозволило провести аналіз динаміки системи та обґрунтувати вибір ПІ-регулятора. В якості технічного засобу регулювання використано частотний перетворювач ОВЕН ПЧВ203-7к5-в із вбудованим регулятором.

Проведено моделювання роботи системи. Отримано показники: час регулювання — 0,34 с, перерегулювання — 4,17%. Це підтверджує ефективність налаштувань та стійкість системи.

Розроблено технічну документацію: функціональну схему, принципову електричну схему, схеми підключень, з'єднань і зовнішній вигляд щита. Обґрунтовано вибір пуско-захисної апаратури, кабелів та проводів.

Згідно з техніко-економічним обґрунтуванням, впровадження автоматизації дозволяє знизити споживання електроенергії на ~25%. Рентабельність проєкту становить 31,79%, а термін окупності — 0,86 року.

У результаті автоматизації вдалося зменшити енерговитрати, витрати на оплату праці та обслуговування, а також підвищити надійність і стабільність роботи системи. Розроблена система є доцільною для впровадження на подібних об'єктах.

## ЛІТЕРАТУРА

1. В.П.Лисенко , І.М.Болбот « Комп'ютери та комп'ютерні технології . Частина 1. Програмування в математичному пакеті MathCAD »
2. Головінський Б.Л., Шуруб Ю.В., Лисенко В.П. Теорія автоматичного управління: навч. посіб. – К.: Вид.Центр НУБіП України, 2012. – 240 с.
3. В.П.Лисенко, І.М.Болбот, В.А.Наливайко та ін. Проектування систем автоматизації для АПК. Підручник. – К., 2022. – 626 с
4. Ідентифікація та моделювання технологічних об'єктів. Навчальний посібник. К.: АграрМедіа Груп, 2016. – 475 с.
5. Лисенко В.П., Решетюк В.М., Цигульов І.Т., Чернишенко Є.В. Основи автоматизації. Підручник. К.: НУБіП України. 2021. 557 с.
6. В.П.Лисенко, І.М.Болбот, В.А.Наливайко, К.В.Наконечна, Т.І.Лендел, Д.Є.Жук Проектування систем автоматизації для АПК: Підручник. - Київ: ФОП Ямчинський О.В., 2022 - 626 с
7. Ідентифікація та моделювання технологічних об'єктів. Навчальний посібник. / В.Лисенко, Є.Чернишенко, В.Решетюк, В.Мірошник, Н.Заєць, І.Цигульов. – К.:АграрМедіаГруп, 2016. – 476 с.
8. Лисенко В.П., Шворов С.А. Моделювання та оптимізація систем керування. К.: Наук. світ, 2021. – 134 с.
9. Шаман О.М. Технологія і автоматизація водопостачання і водовідведення, – К: Академія муніципального управління, 2006. – 163с.
10. Лисенко В.П., Решетюк В.М., Мірошник В.О., Щербатюк В.Л., Шуруб Ю.В., Осипенко В.В., Дудник А.О., Руденський А.А. Методичні вказівки до розробки дипломного проекту бакалавра, – К.: Видавничий центр НУБіП України, 2014. – 147 с.
11. Лисенко В.П., Решетюк В.М., Цигульов І.Т. Основи автоматизації: теорія і практика (ч.1). Видання 2-е, перероблене і доповнене. / Лисенко В.П., Решетюк В.М., Цигульов І.Т. – К.: Освіта України, 2013. – 720 с.
12. Лисенко В. П., Мірошник В. О., Штепа В. М. Комп'ютерно–інтегровані технології. Основи MatLab. Навчальний посібник., К.: Видавничий центр НУБіП України, 2010, – 80 с.
13. Решетюк В. М., Мірошник В. О. Типові технологічні процеси і об'єкти виробництва. Метод. вказівки для підготовки, виконання та самост. опрацювання лабор. робіт. К.: НУБіПУ, ПП «Універсал», 2009. – 83 с.
14. Електропривід сільськогосподарських машин, агрегатів та поточкових ліній: Підручник / Є.Л. Жулай, Б.В. Зайцев, Ю.М. Лаврінченко, О.С. Марченко, Д.Г. Войтюк; За ред. Є.Л. Жулая. – К.: Вища освіта, 2001. – 288 с.: іл. ISBN 966-95995-2-0.

15. Методичний посібник щодо виконання випускної бакалаврської роботи для студентів денної і заочної форми навчання за програмою підготовки фахівців ОКР "Бакалавр" зі спеціальності – 0101 "Техніка та енергетика аграрного виробництва", напрям підготовки – 6.100101 "Енергетика та електротехнічні системи в агропромисловому комплексі". / Іноземцев Г.Б., Олійник П.В., Козирський В.В., Лут М.Т., К. Видавництво НУБіП України, 2008р. – 140с.
16. <https://1kr.ua/ua/>
17. <https://zelenodolsk.otg.dp.gov.ua/>
18. <https://www.codesys.com/>
19. <http://promfactor.com/>
20. <http://forum.owen.ua/>

## 21. ДОДАТОК А

Таблиця А.1. Вартість засобів автоматизації

№	Назва елемента	К-сть прил., шт.	Ціна за од., грн	Сумарна ціна, грн.
1.	Кондуктометричний давач рівня, Овен ДС.П-0.5	3	396,00	1 188,00
2.	Дачач рівня поплавковий, Овен ПДУ- И.3000	1	22 115,00	22 115,00
3.	Дачач тиску, Овен ПД100-ДИ4.0-111-0.25	1	2 880,12	2 880,12
4.	Витратомір електромагнітний, Bedger meter M1000 Tipe III Dy65	1	30 958,00	30 958,00
5.	Резистор металоплівковий, МО-200(С2-23)	2	24,5	49,0
6.	Показуючий реєструючий прилад, ЛПЗ R10	1	76 102,2	76 102,2
7.	Блок живлення, PSM-4/3-24	1	1 713,64	1 713,64
8.	ПЛК 160.220	1	21 450,00	21 450,00
9.	Кнопочна станція, ПКЕ-722/2	2	67,32	134,64
10.	Лампа сигнальна, Овен МТ22-А14	6	102,42	614,52
11.	Магнітний пускач, Промфактор ПММ- 2/25	2	1 001,00	2 002,00
12.	Магнітний пускач, Промфактор ПММ- 5/125	3	6 170,00	18 510,00
13.	Частотний перетворювач, Овен ПЧВ203- 7к5-в	1	17 538,00	17 538,00
14.	Відцентровий насос К45/30	3	25 788,00	77 364,00
15.	Занурювальний насос ЭЦВ 10-63-200	3	61 363,00	184 089,0
16.	Автоматичний вимикач, Промфактор АВ2000 3р D 50А 6Ка	1	563,00	563,00

17.	Автоматичний вимикач, Промфактор EVO AB2000 3р D 125A 10кА	3	1 889,40	5 668,2
18.	Автоматичний вимикач, Промфактор AB2000 1р С 25А 6кА	1	101,24	101,24
19.	Теплове реле, EST-22.16-22	3	373,00	1 119,00
20.	Теплове реле, Промфактор РТ 2-200 80- 125А	3	7 137,72	21 413,16
21.	Блок погодження кондуктометричних да- вачів, Овен БКК1-24	3	2 850,00	8 550,00
22.	Щит керування ЩПК (2200x800x600)	1	8 500,00	8 500,00
23.	Кабелі та проводка	1516 м		329 204,97
Загальна сума:				831 827,69

Таблиця А.2. Вартість кабелів та проводів

<b>Назва, кількість та пере- різ жил</b>	<b>К-сть метрів</b>	<b>Ціна за 1м грн.</b>	<b>Сумарна ціна грн.</b>
ВВГ 3x185+1x50	25	3 617,64	90 441,00
ВВГ 3x25	630	357,61	225 294,3
ВВГ 3x1.5	111	27,50	3 052,5
ПВЗ 1x1	93	6,3	585,9
ПВСе 2x0.75	632	15,11	9 549,52
ПВСе 2x0.5	25	11,27	281,75
Загальне			329 204,97

## ДОДАТОК Б

Налаштування частотного перетворювача Овен ПЧВ203-7к5-в

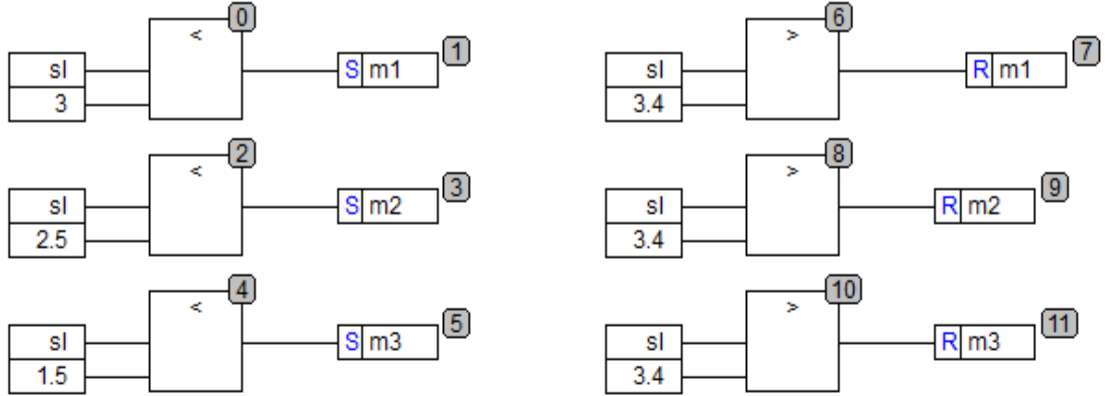
№	Код	Назва	Знач.	Примітка
1	0-04	Функція автоматичного повторно ввімкнення	0	Відновити роботу в режимі до вимкнення живлення
2	1-00	Режим конфігурування	3	Замкнутий контур процесу П – регулятора
3	3-01	Номінальне значення, м	3,4	Номінальне значення рівня L=3.4 м
4	3-02	Мінімальне значення, м	0,5	Мінімальне значення рівня L=0.5 м
5	3-03	Максимальне значення, м	3,5	Максимальне значення рівня L=3.5 м
6	3-41	Час розгону, с	3	Налаштування від гідроудару
7	3-42	Час гальмування, с	3	Налаштування від гідроудару
8	4-10	Напрямок обертання валу	0	За годинниковою стрілкою
9	4-12	Мінімальна швидкість обертання	15	Рекомендована мінімальна швидкість для насоса
10	4-14	Максимальна швидкість обертання	50	Номінальна паспортна швидкість
11	6-22	Мінімальний струм сигналу, I каналу	4	4 мА

12	6-23	Максимальний струм сигналу, 1 каналу	20	20мА
13	7-20	Джерело інформації для регу- лювання	1	Перший канал зв'язку
14	7-33	Пропорційний коефіцієнт для ПІ-регулятора	571,43	Налаштування від пе- ререгулювання
15	7-34	Інтегральний коефіцієнт ПІ- регулятора	0	Налаштування від пе- ререгулювання

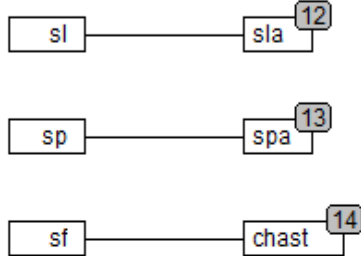
## ДОДАТОК В

### Програма для Овен ПЛК 160 (мова програмування SFC)

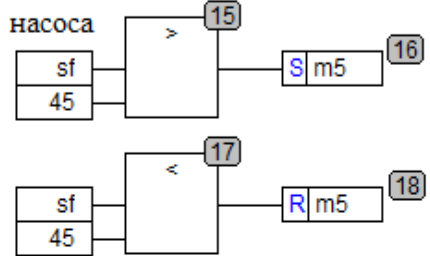
#### Керування занурювальними насосами



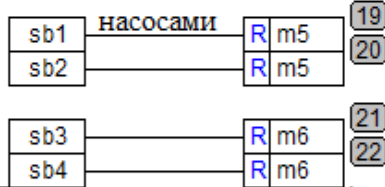
#### Вихід на відеографічний реєстратор



#### Ввімкнення допоміжного насоса

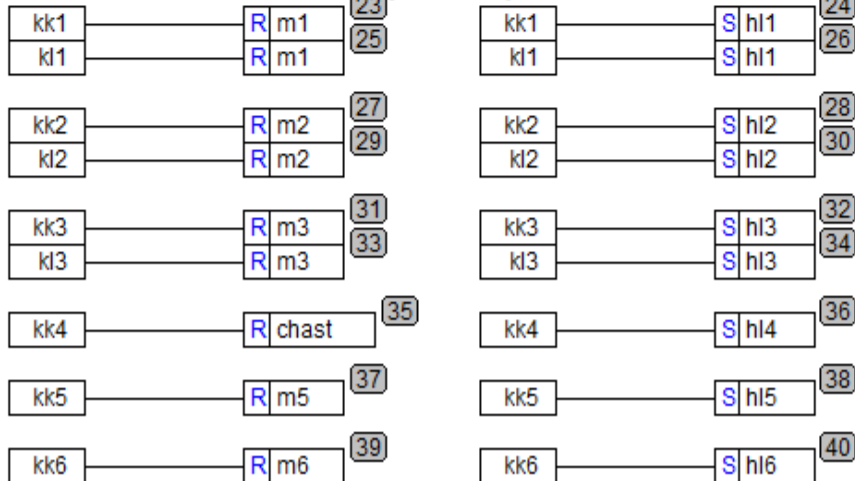


#### Ручне керування резервним та допоміжним



#### Вимкнення допоміжного насоса

#### Тепловий захист та захист від сухого ходу насосів



#### Сигналізація

