

Вінницький національний технічний університет

---

(повне найменування вищого навчального закладу)

Факультет комп'ютерних систем і автоматики

---

(повне найменування інституту, назва факультету (відділення))

Кафедра автоматизації та інтелектуальних інформаційних технологій

---

(повна назва кафедри (предметної, циклової комісії))

## Пояснювальна записка

до магістерської дипломної роботи

магістр

(освітньо-кваліфікаційний рівень)

на тему: «Система управління водопостачання житлового масиву на базі  
мікроконтролера»

Виконав: студент 5 курсу, групи 1АКІТ-18м

Напрямок підготовки

151– «Автоматизація та

комп'ютерно-інтегровані технології»

(шифр і назва напрямку підготовки, спеціальності)

Остапенко Н. В.

---

(прізвище та ініціали)

Керівник проф. каф. АІТ Васюра А. С.

(прізвище та ініціали)

Рецензент\_

(прізвище та ініціали)

Вінниця 2019





## АНОТАЦІЯ

У даній роботі було проведено аналіз методів управління агрегатами автоматизованої системи водопостачання житлового масиву. З метою підвищення економічності та енергоефективності системи були досліджені способи оптимізації роботи насосних станцій. Розглянуті можливості використання регульованого електроприводу для керування насосними агрегатами. Розроблено сучасну систему управління водопостачанням на базі логічного контролера та перетворювачів частоти, яка дозволяє вільно адаптувати її під необхідні вихідні параметри агрегатів насосних станцій.

Ключові слова: перетворювач частоти, логічний контролер, насосний агрегат, автоматичне управління, водопостачання.

## АННОТАЦИЯ

В данной работе был проведен анализ методов управления агрегатами автоматизированной системы водоснабжения жилого массива. С целью повышения экономичности и энергоэффективности системы были исследованы способы оптимизации работы насосных станций. Рассмотрены возможности использования регулируемого электропривода для управления насосными агрегатами. Разработано современную систему управления водоснабжением на базе логического контроллера и преобразователей частоты, которая позволяет свободно адаптировать ее под необходимые исходные параметры агрегатов насосных станций.

Ключевые слова: преобразователь частоты, логический контроллер, насосный агрегат, автоматическое управление, водоснабжение.

## ANNOTATION

In this Master's dissertation the analyzes the methods of managing units of an automated residential water supply system. The ways of optimizing the operation of pumping stations in order to increase the efficiency and energy efficiency of the system are investigated. Possibilities of using an adjustable electric actuator for control of pumping units are considered. A modern system of water supply management based on logic controller and frequency converters has been developed, which makes it easy to adapt it to the required output parameters of pumping station units.

Keywords: frequency converter, logical controller, pumping aggregate, automatic control, water supply.

## ЗМІСТ

|  |    |
|--|----|
| ВСТУП .....  | 9  |
| РОЗДІЛ 1 АНАЛІЗ МЕТОДІВ ТА ПІДХОДІВ ДО РОЗРОБКИ СИСТЕМИ УПРАВЛІННЯ ВОДОПОСТАЧАННЯ .....                              | 11 |
| 1.1 Аналіз систем внутрішніх водопроводів .....  | 11 |
| 1.2 Опис роботи насосних агрегатів .....   | 17 |
| 1.3 Способи регулювання режимів роботи насосних установок .....  | 22 |
| 1.4 Регулювання продуктивності НС .....  | 26 |
| 1.5 Постановка задачі та визначення вихідних даних .....   | 30 |
| 1.6 Висновок до розділу .....  | 31 |
| РОЗДІЛ 2 ІНСТРУМЕНТИ ТА ОБЛАДНАННЯ ДЛЯ РОЗРОБКИ СИСТЕМИ УПРАВЛІННЯ ВОДОПОСТАЧАННЯ .....                              | 32 |
| 2.1 Моделювання регульованого електропривода .....   | 32 |
| 2.2 Вибір асинхронного двигуна .....   | 33 |
| 2.2 Вибір засобів керування системи .....  | 37 |
| 2.3 Висновок до розділу .....  | 42 |
| РОЗДІЛ 3 РОЗРОБКА ПРОГРАМНОГО ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ .....   | 44 |
| 3.1 Вибір середовища розробки .....  | 44 |
| 3.2 Розробка програмної частини .....  | 45 |
| 3.3 Висновок до розділу .....  | 54 |
| РОЗДІЛ 4. ЕКОНОМІЧНА ЧАСТИНА .....   | 56 |
| 4.1 Технологічний аудит розробленої системи управління водопостачання житлового масиву на базі мікроконтролера ..... | 56 |



|   |    |
|---|----|
| 4.2 Розрахунок витрат на розробку системи управління водопостачанням житлового масиву на базі мікроконтролера ..... | 64 |
| 4.3 Розрахунок економічного ефекту від можливого впровадження нашої розробки .....                                  | 69 |
| ВИСНОВКИ.....   | 76 |
| СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ.....   | 78 |
| ДОДАТКИ.....  | 83 |
| ДОДАТОК А.....  | 84 |
| ДОДАТОК Б .....   | 88 |
| ДОДАТОК В.....  | 96 |

## ВСТУП

**Актуальність теми.** Системи подачі й розподілу води (СПРВ) відносять до найбільш енергоємних об'єктів міського комунального господарства. Насосні станції (НС) - основні користувачі електроенергії в системах водопостачання. На сьогоднішній день більшість НС оснащені нерегульованим приводом на базі асинхронних і синхронних електромеханізмів. Нерегульований привід в умовах різкої зміни тиску, обумовленого характером і режимами роботи споживачів, нерідко приведе до аварійності й збоїв у роботі СПРВ. Автоматизація режимів роботи НС підвищить надійність роботи системи водопостачання, дозволить зекономити водо- та енергоресурси шляхом впровадження енергозберігаючого устаткування.

В наслідок росту населення в містах гостро стоїть питання збільшення житлової площі способом будівництва нових житлових масивів та мікрорайонів. В зв'язку з цим зростає і необхідність у розробці систем забезпечення. Також на сьогоднішній день існує велика кількість житлових комплексів, які потребують модернізації іноді всіх систем водо- та енергозабезпечення у зв'язку із великим строком експлуатації, що в будь-яку мить може призвести до виходу з ладу обладнання[1].

**Мета і завдання дослідження.** Головною метою даної роботи є розробка системи керування енергозберігаючим приводом насосної станції способом покращення енергетичних показників.

Для досягнення мети необхідно розв'язати наступні задачі:

- розглянути питання водопостачання в містах;
- проаналізувати основні системи електроприводу насосних станцій;
- розробити систему оптимального керування.

**Об'єктом дослідження** є процес керування електроприводом насосної станції.

**Предметом дослідження** є система керування енергозберігаючим електроприводом насосної станції, яка забезпечує мінімізацію споживаної потужності.

**Наукова новизна** отриманих результатів полягає в наступному:

а) запропоновано систему керування електроприводом насосної станції, яка на відміну від існуючих працює на основі асинхронних двигунів з частотним регулюванням у заданому діапазоні, що дало змогу підвищити пускові характеристики, енергоефективність та економічність установки.

б) запропоновано метод автоматичного управління системою водопостачання, який на відміну від існуючих працює на основі мікроконтролера та частотного перетворювача, що дало змогу підтримувати сталий тиск в мережі та збільшити термін експлуатації установки.

**Практичне значення отриманих результатів** полягає в можливості їх використання для проектування, розробки та модернізації існуючих насосних станцій житлових будинків для ефективного використання енергоресурсів та покращення роботи гідравлічних систем в цілому.

**Апробація та публікації.** Результати роботи були опубліковані на XLVII науково-технічній конференції професорсько-викладацького складу, співробітників та студентів ВНТУ за участю працівників науково-дослідних організацій та інженерно-технічних працівників підприємств (м.Вінниця, 23 березня 2018 року) [3].

Опубліковано 1 наукову працю на Міжнародній науково-технічній конференції «Енергоефективність в галузях економіки України», 12-14 листопада 2019 р. [4].

Подані тези доповіді на Всеукраїнську науково-практичну інтернет-конференцію «Молодь в науці: дослідження, проблеми, перспективи», 1-15 травня 2020 р.

## РОЗДІЛ 1 АНАЛІЗ МЕТОДІВ ТА ПІДХОДІВ ДО РОЗРОБКИ СИСТЕМИ УПРАВЛІННЯ ВОДОПОСТАЧАННЯ

Системи водопостачання (СВ) відносять до числа найбільш ресурсоемних технологічних об'єктів в комунальному господарстві та промисловості. Енергоспоживання є найбільшою складовою ресурсоемності. Україна відноситься до енергодефіцитних країн. Через це економія електроенергії визнана самим важливим напрямком енергетичної політики в Україні. Розроблені комплексна державна і регіональні програми енергозбереження. Другою складовою ресурсоемності є витрата води, природні запаси якої обмежені. Третьою складовою являється дороге технологічне обладнання, особливо трубопровідні системи, строк служби якого залежить від частоти виникнення перевантажень. В світлі сказаного закономірно актуальною є науково-технічна проблема зниження енергоемності технологічного процесу водопостачання. Вирішенням цієї проблеми досягаються соціальні та економічні результати, що поліпшують умови життя людей, підвищують економічний потенціал держави, зменшують екологічний збиток. Зазначена проблема вирішується в основному двома шляхами. Перший з них полягає в застосуванні більш досконалого технологічного і електротехнічного обладнання, а другий — в розвитку систем автоматизації насосних станцій (НС) з метою вдосконалення процесів управління технологічним обладнанням і поліпшення за рахунок цього економічних показників функціонування СВ [5].

### 1.1 Аналіз систем внутрішніх водопроводів

Системою водопостачання називають комплекс інженерних будов, машин і апаратів, які призначені для добування води з природних джерел, підвищення її якості, зберігання, транспортування і подачі

водокористувачам. Вона складається з водоприймальних, водопідйомних, очисних, водонапірних і регулюючих споруд, магістральних водоводів і розподільних мереж, а також засобів автоматизації. В залежності від місцевих умов деякі із споруд можуть бути об'єднані одна з одною, чи не використовуватись [6].

Системи водопостачання поділяють за такими ознаками: за функціональним призначенням (господарсько-питні, виробничі та протипожежні); сферою обслуговування (об'єднані й роздільні); за видом об'єктів (міські, селищні, промислові); за територіальним охопленням водокористувачів (місцеві, централізовані, групові); тривалістю дії (тимчасові та постійні); типом природного джерела (з використанням підземних або поверхневих вод); способом підйому води (гравітаційні й з механічною подачею води); характером використання води (прямоточні, зворотні й з повторним використанням води); надійністю забезпечення подачі води.

Система водопостачання у будинках — це комплекс водорозбірних механізмів і обладнання, який забезпечує водою з міського водопроводу всіх користувачів з необхідним напором у потрібній кількості.

Схема водопостачання — це система, яка тісно зв'язана з місцевими умовами, напорами і витратами води в внутрішньому та зовнішньому водопроводах [5,6].

У практиці проектування внутрішніх водопроводів у будинках приймають різні схеми. Це пояснюється різними місцевими умовами будівництва. Більш істотною є класифікація схем водопостачання будинків, які відрізняються обладнанням, що використовується. Виходячи з цього, у громадських та житлових будинках приймають такі схеми [7]:

- проста (без насосної установки);
- з насосними установками;
- з напірними баками;

- з насосними установками і напірними баками;
- гідروпневматичними резервуарами;
- запасними резервуарами;
- зонні

Основними критеріями при виборі тієї чи іншої схеми є співвідношення напорів у внутрішньому й зовнішньому водопроводах, а також режим водопостачання в будинку[5, 7].

Проста схема використовується у житлових і громадських будинках при достатньому напорі в міському водопроводі, а схеми з насосними установками — якщо його не вистачає. У висотних будинках (12 і більше поверхів) передбачають зонну схему, що викликано необхідністю забезпечити потрібний гідростатичний напір у трубопроводах і арматурі нижніх поверхів будинку. Схему з вирівнювальними баками використовують у будинках комунально-побутового призначення (лазні, пральні). Схему з запасними резервуарами застосовують, якщо тиск у зовнішньому водопроводі менше  $0,05\text{МПа}$  ( $0,5\text{ кгс/см}^2$ )[8].

Для забезпечення водопостачання квартирних будинків треба спроектувати систему внутрішнього водопроводу. Внутрішній водопровід — це трубопроводи та інженерне обладнання, що призначені для забезпечення подачі води від зовнішніх мереж водопроводу до всіх внутрішніх водорозбірних механізмів, технологічного обладнання та пожежних кранів. Системи водопостачання будинків повинні забезпечувати споживачів водою заданої якості, в потрібній кількості й під необхідним напором. Зазвичай, внутрішній водопровід влаштовують тільки в тих будинках та спорудах, які підключені до централізованої або місцевої каналізації.

До системи внутрішнього водопроводу житлового будинку входять: ввід, водомірний вузол, розвідна мережа (магістральні лінії, стояки, підводки до санітарних приладів і технологічного

обладнання), арматура. Залежно від місцевих умов і призначення будинку, до системи внутрішнього водопроводу можуть бути включені насосні установки, водонапірні резервуари та інше обладнання.

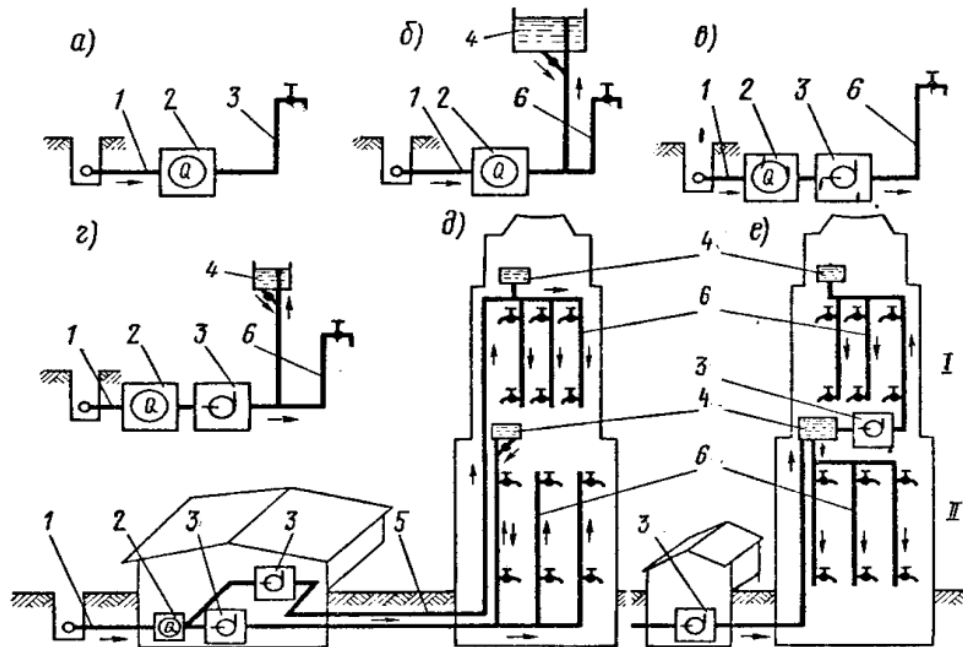


Рисунок 0.1 – Схеми систем внутрішніх водопроводів

На рис. 1.1 представлено типові схеми внутрішніх водопроводів, де: а – проста; б – з водорегулюючими баками; в - з обладнанням для підвищення тиску; г – з водорегулюючими баками і обладнанням для підвищення тиску; д, е – зонні: 1 – ввід; 2 – водомірний вузол; 3 – обладнання для підвищення тиску; 4 – водорегулюючий бак; 5 – квартальна мережа; 6 – внутрішня мережа; 7 – водорозбірна арматура[9].

Для будь-якого перекачування рідини сьогодні використовуються насоси. Насос – це проточна гідравлічна машина, що слугує для переміщення й створення напору рідин всіх видів, механічної суміші рідини із твердими і колоїдними речовинами або зрідженням газів. Робота насосу характеризується його продуктивністю (подачею)  $Q$ , яка визначається об'ємом рідини, яку перекачує насос в одиницю часу та напором насосу  $H$  (фактично величина пропорційна різниці тисків рідини на вході і виході насоса) – приріст питомої енергії потоку рідини при проходженні через його

робочі колеса. Напір насосу витрачається на подолання сил протитиску в напірному резервуарі, геометричну висоту підйому  $H_r$  і подолання опору трубопроводів [8,9].

Насосні установки часто використовуються в різних галузях промисловості, енергетики, комунального та сільського господарств. Особливе значення має застосування насосів, насосних установок або насосних станцій в системах водопостачання та каналізації, так як тут вони є одним з основних вузлів. У системах водопостачання насоси забезпечують подачу води споживачам: промисловим підприємствам, тепловим електростанціям, житловим кварталам населених місць.

Насоси класифікуються за принципом дії. На рис. 1.2 представлена загальна класифікація насосів. Тобто, всі існуючі насоси можуть бути розділені на два види: динамічні та об'ємні[9].

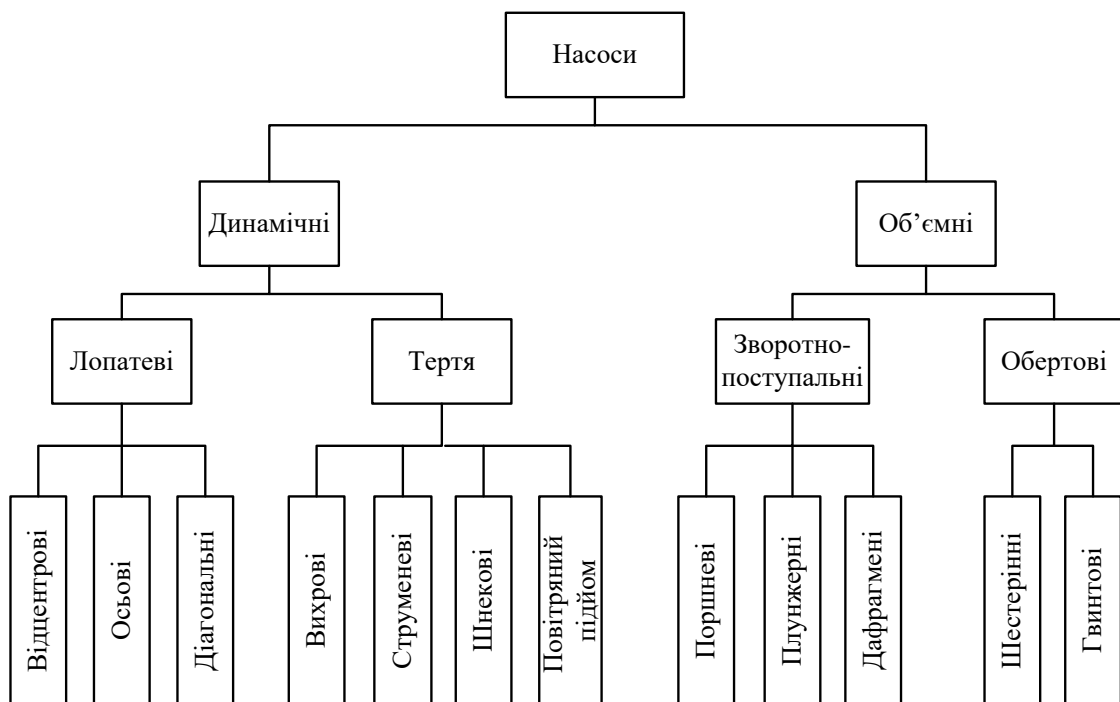


Рисунок 0.2 – Класифікація насосів

В динамічних насосах рідина рухається під силовим впливом в камері постійного об'єму, яка з'єднана з підвідним та відвідним пристроями. В



залежності від виду силового впливу на рідину, динамічні насоси діляться на лопатеві насоси та насоси тертя.

Об'ємні насоси працюють за принципом витіснення рідини з камери за рахунок зменшення її об'єму. Періодичне зменшення об'єму камери відбувається за рахунок зворотно-поступального або обертального руху робочого органу насоса.

Часто для приводу систем міського водопостачання використовуються АД великої потужності та напругою живлення більшою 1000 В. Припустима кількість пусків за рік і за термін служби, допустиме зниження напруги живлення при пуску, кількість послідовних пусків з холодного та гарячого станів, можливість пуску двигунів під навантаженням, тривалість інтервалів між пусками, гранично допустимі моменти інерції веденого механізму повинні встановлюватися у стандартах або технічних умовах на двигуни конкретних типів. Двигуни з діаметром осердя статора більшим 1 м та двигуни потужністю більшою 1000 кВт повинні мати для контролю теплового стану обмотки та осердя статора вбудовані термодетектори опору за ГОСТом 6651-84 або технічними умовами на перетворювачі конкретних типів. Необхідність та способи теплоконтролю інших двигунів встановлюють у стандартах або технічних умовах на двигуни конкретних типів. Для двигунів встановлюють такі показники надійності: термін служби до капітального ремонту – 5 років; коефіцієнт готовності – не менше 0,99; повний термін служби – 20 років; середнє значення напрацювання на відмову – не менше 12000 год [10].

Технологічна схема системи міського водопостачання зображена на рис. 1.3. Водозабір здійснюється із природного джерела води - річки, із водоймища на відстані від берега 300 м. і на глибині 11 м., яке є глибинним забором води. Насосна станція I підйому подає воду по трьох водоводах діаметром 1100 мм. на очисні спорудження. Добовий обсяг становить 144 тис. кубометрів. Після очисних споруджень вода подається в резервуари чистої води, а далі у дві міські магістралі насосною станцією II підйому

загальною продуктивністю 5200 кубометрів у годину й тиском від 5,8 до 6 кг/см<sup>2</sup>. З метою запобігання гідравлічних ударів і вирівнювання тисків водопровідні магістралі на своєму шляху мають з'єднання один з одним за допомогою запірних арматур. У високій точці міста - районі водоканалу - розташовані три ПНС[8,9,10].

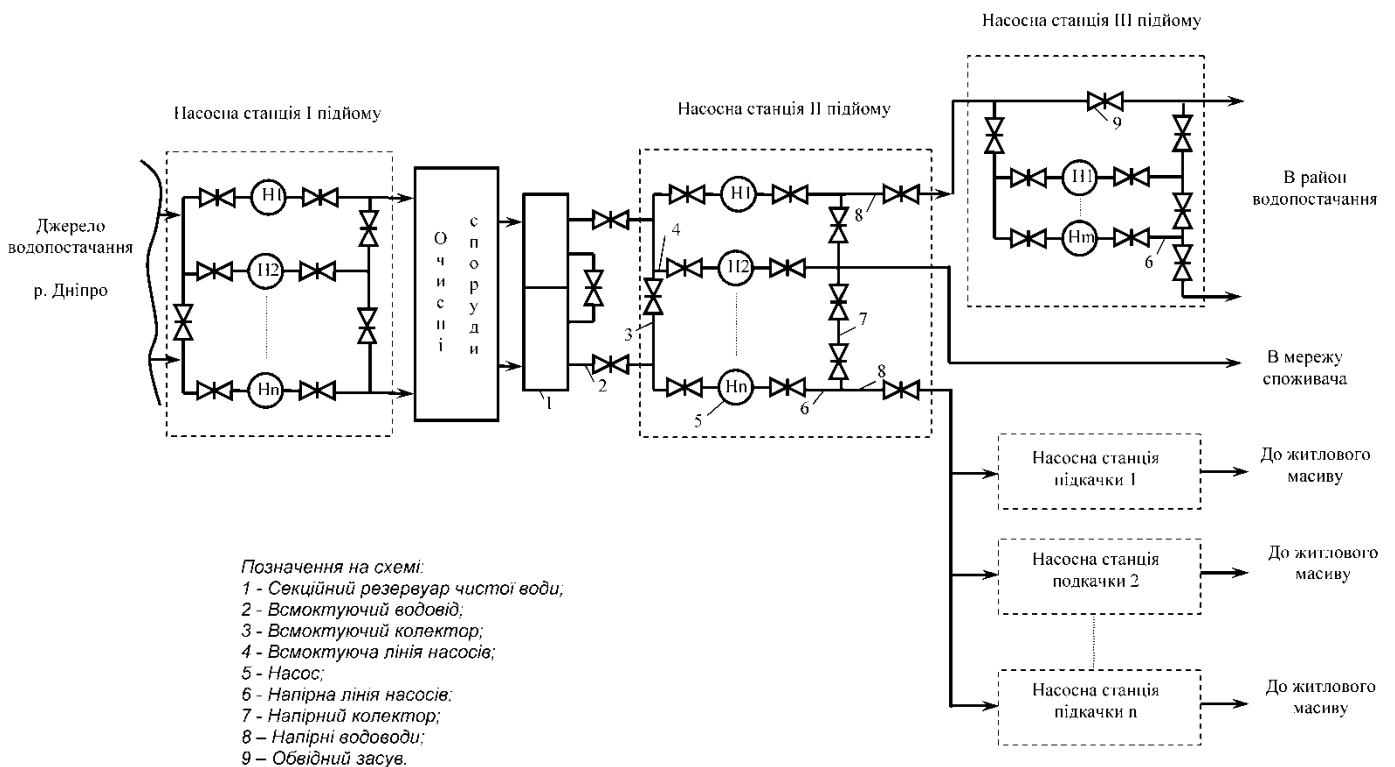


Рисунок 1.3 - Технологічна схема системи міського водопостачання

## 1.2 Опис роботи насосних агрегатів

Насосні станції систем водопостачання та каналізації представляють собою комплекс споруд і обладнання, які забезпечують водопостачання чи водовідвід у відповідності з потребами споживача. Склад споруд, їх конструктивні особливості, тип та число основного та допоміжного обладнання визначається з принципів комплексного використання водних ресурсів і охорони природи з урахуванням призначення насосної станції і технологічних вимог, які висуваються до неї[11].

Розрізняють чотири основних режими роботи насосних установок [11,12]:

- Нерівномірний режим, який характерний для роботи постійно увімкненого насосу до мережі без регулюючої ємності (резервуару) в системі з нерівномірним у часі споживанням (надходженням) рідини. В цьому режимі роботи насосної установки, робоча точка на характеристиці насоса може переміщуватись від режиму, який відповідає нульовій подачі, до точки максимальної подачі насосу.
- Рівномірний режим, який досягається при нерівномірному споживанні рідини в системі за рахунок встановлення регулюючої ємності, яка розрахована на сприйняття різниці подачі насосів та споживання (надходження) рідини в системі. При даному режимі роботи насосу і наявності напірного бака, ККД насосної установки приблизно дорівнює ККД в оптимальному режимі.
- Повторно-короткочасний режим який характеризується періодичним ввімкненням та вимкненням насосу з частотою, яка залежить від ємності бака гідроакумулятора, подачі насоса та споживання (надходження) рідини у системі. При повторно-короткочасному режимі, насос працює зі змінною подачею протягом кожного циклу, але подача змінюється в більш вузькій області ніж у змінному режимі.
- Змінний режим, який досягається за рахунок зміни подачі насосу у відповідності зі зміною споживання (надходження) рідини в системі. Показники роботи насосної установки, яка працює в змінному режимі, залежать від способу регулювання подачі насосу.

Насосні станції класифікують за призначенням, за розташуванням машинного відділення відносно рівня землі, за ступенем автоматизації і т.д.

Характеристикою насоса називається графічно виражена залежність основних енергетичних показників від подачі при постійній частоті

обертання вала робочого колеса, в'язкості й щільності рідкого середовища на вході в насос [11,12].

Основні параметри лопатевих насосів подача  $Q$ , напір  $H$ , потужність  $N$ , коефіцієнт корисної дії  $\eta$  й частота обертання вала робочого колеса  $n$  перебувають у певній залежності.

Значення напору, потужності й ККД для ряду значень подачі можуть бути представлені у вигляді системи крапок у координатах  $Q$ - $H$ ,  $Q$ - $N$  и  $Q$ - $\eta$ .

Напірна характеристика нерегульованого насоса описується рівнянням другого ступеня:

$$H = H_0 - R_g \cdot Q^2 \quad (1.1)$$

де  $H$  - напір, що розвивається насосом;

$H_0$  - напір, що розвиває насосом при нульовій подачі;

$R_g$  - внутрішній опір насоса;

$Q$  - продуктивність (подача), що розвиває насосом.

Для регульованого по швидкості насоса:

$$H = H_0 \cdot v^2 - R_g \cdot Q^2 \quad (1.2)$$

де  $v = \frac{\omega}{\omega_0}$  - відносна швидкість обертання насоса;

$\omega$  - поточна швидкість насоса;

$\omega_0$  - швидкість ідеального холостого ходу.

Для насосного агрегату справедливі формули приведення [13]:

$$\frac{Q_1}{Q_{\max}} = \frac{n_1}{n_{\max}} \quad (1.3)$$

де  $Q_1, n_1$  - поточна подача й частота обертання насоса;

$Q_{\max}, n_{\max}$  -максимальні подача й частота обертання насоса.

$$\frac{H_1}{H_0} = \left( \frac{n_1}{n_{\max}} \right)^2 \quad (1.4)$$

$$\frac{N_1}{N_{ном}} = \left( \frac{n_1}{n_{\max}} \right)^3 \quad (1.5)$$

де  $N_1, N_{ном}$  - поточні й номінальна потужності насоса.

Ці формули дають можливість розрахувати основні параметри насоса при різних частотах обертання.

При подачі  $Q$ , м<sup>3</sup>/с,  $m = \rho Q$ , а корисна потужність насоса (робота в 1 с) буде:

$$N_n = \rho g Q H \quad (1.6)$$

Внаслідок немінучих втрат енергії в самому насосі споживана їм потужність повинна бути більше корисної потужності. Ці втрати враховуються коефіцієнтом корисної дії  $\eta$ , собою, що представляє, відношення корисної потужності  $N_n$  до потужності насоса  $N$ [13]:

$$\eta = \frac{N_n}{N} \quad (1.7)$$

Відповідно потужність насоса  $N=N_{\Pi}/\eta$ . підставляючи значення  $N_{\Pi}$  з формули (1.7), одержуємо:

$$N = \frac{\rho g Q H}{\eta} \quad (1.8)$$

### 1.3 Способи регулювання режимів роботи насосних установок

В разі доволі часті зміни режимів водопостачання доводиться оперативно регулювати режими роботи насосних установок. Таке регулювання може здійснюватися зміною кількості робочих агрегатів, зміною гідравлічної схеми насосної установки, дроселюванням напірних ліній, зміною частоти обертання робочих коліс всіх або окремих насосів, шляхом скидання частини води з напірних комунікацій до всмоктуючих.

Для можливості регулювання характеристики, насосні установки можуть включати в себе декілька насосних агрегатів, які з'єднуються паралельно або послідовно, або змішаним способом. За допомогою комбінації різних типів з'єднання декількох насосів і змінюючи число працюючих насосів можна змінювати сумарну напірну характеристику насосної установки. При виборі насоса чи групи насосів, які включаються в роботу, при даному способі регулювання, необхідно враховувати значення та характер зміни подач, період роботи установки із заданою подачею та мінімальне число включень та виключень насосних агрегатів при цьому. Однак лише правильний підбір складу працюючих насосів не забезпечує мінімальну витрату електроенергії на перекачку рідини. При різнотипних насосних агрегатах слід, крім того, правильно розділити навантаження між ними та визначити межі їх найвигіднішого використання в усьому діапазоні зміни подач насосної станції. Даний метод регулювання має ступеневий характер зміни продуктивності і тому доцільний лише при тривалому характері зміни навантаження. Також ще одним з недоліків описаного способу керування характеристиками насосної станції є необхідність у приміщенні відносно великої площі для розміщення всіх насосних агрегатів. При визначенні кількості працюючих насосів для забезпечення потрібного значення продуктивності в кожену годину доби, запропоновано враховувати спожиту двигунами насосів електричну енергію, тривалість безперервної роботи агрегатів та кількість реалізованих їхніми двигунами прямих пусків.

Це дає можливість зменшити споживання електричної енергії та продовжити термін роботи системи водопостачання зарахунок рівномірного розподілу між двигунами насосів ресурсу за тривалістю роботи та кількістю прямих пусків[13].

Одним з найбільш поширених методів зміни характеристики мережі є спосіб дроселювання засувкою, яка встановлена на напірній лінії насосу. Даний метод не потребує встановлення додаткового обладнання, що є основною його перевагою. Дросельне регулювання полягає у введенні додаткового опору в напірний трубопровід системи, завдяки чому характеристика  $Q-H$  мережі стає більш крутою і змінює робочу точку рухаючись по напірній характеристиці насоса до необхідного значення подачі  $Q$ , як це показано на графіку рис. 1.4, де  $Q-H_{тр}$  – характеристика трубопроводу без додаткового обору (засувка повністю відкрита),  $Q-H'_{тр}$  – характеристика трубопроводу при закритій засувці на половину. Однак при цьому насос розвиває відповідний напір в заданій точці характеристики, який перевищує значення, що потребує системи. Як наслідок, втрачається енергія за рахунок збільшення місцевого опору у засувці. Через такі недоліки як неекономічність та можливість регулювання тільки в сторону зменшення подачі, метод дросельного регулювання можна застосовувати з невеликими насосними агрегатами, які мають плавну характеристику та в тому випадку, коли регулювання необхідне протягом короткого часу[13,14].



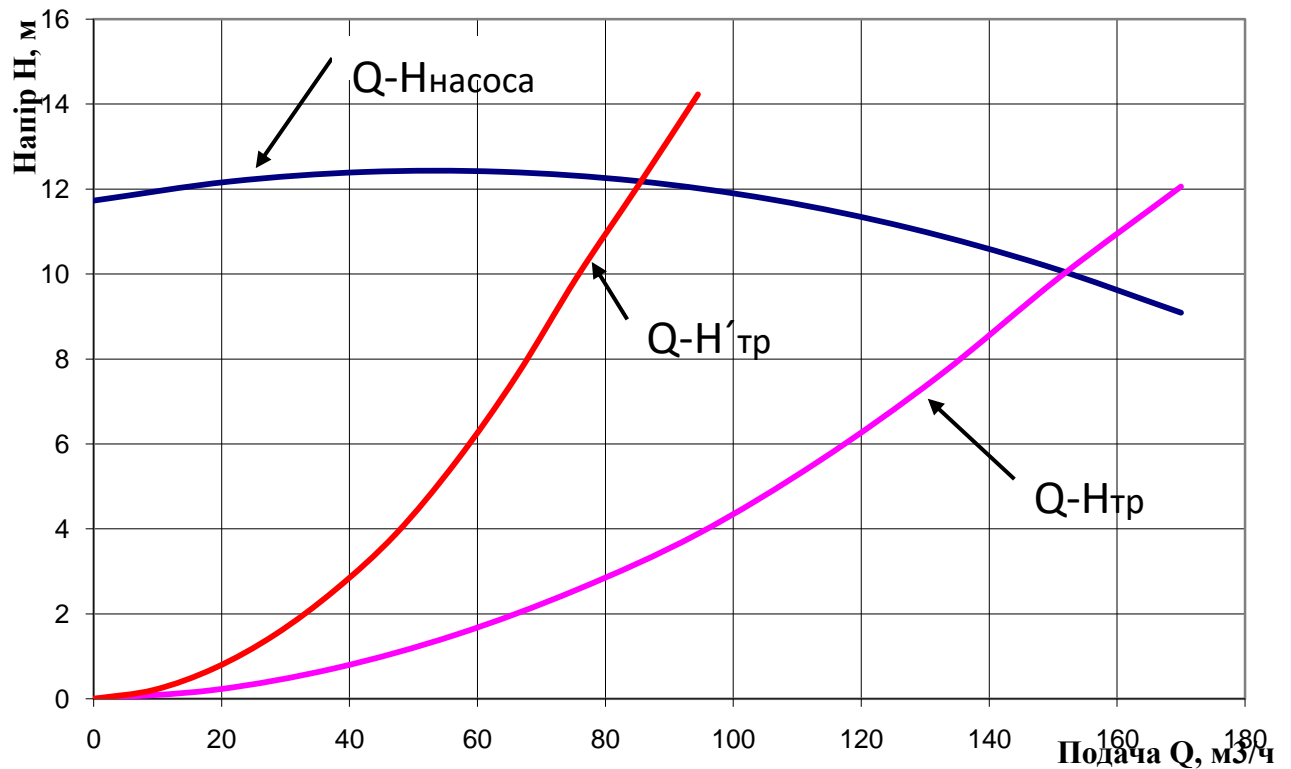


Рисунок 0.3 – Характеристики системи при регулюванні шляхом дроселювання

Ефективність у роботі насосного агрегата досягається підтриманням максимального значення його ККД. Останнє забезпечується застосуванням частотного способу регулювання. Регульовані електроприводи насосів дозволяють оптимізувати їхню роботу в різних режимах, забезпечують плавний пуск, безступінчасте регулювання швидкості, роботу з необхідною швидкістю, високі енергетичні показники електроприводу (ККД, коефіцієнт потужності). Це дозволяє досягти підвищення якості та ефективності роботи системи водопостачання. В порівнянні з регульованими приводами постійного струму, частотно-регульовані електроприводи дозволяють скоротити витрати на експлуатацію, оскільки будуються на асинхронних двигунах. Сучасні частотно-регульовані приводи, які мають внутрішню мікропроцесорну систему управління і оснащені стандартизованими інтерфейсами, надають інформацію про енергетичні (потужність, споживана електроенергія, коефіцієнт потужності, струми і напруга), виробничі (тривалість роботи, час пуску, час зупинки, аварійні ситуації) і технологічні

(витрати, тиск, температура, відхилення поточного значення контрольованого параметра від заданого) параметри роботи самого приводу і технологічного устаткування[15].

Розглянуті способи регулювання хоча і знижують витрату електроенергії але не забезпечують мінімально можливого її використання і мають обмежену область застосування. Більш високу ефективність забезпечують способи регулювання, які полягають в зміні частоти обертання робочого колеса відцентрового насосу. Робота насосу зі змінною частотою обертання робочого колеса забезпечує підтримку мінімальних значень напору на виході насосної установки в усьому діапазоні змін її подачі. Це досягається завдяки тому, що робота насосу на різних частотах обертання робочого колеса забезпечує переміщення робочої точки насосу по характеристиці трубопроводу, а не насосу, як це видно з графіка на рис. 1.5. Тобто надлишковий напір в даному випадку відсутній. Завдяки ліквідації перевищення напору, витрата електроенергії насосної станції зменшується до можливого мінімуму[16].

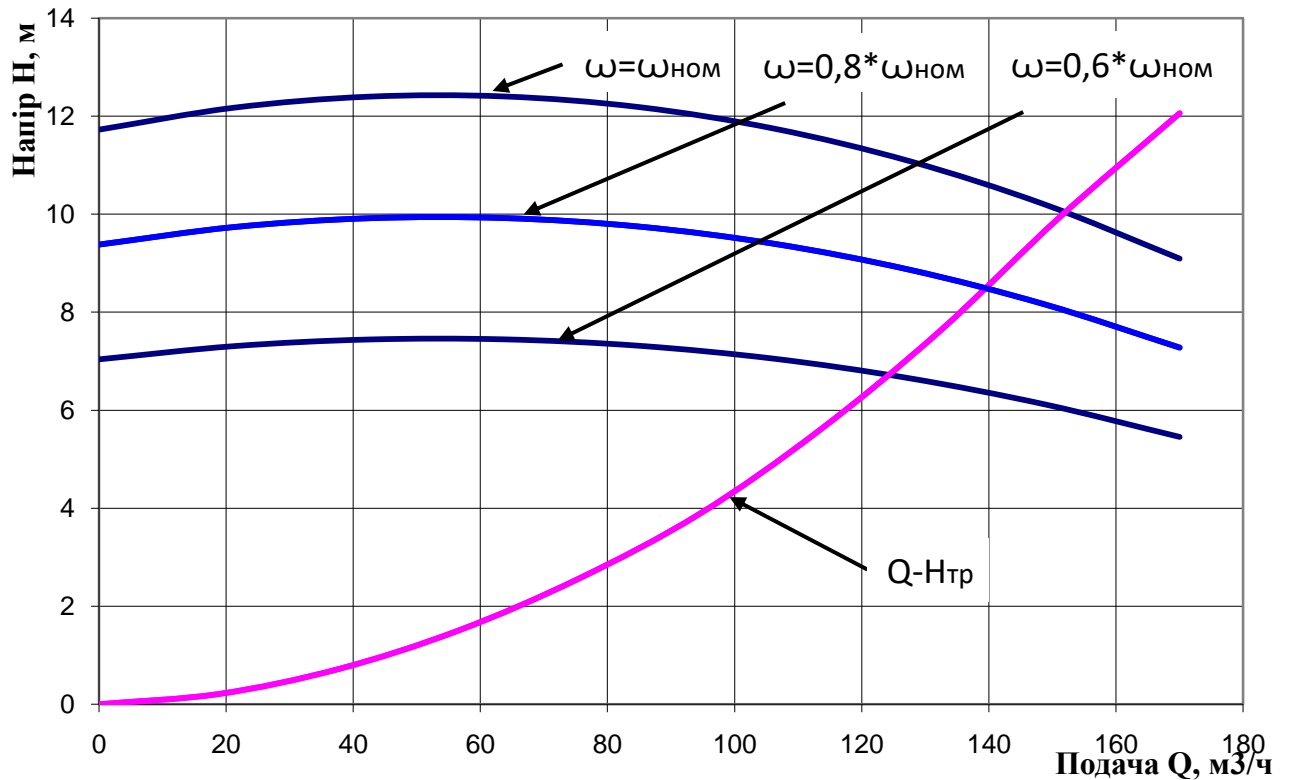


Рисунок 1.5 – Характеристики системи при регулюванні шляхом зміни швидкості обертання

Найефективнішим способом регулювання швидкості обертання робочого колеса насоса є використання регульованого електроприводу. Цей метод, у порівнянні зі зміною гідравлічних параметрів трубопроводу чи насоса, дає можливість розширити діапазон регулювання продуктивності насосного агрегату за суттєвого зменшення споживання його двигуном електричної енергії. Не дивлячись на порівняно високу вартість перетворювального обладнання, його термін окупності незначний і може становити декілька місяців [14,16].

#### 1.4 Регулювання продуктивності НС

Режим роботи насоса визначає режим водоспоживання.

Графік зміни добового споживання води 9-поверхового будинку представлений на рисунку 1.6. Мінімальне споживання води  $Q_{\min}=0,67 \text{ м}^3/\text{ч}$ , максимальне  $Q_{\max}=4,3 \text{ м}^3/\text{ч}$ . Найбільше споживання води відбувається в період часу з  $t_1=4$  год до  $t_2=10$  годі з  $t_3=16$  до  $t_4=19$  год.

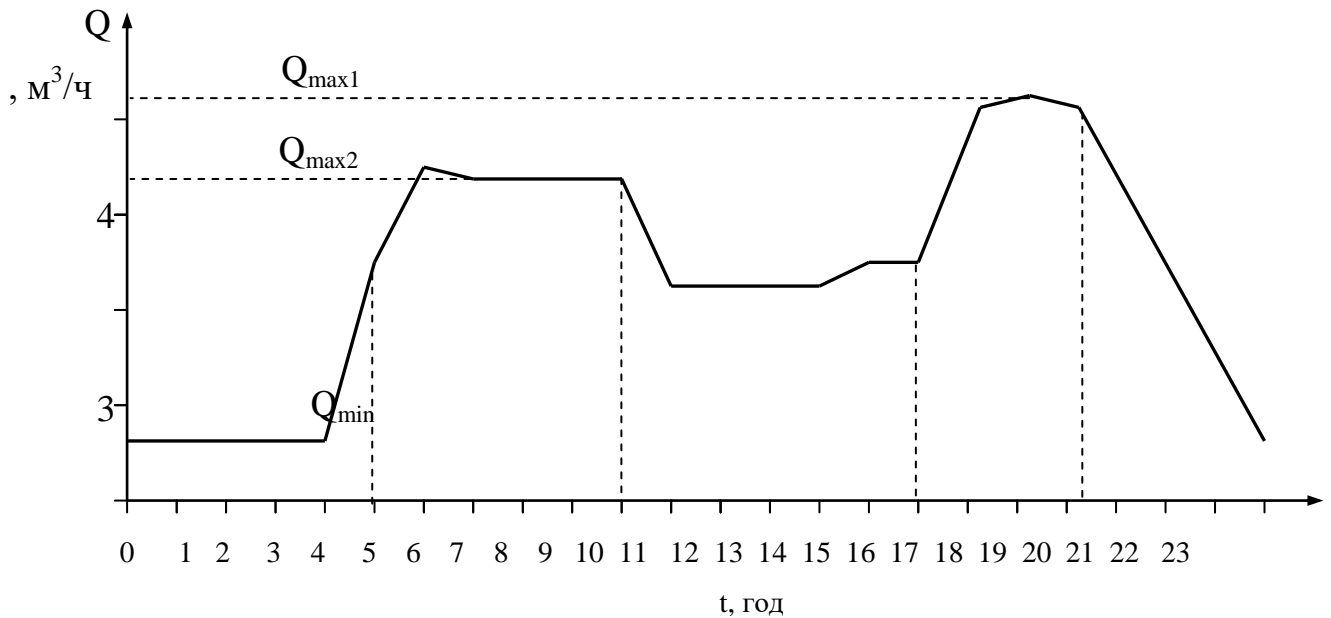


Рисунок 1.6 Графік зміни водоспоживання будинком протягом доби

Подача відцентрового насоса залежить від напору й, отже, у більшості від гідравлічного опору [13]. Тому система "насос - трубопровід" повинна розглядатися як єдина система, а вибір насосного встаткування й трубопроводів повинен розглядатись на підставі розрахунку спільної роботи складові системи[14].

Спільна робота насосів і мережі характеризується точкою матеріальної й енергетичної рівноваги системи. Для визначення цієї точки необхідно обчислити енергетичні витрати в системі "водоводи - мережа"  $Q_p$  і  $H_{тр}$ . Спільна робота насосів і трубопроводів зв'язана наступними залежностями:

$$H = f(Q_p); h_{\bar{6}} = G(Q_{p,q}); h = j(Q), \quad (1.9)$$

де  $Q$  - розрахункова витрата в трубопроводі;

$Q_p$  - подача води насосом;

$q$  - витрата води в системі;

$H$  - напір насоса;

$h_0$  - рівень води в баку водонапірної башти;

$h$  - гідравлічний опір водопроводів і мережі.

Аналітичний розрахунок режимної точки роботи насоса - досить трудомісткий процес, тому що доводиться оперувати чотирма змінними величинами  $Q_p$ ,  $H$ ,  $q$  і  $h$ , які перебувають між собою у функціональній залежності[17].

При розрахунку системи "насос - водогінна мережа" використовують метод послідовного наближення або роблять розрахунок на електронно-обчислювальних машинах. Однак, ці обчислення не дають наочності, і аналіз роботи насоса досить утруднений. У практиці гідравлічного розрахунку насосних станцій і при аналізі режимів роботи насосів широко застосовується метод графоаналітичного розрахунку спільної роботи системи "насос-мережа".

Насоси в системі працюють відповідно до характерного для них залежністю між  $Q$  і  $H$ , тобто графік роботи насоса визначається його характеристикою  $Q-H$ .

Для побудови графічної характеристики системи подачі й розподіли води скористаємося відомими рівняннями гідравліки. Необхідний напір у системі дорівнює сумі геометричної висоти підйому рідини й втрат напору[17]:

$$H_{mp} = H_c + h_{w,вс} + h_{w,н} + h_{w,в} + h_{w,с}, \quad (1.10)$$

де  $H_c$  - геометрична висота підйому рідини;

$h_{w,вс}$  - втрата напору в усмоктувальному трубопроводі;

$h_{w,н}$  - втрати напору в напірних комунікаціях насосної станції;

$h_{w,в}$  - втрати напору в напірних водоводах від насосної станції до Точки приєднання до мережі;

$h_{w,с}$  - втрати напору в магістральній мережі.

Втрати напору в трубопроводах складаються із втрат на подолання тертя при русі рідини по трубопроводу  $h_l$  і втрат на подолання опорів у його фасонних частинах (місцевих опорів)  $h_m$ , тобто.

$$h_w = h_l + h_m \quad (1.11)$$

Гідравлічні втрати по довжині трубопроводу можуть бути визначені по формулі[18]:

$$h_l = \lambda \frac{l}{D} \frac{v^2}{2g} \text{ або } h_l = k \frac{Q^2 l}{D^5}, \quad (1.12)$$

де  $l$  - довжина трубопроводу, м;

$D$  - розрахунковий внутрішній діаметр труби, м;

$v$  - середня швидкість руху води, м/с;

$Q$  - подача, м<sup>3</sup>/с;

$g$  - прискорення вільного падіння, м/с<sup>2</sup>;

$\lambda$  та  $k$  - коефіцієнти втрат напору.

Значення втрат напору в комунікаціях насосної станції, обчислені по формулі (1.12), досить значно розходяться з експериментальними даними.

Дослідження гідравлічних опорів у комунікаціях насосної станції показують, що відхилення фактичних втрат напору від розрахункових залежить від виду й взаємного розташування місцевих опорів і відстані між ними, виготовлення насонних частин, способу з'єднання трубопроводу й фактичного діаметра комунікацій. На підставі рекомендується визначати величини втрат напору в місцевих опорах методом накладення[15,17].

У напірних водоводах і мережах магістральних трубопроводів звичайно визначають тільки втрати напору на тертя по довжині трубопроводу, тому що місцеві втрати у насонних частинах й арматурах у цих мережах відносно малі. Однак, останні дослідження показали, що місцеві опори варто враховувати, приймаючи їх у розмірі 5-10% втрат по довжині.

### 1.5 Постановка задачі та визначення вихідних даних

На сьогодні реальним об'єктом будівництва, який потенційно знаходиться в пошуку вирішення проблеми водопостачання та водовідведення, є ЖК «GREEN'S», який розташовується за адресою місто Винниця, вул. Генерала Арабея. Будинок перебуває в стані будівництва та потребує в розробці комунікаційних систем.

Отже, об'єктом для встановлення автоматизованої системи управління насосною станцією є 2 житлових дев'ятиповерхових будинки, кількість квартир якого становить 196. Кожна квартира оснащена індивідуальним опаленням та системою підігріву води. Це означає, що насосна станція будинку працюватиме на подачу лише холодної води до споживачів.

Система автоматичного управління насосною станцією повинна забезпечувати підтримання постійного тиску та напору води в мережі. Підтримання постійного тиску у водоводі здійснюється за допомогою регулювання частоти обертання робочого колеса насоса, що забезпечує

частотно регульований електропривід кожного насосу з контуром зворотного зв'язку за тиском від відповідного датчика встановленого на вихідній магістралі насоса. Система також контролює рівень тиску вхідної магістралі насоса з метою попередження роботи насосів за відсутності води – захист від «сухого ходу». Контроль здійснюється за допомогою реле тиску встановленого на вхідній магістралі насосу[18,19].

### 1.6 Висновок до розділу

В розділі розкрито загальні відомості про механізм насосу, їх класифікація, конструкція, сфери застосування та методи регулювання. Розглянуто режими роботи насосних станцій водопостачання. Також наведено основні вимоги до електроприводу та системи керування насосами і насосними станціями, які необхідно враховувати при проектуванні автоматизованої електромеханічної системи управління водопостачання.

З проведеного аналізу методів керування насосними станціями можна зробити висновок, що найефективнішим способом регулювання швидкості обертання робочого колеса насоса є використання регульованого електроприводу. Цей метод, у порівнянні зі зміною гідравлічних параметрів трубопроводу чи насоса, дає можливість розширити діапазон регулювання продуктивності насосного агрегату за суттєвого зменшення споживання його двигуном електроенергії. Не дивлячись на порівняно високу вартість необхідного обладнання, він є економічно вигідним для розв'язку поставленої задачі.



## РОЗДІЛ 2 ІНСТРУМЕНТИТА ОБЛАДНАННЯ ДЛЯ РОЗРОБКИ СИСТЕМИ УПРАВЛІННЯ ВОДОПОСТАЧАННЯ

### 2.1 Моделювання регульованого електропривода

Найефективнішим способом регулювання швидкості обертання робочого колеса насоса є використання регульованого електроприводу. Цей метод, у порівнянні зі зміною гідравлічних параметрів трубопроводу чи насоса, дає можливість розширити діапазон регулювання продуктивності насосного агрегату за суттєвого зменшення споживання його двигуном електроенергії.

Функціональна схема замкнутої системи автоматичного керування ПЧ-АД показана на рисунку 2.1.

Забір води виробляється з магістралі, далі насос  $N$  подає воду до споживача. На напірному трубопроводі встановлений датчик тиску ДТ, за допомогою якого інформація про поточний напір надходить у пристрій порівняння ПП. У пристрій порівняння також надходить сигнал завдання необхідного напору  $N_{\text{зад}}$ . При зміні режиму споживання споживачем з'являється різниця сигналів дійсного й напорів, що задає, пристрій порівняння подає керуючий сигнал  $U_y$  на перетворювач частоти ПЧ, у результаті чого змінюється швидкість асинхронного двигуна АД отже й насосу. Напір у нагнітальному трубопроводі приводиться у відповідність із заданим значенням.

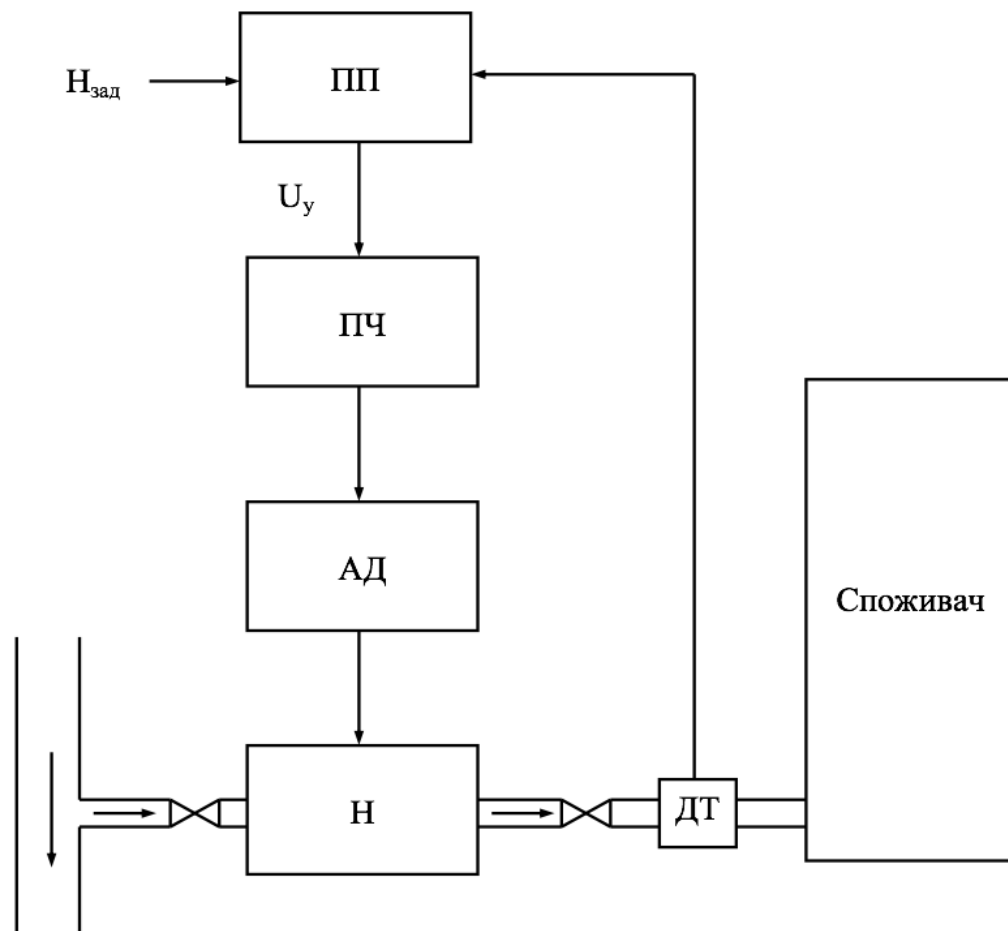


Рисунок 2.1–Функціональна схема автоматичного керування системою водопостачання

## 2.2 Вибір асинхронного двигуна

Напір, який повинен створювати насос визначають за формулою:

$$H = H_{ГВ} + H_{ГН} + h_{ВВ} + h_{ВН}, \quad (2.1)$$

де  $H_{ГВ}$  – геометрична висота всмоктування,  $H_{ГН}$  - геометрична висота нагнітання,  $h_{ВВ}$  - втрати в трубі всмоктування,  $h_{ВН}$  - втрати в трубі нагнітання.

Корисна потужність насоса – потужність яка передається переміщуваній рідині[20]:

$$N_k = Q \cdot p, \text{Вт} \quad (2.2)$$

де  $p$  – тиск (напір) в Па,  $Q$  – подача в м<sup>3</sup>/с.

Якщо користуватися прийнятими у практиці одиницями подачі в м<sup>3</sup>/год, напору в м, то формула прийме вигляд:

$$N_k = 0.0027Q \cdot H, \text{кВт} \quad (2.3)$$

Потужність, яку споживає насос від двигуна, дорівнює[21]:

$$N = \frac{N_k}{\eta_{\text{н}}} \quad (2.4)$$

ККД насоса враховує гідравлічні, об'ємні і механічні втрати потужності. Гідравлічні втрати – це втрати на подолання гідравлічного опору при руху рідини від входу до виходу з насосу, об'ємні втрати – це втрати від перетікання частини рідини з області високого тиску в область зниженого тиску та від протікання через сальники, механічні втрати складаються з втрат на тертя. ККД серійних насосів тримається на рівні 0,6...0,92.

Потужність двигуна для насоса завжди більша потужності насоса. Коефіцієнт запасу залежить від потужності насоса [21]. Рекомендується вибирати такі значення  $K_{\text{зап}}$ :

для  $N \leq 2 \text{кВт}$  -  $K_{\text{зап}} = 1,5$ ;

$2 \text{кВт} < N < 5 \text{кВт}$  -  $K_{\text{зап}} = 1,5 \dots 1,25$ ;

$5 \text{кВт} < N < 50 \text{кВт}$  -  $K_{\text{зап}} = 1,25 \dots 1,15$ ;

$$50\text{кВт} < N < 100\text{кВт} - K_{\text{зап}} = 1,15 \dots 1,05;$$

$$N > 100\text{кВт} - K_{\text{зап}} = 1,05.$$

Електричний двигун підбирається за частотою обертання, робочим положенням (горизонтальне, вертикальне), потужністю, напругою і типом виконання. Для електроприводу відцентрових насосів застосовують синхронні і асинхронні двигуни. У переважній більшості випадків вали насосів і двигунів з'єднуються напряму без варіаторів частоти обертання за допомогою пружних муфт.

Визначення необхідної потужності приводного двигуна здійснюється на основі отриманих вимог електромеханічної системи. За (2.3) для заданої подачі  $Q=150 \text{ м}^3/\text{год}$  і напору  $H=10 \text{ м}$  [21]:

$$N_k = 0.0027 \cdot 150 \cdot 10 = 4.05 \text{ кВт} \quad (2.5)$$

Потужність, яку споживає насос від двигуна:

$$N = \frac{4.05}{0.8} = 5.06 \text{ кВт} \quad (2.6)$$

Враховуючи коефіцієнт запасу, потужність двигуна насоса:

$$P = 5.06 \cdot 1.25 = 6.33 \text{ кВт} \quad (2.7)$$

Згідно отриманого значення потужності двигуна, з довідника **[Ошибка! Источник ссылки не найден.]**обираємо асинхронний двигун з короткозамкненим ротором типу 4A132S4У3.

Для заданого АД розраховуємо параметри номінального режиму та параметри схеми заміщення. Вихідні дані для розрахунку параметрів асинхронного двигуна наведені в Таблица 0.1.

Таблица 0.1– Паспортні данні двигуна 4А132S4У3

|                                    |   |
|------------------------------------|---|
| Номінальна потужність              | $P_{2n} = 7.5 \text{ кВт}$              |
| Номінальна лінійна напруга статора | $U_{1n} = 380 \text{ В}$                |
| Кількість пар полюсів              | $p_n = 2$                               |
| Момент інерції                     | $J_d = 0.028 \text{ кг}\cdot\text{м}^2$ |
| Коефіцієнт корисної дії            | $\eta = 0.875$                          |
| Коефіцієнт потужності              | $\cos \varphi = 0.86$                   |
| Перевантажувальна здатність        | $\lambda = 3$                           |
| Номінальне ковзання                | $S_n = 0.029$                           |
| Критичне ковзання                  | $S_k = 0.195$                           |
| Номінальна частота напруги статора | $f = 50 \text{ Гц}$                     |

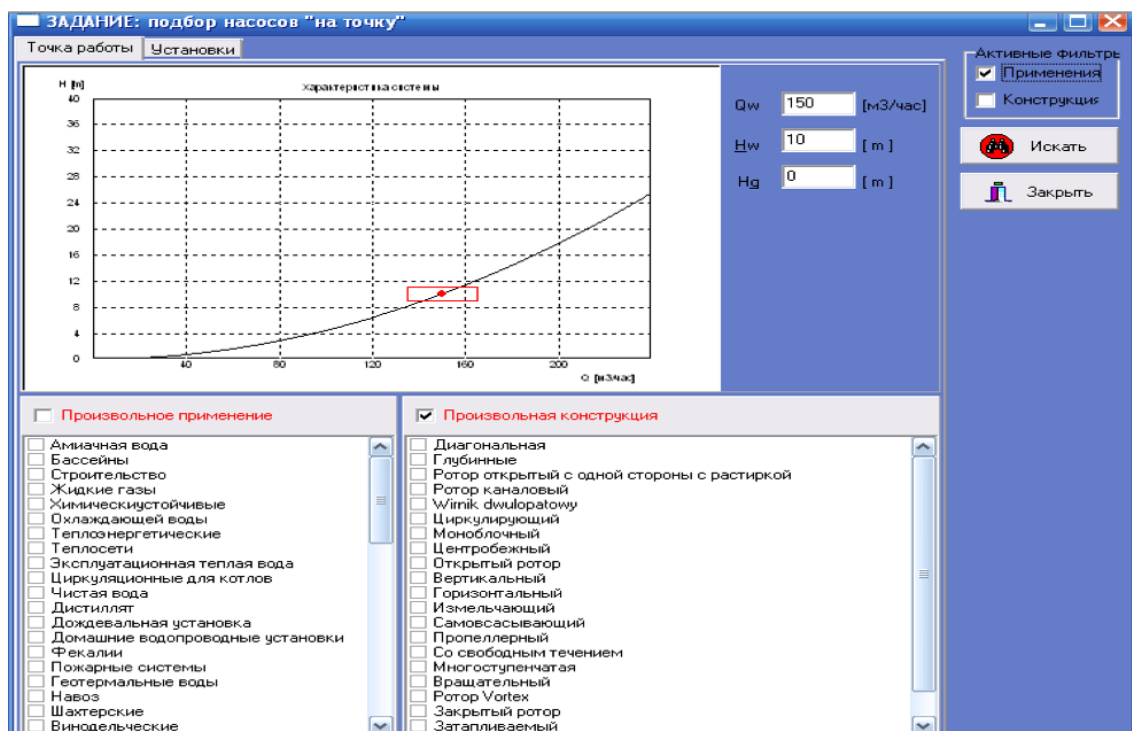


Рисунок 2.2 – Вікно вибору параметрів насосу в програмі HYDRO-VACUUM

Визначення необхідної потужності приводного двигуна можливо здійснювалось за допомогою програми підбору насосів та станцій перекачки "HYDRO-VACUUM S.A."

Дана програма здійснює пошук насосів за заданими продуктивністю  $Q$  та подачею  $H$ . Також для більш точного пошуку можна вказати призначення та конструкцію насосу, як це показано на рис. 2.1.

## 2.2 Вибір засобів керування системи

Програмований логічний контролер (ПЛК) використовується для автоматизації технологічних процесів таких як управління конвеєрною лінією, насосами на станціях водопостачання, верстатами з числовим програмним керуванням тощо. Особливістю ПЛК є значна кількість пристроїв вводу-виводу для датчиків та виконавчих органів, а також можливість надійної роботи в умовах виробництва та агресивного середовища.

Історично першими дискретними схемами автоматики були схеми, побудовані на основі електромеханічних контактних апаратів (реле, контакторів, магнітних пускачів та ін.). Електромеханічні реле почали застосовувати ще наприкінці 19-го сторіччя. З того часу ідея їх побудови не зазнала суттєвих змін. Розквіт релейно-контактної автоматики припадає на 30-ті роки минулого століття. У цей час було створено схеми автоматики, які виконували досить складні завдання автоматичного керування, наприклад, автоматичне завантаження доменної печі, автоматичне керування процесом прокатування металу, керування складними верстатами-автоматами та ін. Проте ускладнення завдань автоматизації потребувало застосування все більшої кількості електромеханічних апаратів, ускладнювало проектування,

виготовлення та експлуатацію схем автоматики, суттєво знижувало їх надійність[22].

Поставлена задача не вимагає від контролера наявності великої кількості аналогових та дискретних входів/виходів і вирішення складних задач комунікації.

З каталогу оберемо програмований контролер серії S7-1200 виробництва SIEMENS. Даний контролер здатен вирішувати задачі логіки, задачі автоматичного регулювання різного роду та керування переміщенням, виконувати математичну обробку інформації. Володіє широкими функціональними можливостями, відрізняється відносно невисокою вартістю і може використовуватись в усіх секторах промислового виробництва, а також в системах автоматизації будівель.

Дана серія контролерів має декілька типів центральних процесорів різної продуктивності на вибір. Розглянемо центральний процесор типу CPU 1211C, який є найпростішим для програмованих контролерів S7-1200. Зовнішній вигляд процесору зображено на рис. 2.3 та схема зовнішніх підключень на рис. 2.4.



Рисунок 2.3 – Зовнішній вигляд процесора CPU 1211C

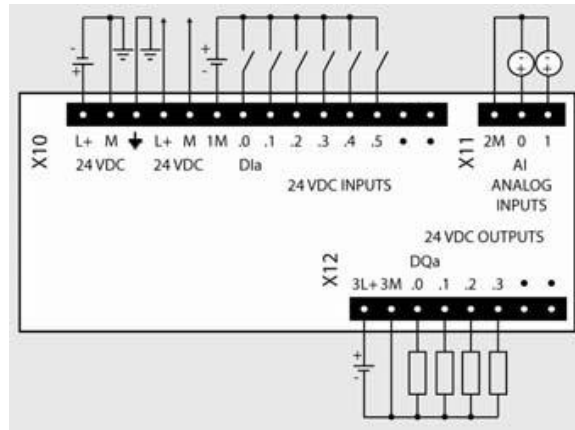


Рисунок 2.4 – Схема підключень зовнішніх кіл процесора CPU 1211C

Контролер оснащений комунікаційною модуль платою для встановлення PtP з'єднань через послідовний інтерфейс RS485, що дозволяє пов'язати контролер з перетворювачами частоти мережевою шиною.

Для виводу текстової інформації та графіків, а також для зручності перевірки оператором коректності роботи, відслідковування аварій та налаштування параметрів системи, контролер доповнюється операторною панеллю[25].

Операторна панель типу KTP 400 Basic mono PN серії Basic Panel виробництва SIEMENS зображена на рис. 2.5 є бюджетним варіантом панелі, яка може використовуватись для вирішення задач оперативного керування і моніторингу на рівні виробничих машин та установок промисловості, а також в системах автоматизації будівель.



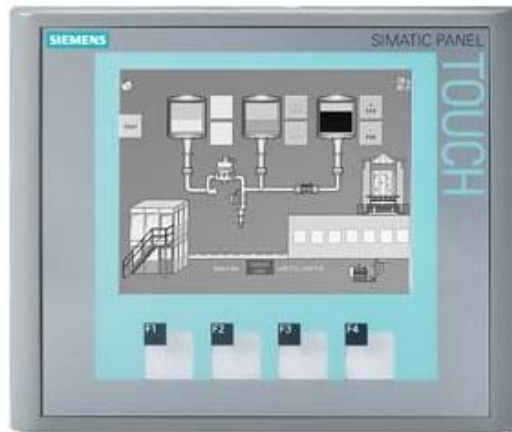


Рисунок 2.5 – Зовнішній вигляд панелі оператора KTP 400 Basic mono PN

Зв'язок між панеллю та процесором контролера здійснюється за допомогою вбудованого інтерфейсу PROFINET.

Процесор контролера має живлення постійною напругою 24В, тому для застосування його в мережі живлення 220В встановлюється блок живлення з перетворення AC220 to DC24 виробництва Meanwel,

На сьогоднішній день існує багато виробників привідної техніки і кожен виробник пропонує користувачеві вибір між безліччю серій та моделей перетворювачів частоти, які розроблялись для певних застосувань. Тому критерієм вибору ПЧ є можливість адаптувати його для роботи з насосним агрегатом, у випадку даної системи, потужністю 7.5 кВт та номінальним струмом двигуна 15 А, наявність цифрових та аналогових входів, а також можливість з'єднати обраний привід через послідовний інтерфейс RS485 з контролером[25].

Серед запропонованих на ринку перетворювачів частоти оберемо привід VLT AQUA Drive FC-202 виробництва компанії Danfoss номінальної потужності 7.5 кВт та струмі 16 А. ПЧ даної серії є вискоефективними приводами управління двигунами змінного струму в системах водопостачання та водовідведення.

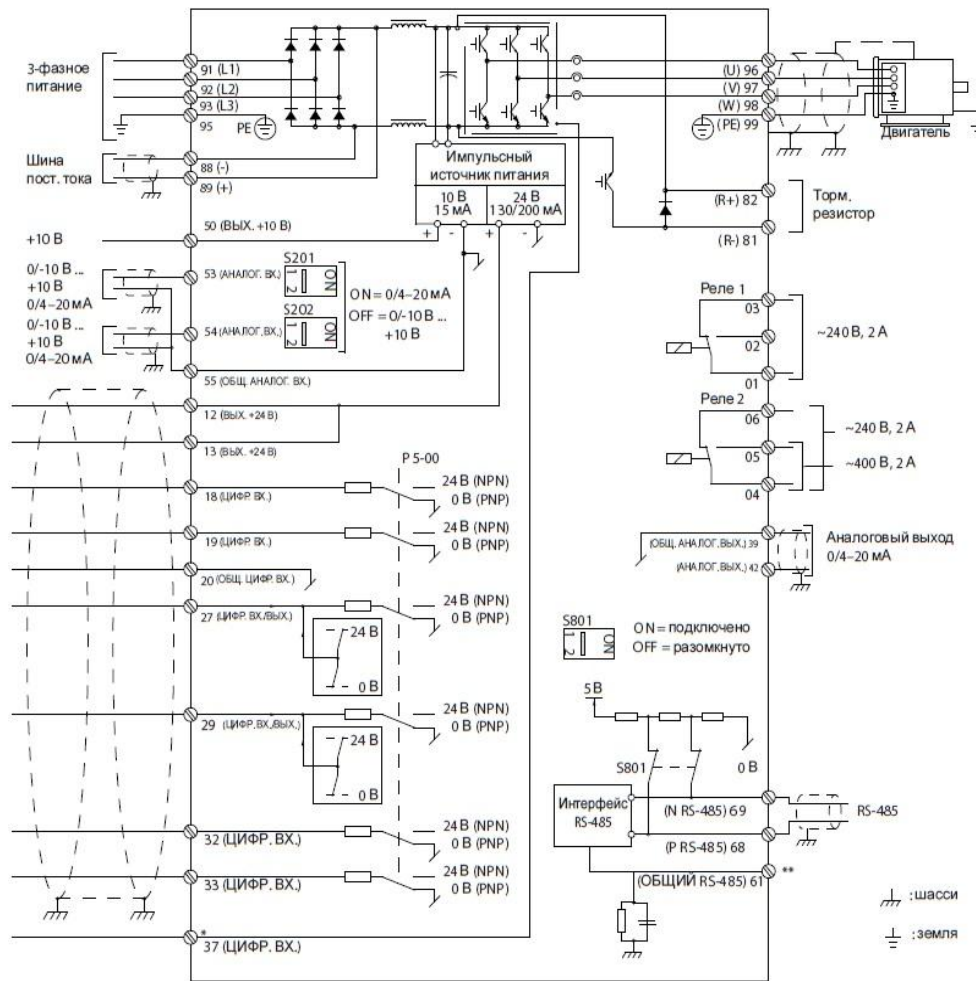


Рисунок 2.6 – Схема основних підключень ПЧ VLT AQUA Drive FC-202

Як видно зі схеми підключень на рис. 2.6, обраний перетворювач частоти має 6 цифрових входів, 2 аналогових входи та 2 програмованих реле, а також вбудований інтерфейс RS 485.

Для контролю тиску на виході насосу, підбирається перетворювач тиску (датчик) за параметром максимально можливого тиску в трубопроводі.

У випадку поставленої задачі, оберемо датчик тиску із запасом з діапазоном вимірювання 0-6 бар виробництва компанії Danfoss серії MBS1700. Компактний перетворювач тиску призначений для використання в якості перетворювача частоти загального призначення і забезпечує надійне вимірювання тиску навіть у складних умовах експлуатації. Даний датчик має вихідний сигнал 4-20мА та підключається до одного з аналогових входів перетворювача частоти[26].

В якості захисного обладнання насосу спрямованого на попередження запуску агрегати при відсутності рідини у вхідному трубопроводі використовуються реле різного типу. Найпоширенішими серед них є реле тиску та реле потоку. Порівнявши середні ціни на ринку одного та іншого приладу, обираємо реле тиску, яке є найпростішим та відносно не дорогим засобом вирішення поставленої задачі. Обираємо реле виробництва компанії Danfoss серії KPI35. Реле призначене для регулювання, поточного контролю та аварійної сигналізації в промисловості. Оснащене однополюсним вимикачем, який замикає або розмикає електричний контур при зміні тиску в системі порівняно із заданим значенням[25,26].

### 2.3 Висновок до розділу

1. Визначено потенціальний об'єкт для впровадження системи автоматичного управління насосною станцією.
2. Розраховано параметри системи водопостачання для подальшого прорахунку необхідного устаткування для системи управління. Розраховано та обрано двигун, використання якого повністю задовільнить потреби водопостачання житлового будинку.
3. Розроблено модель насосної установки та промодельовано її роботу при частотному керування насосним агрегатом.

4. Базуючись на високому рівні розвитку сучасної мікропроцесорної техніки і широкому вибору продукції промислової автомати для комплектації матеріальної частини спроектованої системи керування, обрано необхідне устаткування.

## РОЗДІЛ 3 РОЗРОБКА ПРОГРАМНОГО ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ

### 3.1 Вибір середовища розробки

Робота програмованого контролера полягає в тому, що за допомогою свого процесору він зчитує й виконує записані у запам'ятовуючому пристрої команди, відповідно з якими приймає та обробляє сигнали, які надходять на його входи, і виконує подачу сигналів на необхідні виходи [31].

Найпоширенішими мовами програмування логічних контролерів є LD (Ladder Diagram) — мова релейної логіки, яку зручно використовувати при заміні схем, виконаних за релейною технікою; FBD — функціональні блокові діаграми – графічна мова програмування. Програмування полягає у розміщенні на полі набору логічних блоків I, АБО, НІ, тригерів, таймерів, блоків обробки сигналів та встановлення зв'язків між ними. IL — список інструкцій (команд).

У зв'язку з використанням контролера виробництва компанії Siemens, доцільно використовувати спеціально створене інтегроване середовище розробки програмного забезпечення систем автоматизації технологічних процесів – TIA Portal. Дане середовище використовує мову програмування LD, яка забезпечує наочний інтерфейс логіки роботи контролера, який полегшує не лише завдання для програмування і введення в експлуатацію, але і швидкий пошук несправностей в обладнанні, яке підключається до контролера[32].

### 3.2 Розробка програмної частини

Елементна база мови TIA Portal побудована на контактах, які можна порівняти з парою контактів реле або кнопки. І так само як нормально замкнуті і нормально розімкнуті кнопки в електричних ланцюгах, розрізняються нормально замкнуті і нормально розімкнуті контактні елементи. П – м

$\text{—} | \text{—}$  – позначення нормально розімкненого контакту, який знаходиться у розімкненому стані, доки присвоєна йому змінна не набуде значення true.

$\text{—} | / | \text{—}$  – позначення нормально замкнутого контакту, який навпаки знаходиться у замкненому стані, доки присвоєна йому змінна не набуде значення true.

$\text{—} ( ) \text{—}$  – позначення котушки, значення якої формується підсумком логічного кола.

Для того, щоб зробити програму більш легкою для читання та розуміння, можна розбити її на таку кількість частина, яку бажає користувач. Мови програмування контролера підтримують такий підхід до програмування, забезпечуючи необхідні функції. Кожна така частина програми повинна бути самодостатньою і вирішувати технологічну або функціональну задачу. Такі частини програми називаються блоками [11].

Для великих і складних програм розділення на блоки (структурування) рекомендована і частіше за все є необхідністю. Серед різних типів блоків користувач обирає ті чи інші в залежності від умов застосування[30,31].

Розрізняють чотири типи користувацьких блоків. Організаційні блоки ОВ – тип блоків, які слугують інтерфейсом між операційною системою і програмою користувача. Операційна система викликає ПЛК викликає організаційні блоки при виникненні особливої події, наприклад переривання часу доби. Функціональні блоки FB – блоки, які представляють собою частини програми, виклик яких може бути запрограмований за допомогою

параметрів блоку. Володіють областю пам'яті для змінних, які розміщені у блоці даних. Функції FC – блоки, які використовуються для програмування складних функцій автоматики або для тих, що часто повторюються. Функції можуть назначати параметри та повертати значення до блоку, який викликається. Блоки даних DB – містять дані програми. Програмуючи блоки даних, визначається, в якій формі будуть збережені дані.

Максимальне число для кожного типу блока та розмір цих блоків визначається типом ПЛК. Число організаційних блоків та їх номери фіксовані і назначаються операційною системою.

На Рисунок 3.1 показано алгоритм керування двома двигунами за допомогою функціонального блоку FB10 та двох різних блоків даних. В блоках даних DB10 та DB11 збережено різні дані призначені для відповідних двигунів, наприклад, робоча швидкість, час роботи, швидкість розгону[33].

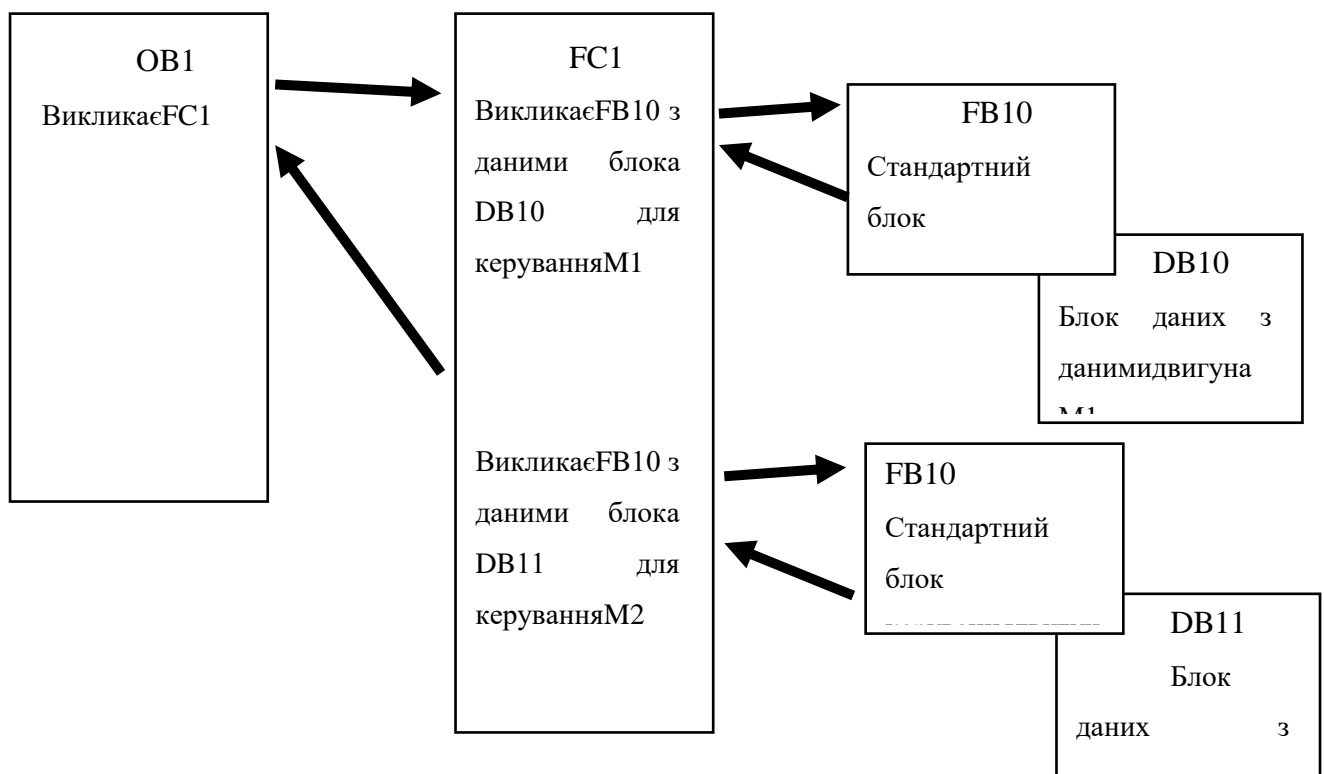


Рисунок 0.1 – Блок схема керування двома двигунами

За допомогою середовища розробки програмного забезпечення ТІА Portal було розроблено програму управління двигунами насосних агрегатів спроектованої системи.

Розглянемо частину розробленої програми для вирішення поставленої задачі. На рис. 3.2 показано складові релейної схеми та блоки, спільна робота яких відповідає за запуск двигуна. Таким чином, сигнал до функціональних блоків роботи двигуна М1, надійде при виконанні наступних умов: перемикач режиму роботи повернуто в положення Автоматична робота («Auto\_P1»), відповідний перетворювач частоти готовий до роботи («Pusk\_FC1») та початково двигун М1 не перебуває у роботі («Work\_M1»). Після виконання перелічених умов, функціональні блоки передають закладену в них програму роботи двигуна до перетворювача частоти за допомогою шини зв'язку Modbus («Data\_modbus»).

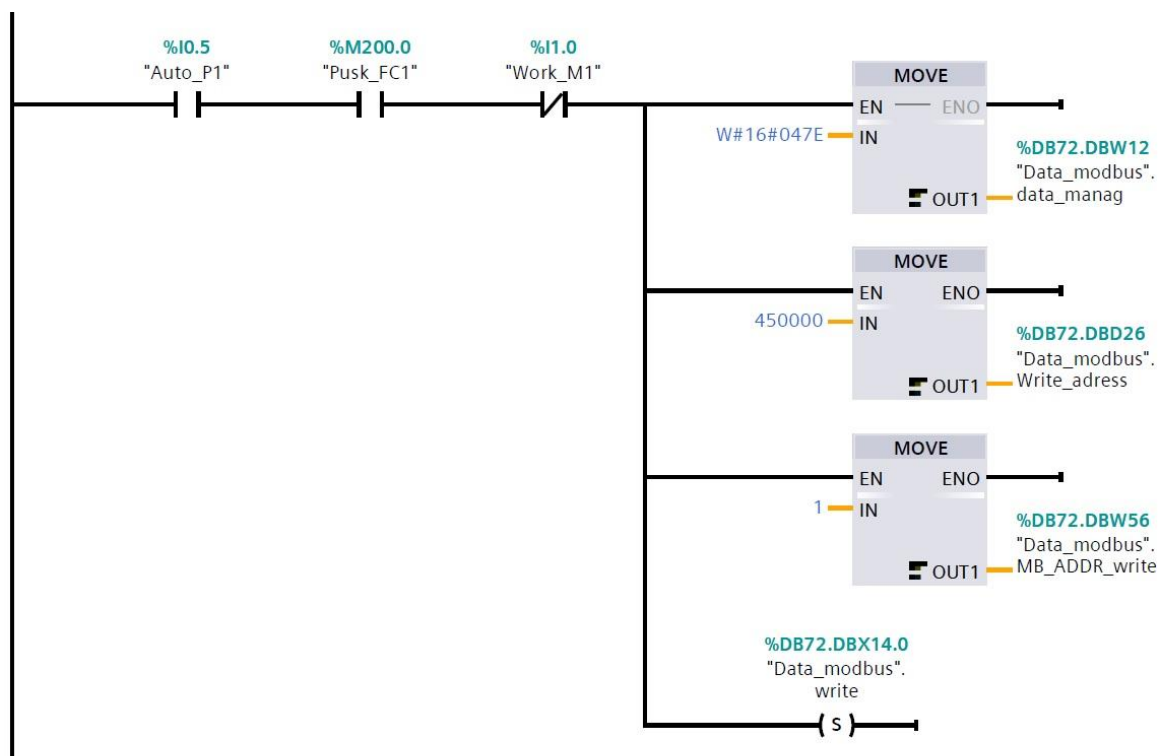


Рисунок 0.2 – Робоча програма контролера (запуск двигуна)



Однак, для звичайного користувача (обслуговуючого персоналу станції) втручання в роботу програми для зміни параметрів або аналізу відпрацьованих процесів, використання програмного забезпечення TIA Portal досить не зручне і вимагає деяких навичок програмування та наявність переносного комп'ютера. Тому, для полегшення процесу налаштування системи після введення її в експлуатацію та наглядного та зрозумілого відображення необхідних показників використовується панель оператора. Зв'язок контролера з панеллю оператора реалізовується за допомогою вбудованого інтерфейсу PROFINET[32].

На рис. 3.3 – 3.5 зображено компіляцію робочої програми відображення виносної панелі. У робоче вікно програми виведено симуляцію роботи панелі, яка дає інформацію про показники стану системи.

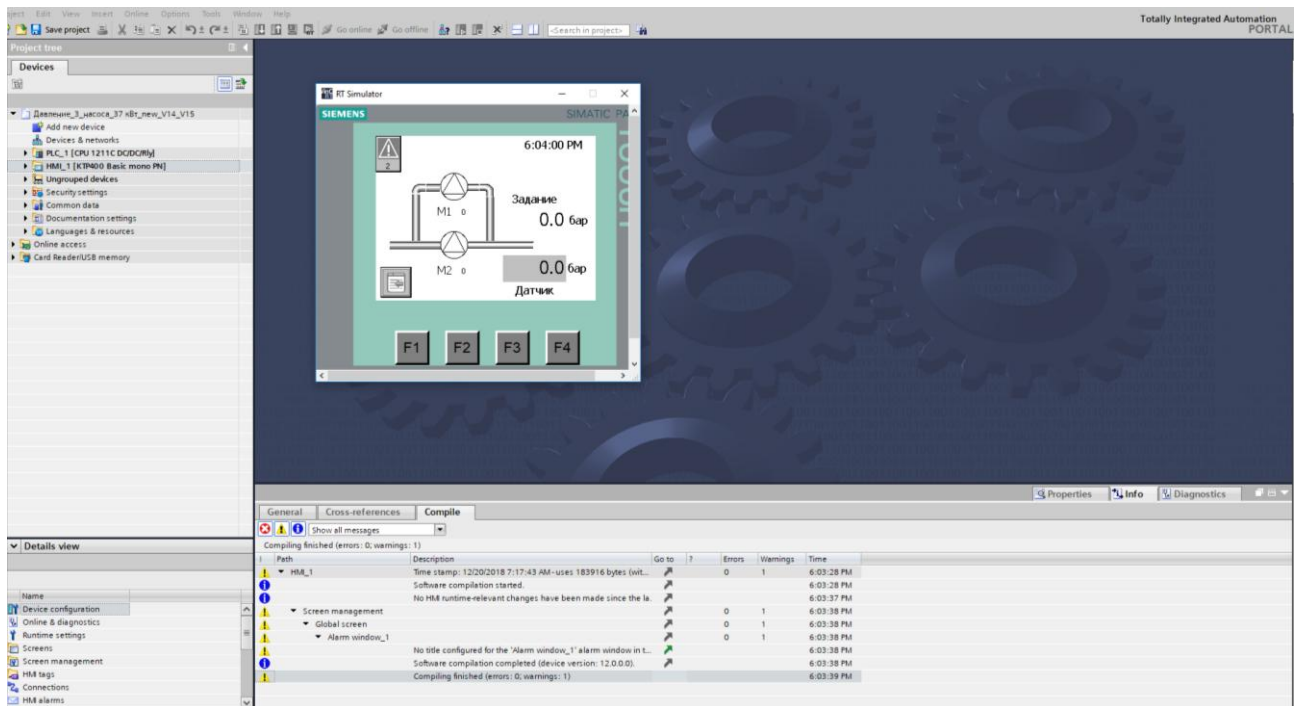


Рисунок 0.3 – Робоче вікно програмного середовища із симуляцією відображення базового зображення панелі оператора

На рис. 3.3 представлено загальний вигляд робочої області середовища розробки програмного забезпечення TIA Portal з виведеним результатом

симуляції головного екрану панелі керування. Як видно, виведене зображення та показники на графічній панелі доволі прості та інтуїтивно зрозумілі.



Рисунок 0.4 – Симуляція роботи панелі оператора для відображення основних показників двигуна насосу

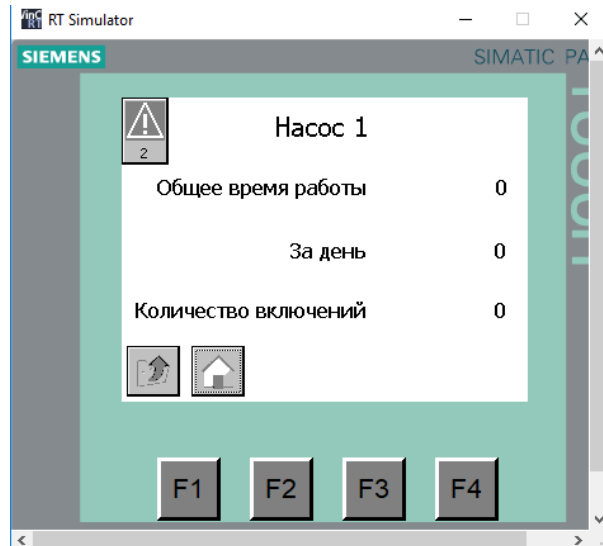


Рисунок 0.5 – Симуляція роботи панелі оператора для відображення напрацьованих годин насосного агрегату

За допомогою вбудованих клавiш панелі оператора, користувач може здійснювати переходи вікон відображень поточних значень необхідних параметрів. Так, наприклад, на рис. 3.4 показано вікно з основними

параметрами двигуна насосу 1, перехід до якого було здійснено з головного вікна панелі натисненням клавіші F1. Далі до вікна «Время работы», вигляд якого зображено на рис. 3.5, можливо перейти шляхом натиснення клавіші F3. Повернення до попереднього вікна здійснюється натисненням клавіші F1.

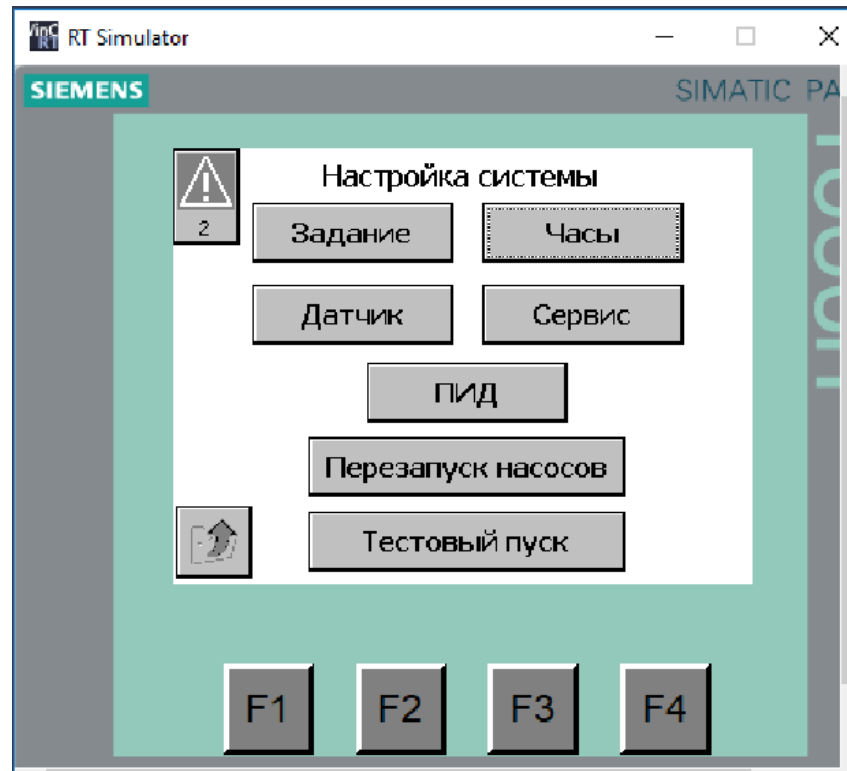


Рисунок 3.6 – Панель налаштування системи

При описі локальних параметрів для завдання практичної роботи, необхідні наступні змінні:

Input:

emergency\_off Тут EMERGENCY OFF функція вводиться

start\_signal Тут вводиться кнопка Старт

safety\_fence\_closed Тут вводиться стан Решітки безпеки

cylinder\_extended Тут, вводиться стан датчика Cylinder Extended

Output:

cylinder\_out\_in Тут, записується стан для вихідного циліндра преса

При реалізації управління роботи пресу використовуються оператори бітової (мулевої) логіки (bit logic operation), що знаходяться в лівій частині програмного середовища в розділі базові інструкції. Оператор – це символ арифметичних і логічних операцій, або виклик функціонального блоку (FB). Оператор S (Set) встановлюється в true вказаний операнд, якщо поточний результат має логічне значення true, і нічого не робить, коли зміст АК рівне false. Оператор R (Reset) скидає зазначену булевої змінної в false, якщо АК має значення true, і нічого не робить в іншому випадку. КОМАНДИ S і R не мають модифікаторів[33].

Після того як оголошені локальні зміни, програма може бути введена за допомогою імен тегів. В перших двох мережах – з інструкцією MOVE або число з плаваючою точкою 0.0 ( $S1 == 0$ ) або 700.0 ( $S1 == 1$ ) копіюється до локального тегу.

В доповнення до дозволяючого входу (enable input) EN і дозволяючого виходу (ENO) блоковий елемент MOVE має вхід IN і вихід OUT. На вхід IN і вихід OUT можна задіяти всі цифрові операнди і цифрові змінні простих типів даних (за винятком BOOL – логічного типу). Змінні входу IN і виходу OUT можуть мати різні типи даних. Блоковий елемент MOVE переміщує інформацію операнда на вході IN в операнд на виході OUT. Блоковий елемент MOVE тільки тоді робить передачу інформації, коли дозволяючий вхід (enable input) дорівнює «1» або не використовується, і коли головне реле управління (master control relay, MCR) не активовано. Якщо EN = «1» і MCR активовано, то на вихід OUT записується нуль. При наявності «0» на дозволяючому вході операнд на виході OUT залишається незмінним. MOVE про помилку не повідомляє[31,33].

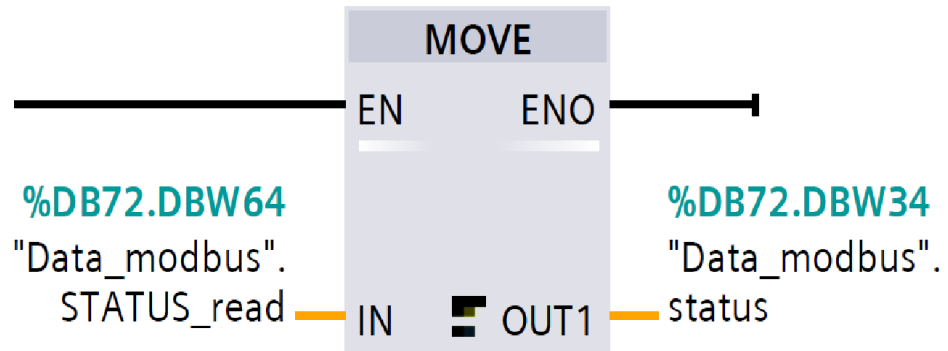


Рисунок 0.6 – Блок Move

Важливим є використання правильного типу даних в реальному масштабі; в іншому випадку, він не буде сумісний в наступній програмі з

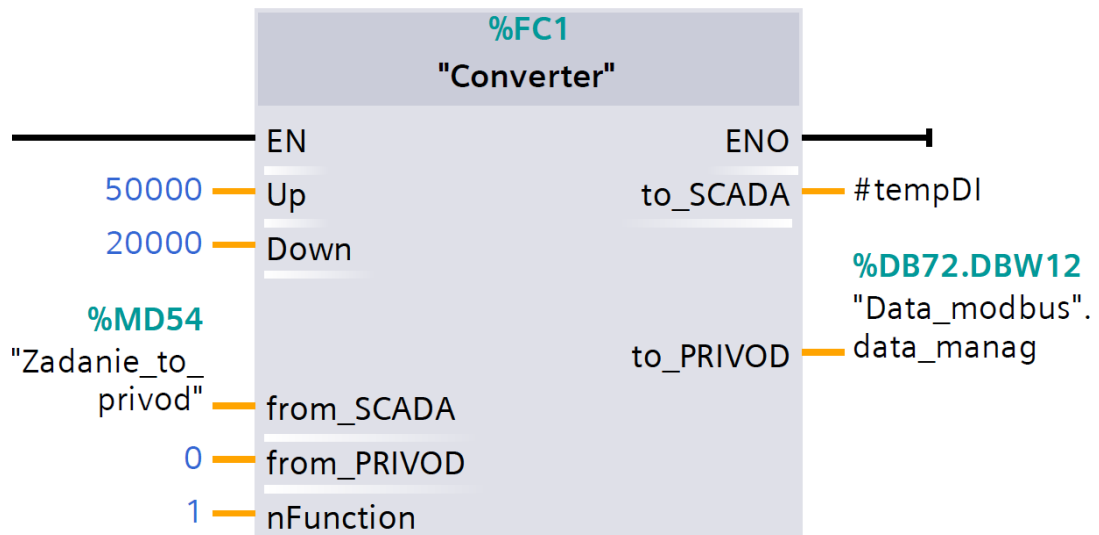


Рисунок 0.7 – Блок FC

блоком ПІД-контролера, що буде використовуватися. Для наочності, всі локальні змінні також повинні бути забезпечені достатнім коментарем.

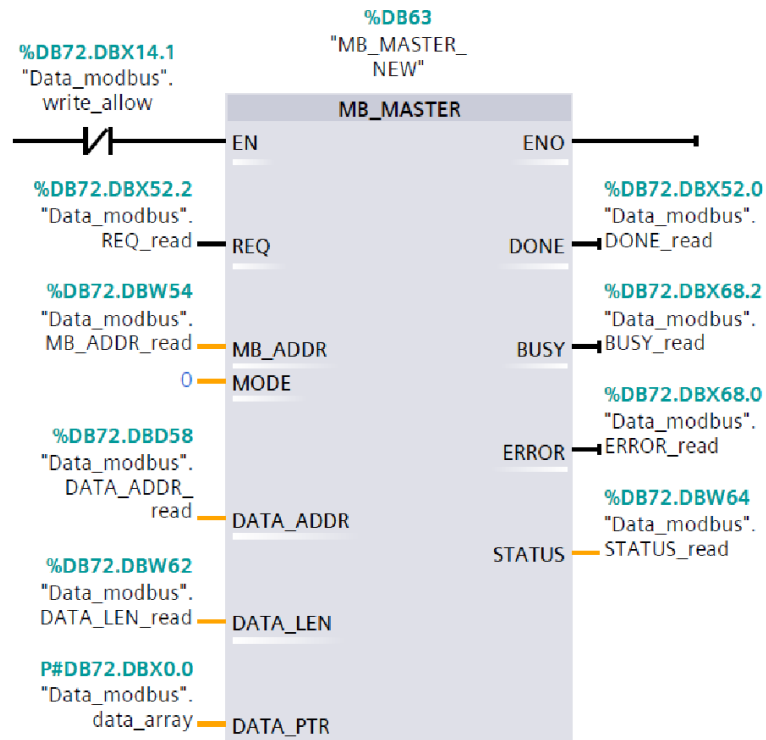


Рисунок 0.8 – Блок DB

Необхідно вибрати “Організаційний блок (OB)”, де вибрати тип циклічне переривання. Як мову програмування, вказати FBD. Номери блоку присвоюється автоматично. Постійну часу сканування залишаємо на 100 мс. Після вибору необхідних параметрів натискаємо ОК.

ПД-регулятор повинен викликатися з постійним часом сканування (тут 100мс), так як його обробка має вирішальне значення щодо часу. Робота контролера не може бути оптимізована, якщо вона не буде викликатися відповідно.

Блок управління переміщається в третю мережу. Так як цей блок не має можливості кількох примірників, він повинен бути призначений в якості блока даних з одиничним примірником (single instance).

Необхідно вибрати «Basic settings» («Базові параметри»), такі як тип контролера й налаштування внутрішньої структури контролера. (Basic settings

Controller type Volume 1 actual value: Input\_PER(analog) manipulated value:

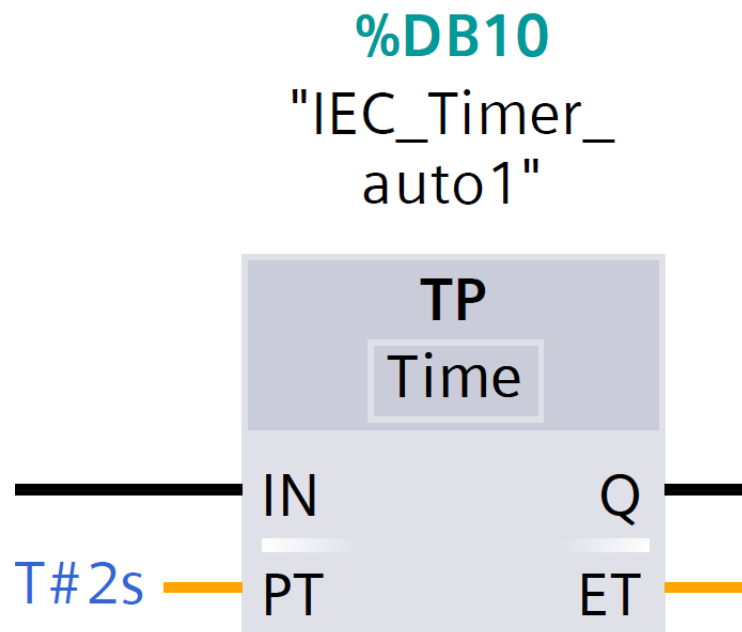


Рисунок 0.9– Блок DB, виконуючий функцію таймера

Output\_PER).

В «Process value settings» («Налаштування значень процесу») ми встановлюємо діапазон виміру. Межі повинні бути скоректовані.

### 3.3 Висновок до розділу

Описано параметри роботи та можливості системи. Визначено режими роботи, засоби запобігання аварійних режимів та необхідні контрольно вимірювальні засоби.

Базуючись на високому рівні розвитку сучасної мікропроцесорної техніки і широкому вибору продукції промислової автомати для комплектації матеріальної частини спроектованої системи керування, обрано необхідне устаткування.

Проаналізовано структуру та метод написання програми для контролера. Як результат, отримано програму на мові LD, яку легко адаптувати під будь-які потреби в подальшій розробці подібних систем автоматизації.

Продемонстровано вигляд та структуру панелі оператора, налаштування та контроль роботи системи за допомогою якої доступні кінцевому користувачеві і не вимагають спеціальних навичок програмування.



## РОЗДІЛ 4. ЕКОНОМІЧНА ЧАСТИНА

### 4.1 Технологічний аудит розробленої системи управління водопостачання житлового масиву на базі мікроконтролера

Загальновідомо, системи подачі і розподілу води належать до найбільш енергоємних об'єктів міського комунального господарства, а основними споживачами електроенергії в системах водопостачання є насосні станції. На сьогодні більшість насосних станцій оснащені нерегульованим приводом на базі асинхронних і синхронних електродвигунів. В той же час нерегульований привід в умовах різкої зміни тиску, обумовленого характером і режимами роботи споживачів, нерідко призводить до аварій і збоїв у роботі системи подачі і розподілу води. Тому автоматизація режимів роботи насосних станцій та впровадження енергозберігаючого устаткування є краї актуальною задачею, розв'язання якої має підвищити надійність роботи системи водопостачання загалом та забезпечити суттєву економію енерго- та водоресурсів[37].

Зазначена проблема загострюється у зв'язку із зростанням чисельності населення в містах та активним будівництвом нових житлових масивів та мікрорайонів, що посилює необхідність у розробці нових високоефективних систем водо- та енергозабезпечення. Окрім того, сьогодні функціонує багато житлових комплексів, які потребують нагальної модернізації систем водо- та енергозабезпечення у зв'язку із великим строком їх експлуатації.

Тому у виконаній магістерській кваліфікаційній роботі було поставлене завдання розробити нову, ефективну систему керування енергозберігаючим приводом насосної станції шляхом покращення енергетичних показників її роботи.

Для цього нами було: розглянуто проблеми водопостачання, які існують в містах; досліджено основні системи електроприводу насосних станцій; розроблено систему оптимального керування енергозберігаючим приводом насосної станції.

Підсумком виконаної роботи є отриманих результатів, які полягають в можливості їх використання для проектування, розробки (або модернізації існуючих) насосних станцій житлових будинків з метою ефективного використання енергоресурсів та поліпшення роботи гідравлічних систем в цілому.

З метою визначення технічного рівня та комерційного потенціалу отриманих під час виконання магістерської кваліфікаційної роботи результатів проведемо їх технологічний аудит. Для проведення технологічного аудиту запросимо 3-х експертів: директора відділу продажу ЖК Green's - Швеця Д.; головного інженера-будівельника ЖК Green's Наумчук В. та архітектора проектів Green's– Петрівська О.

Оцінювання технічного рівня та комерційного потенціалу нашої розробки здійснювалося за рекомендаціями [39,40], наведеними в таблиці 4.1 та таблиці 4.2.

Таблиця 4.1 – Критерії оцінювання технічного рівня та комерційного потенціалу розробки

| Критерії оцінювання та бали (за 5-ти бальною шкалою) |   |   |                                     |                                  |   |
|--|---|---|-------------------------------------|----------------------------------|---|
| кри-тер.   | 0                                       | 1   | 2                                   | 3                                | 4   |
| Технічна здійсненність концепції:                    |   |   |                                     |                                  |   |
|  | Достовірність концепції не підтверджена | Концепція підтверджена експертними висновками | Концепція підтверджена розрахунками | Концепція перевірена на практиці | Перевірено роботоздатність продукту в реальних умовах |



Продовження таблиці 4.1

| Ринкові переваги (недоліки): |  |   |   |   |  |
|------------------------------|--|---|---|---|--|
|                              | Багато аналогів на малому ринку  | Мало аналогів на малому ринку   | Кілька аналогів на Великому ринку                               | Один аналог на великому ринку   | Продукт не має аналогів на великому ринку                              |
|                              | Ціна продукту значно вища за ціни аналогів                             | Ціна продукту дещо вища за ціни аналогів                              | Ціна продукту приблизно дорівнює цінам аналогів                 | Ціна продукту дещо нижче за ціни аналогів                             | Ціна продукту значно нижче за ціни аналогів                            |
|                              | Технічні та споживчі властивості продукту значно гірші, ніж в аналогів | Технічні та споживчі властивості продукту трохи гірші, ніж в аналогів | Технічні та споживчі властивості продукту на рівні аналогів     | Технічні та споживчі властивості продукту трохи кращі, ніж в аналогів | Технічні та споживчі властивості продукту значно кращі, ніж в аналогів |
| Ринкові перспективи          |  |   |   |   |  |
|                              | Експлуатаційні витрати значно вищі, ніж в аналогів                     | Експлуатаційні витрати дещо вищі, ніж в аналогів                      | Експлуатаційні витрати на рівні експлуатаційних витрат аналогів | Експлуатаційні витрати трохи нижчі, ніж в аналогів                    | Експлуатаційні витрати значно нижчі, ніж в аналогів                    |

Продовження таблиці 4.1

| Критерії оцінювання та бали (за 5-ти бальною шкалою) |  |   |   |                                      |  |
|--|--|---|---|--------------------------------------|--|
| кри-тер.   | 0  | 1   | 2   | 3                                    | 4  |
|  | Ринок малий і не має позитивної динаміки                             | Ринок малий, але має позитивну динаміку   | Середній ринок з позитивною динамікою                       | Великий стабільний ринок             | Великий ринок з позитивною динамікою                                   |
|  | Активна конкуренція великих компаній на ринку                        | Активна конкуренція   | Помірна конкуренція   | Незначна конкуренція                 | Конкурентів немає  |
| Практична здійсненність                              |  |   |   |                                      |  |
|  | Відсутні фахівці як з технічної, так і з комерційної реалізації ідеї | Необхідно наймати фахівців або витратити значні кошти та час на навчання наявних фахівців | Необхідне незначне навчання фахівців та збільшення їх штату | Необхідне незначне навчання фахівців | Є фахівці з питань як з технічної, так і з комерційної реалізації ідеї |

Продовження таблиці 4.1

|   |   |  |   |  |  |
|---|---|--|---|--|--|
|   | Потрібні значні фінансові ресурси, які відсутні.<br><br>Джерела фінансування відсутні | Потрібні незначні фінансові ресурси.<br><br>Джерела фінансування відсутні                        | Потрібні значні фінансові ресурси.<br><br>Джерела фінансування є                                  | Потрібні незначні фінансові ресурси.<br><br>Джерела фінансування є                               | Не потребує додаткового фінансування   |
| 0 | Необхідна розробка нових матеріалів   | Потрібні матеріали, що використовуються у військово-промислово му комплексі                      | Потрібні дорогі матеріали   | Потрібні досяжні та дешеві матеріали   | Всі матеріали для реалізації ідеї відомі та давно використовуються у виробництві           |
| 1 | Термін реалізації ідеї більший за 10 років  | Термін реалізації ідеї більший за 5 років.<br><br>Термін окупності інвестицій більше 10-ти років | Термін реалізації ідеї від 3-х до 5-ти років<br><br>Термін окупності інвестицій більше 5-ти років | Термін реалізації ідеї менше 3-х років.<br><br>Термін окупності інвестицій від 3-х до 5-ти років | Термін реалізації ідеї менше 3-х років.<br><br>Термін окупності інвестицій менше 3-х років |

Продовження таблиці 4.1

| Критерії оцінювання та бали (за 5-ти бальною шкалою) |   |  |   |  |   |
|--|---|--|---|--|---|
| кри-тер.   | 0   | 1  | 2   | 3  | 4   |
| 2  | Необхідна розробка регламентних документів та отримання великої кількості дозвільних документів на виробництво та реалізацію продукту | Необхідно отримання великої кількості дозвільних документів на виробництво та реалізацію продукту, що вимагає значних коштів та часу | Процедура отримання дозвільних документів для виробництва та реалізації продукту вимагає незначних коштів та часу | Необхідно тільки повідомлення відповідним органам про виробництво та реалізацію продукту | Відсутні будь-які регламентні обмеження на виробництво та реалізацію продукту |

Таблиця 4.2 – Технічні рівні та комерційний потенціал будь-якої розробки

| Середньоарифметична сума балів $\overline{СБ}$ , розрахована на основі висновків експертів | Технічний рівень та комерційний потенціал розробки |
|--|--|
| 0 – 10   | Низький  |
| 11 – 20  | Нижче середнього                                   |
| 21 – 30  | Середній   |
| 31 – 40  | Вище середнього                                    |
| 41 – 48  | Високий  |

В результаті проведеного аналізу запрошені експерти виставили нашій розробці такі оцінки (див. таблицю 4.3).

Таблиця 4.3 – Результати технологічного аудиту нашої розробки

| Критерії   | Прізвище, ініціали експертів |                      |                      |
|------------|------------------------------|----------------------|----------------------|
|            | Швець Д.                     | НаумчукВ.            | Петрівська О.        |
|            | Бали, виставлені експертами: |                      |                      |
| 1          | 4                            | 4                    | 4                    |
| 2          | 4                            | 4                    | 4                    |
| 3          | 3                            | 4                    | 3                    |
| 4          | 3                            | 3                    | 4                    |
| 5          | 3                            | 4                    | 3                    |
| 6          | 4                            | 4                    | 4                    |
| 7          | 4                            | 4                    | 4                    |
| 8          | 3                            | 3                    | 3                    |
| 9          | 3                            | 3                    | 3                    |
| 10         | 3                            | 3                    | 3                    |
| 11         | 3                            | 3                    | 3                    |
| 12         | 4                            | 4                    | 4                    |
| Сума балів | СБ <sub>3</sub> = 41         | СБ <sub>1</sub> = 43 | СБ <sub>2</sub> = 42 |

Середньоарифметична сума балів, що їх виставили експерти, дорівнює:

$$\overline{СБ} = \frac{\sum_{i=1}^3 СБ_i}{3} = \frac{41 + 43 + 42}{3} = \frac{126}{3} = 42,00.$$

Оскільки середньоарифметична сума балів, що їх виставили експерти, складає 42,00 бали, то це свідчить, що розроблена нами система управління водопостачанням житлового масиву на базі мікроконтролера має технічний рівень та комерційний потенціал, який вважається «високим».

Це пояснюється тим, що нами запропоновано таку систему керування електроприводом насосної станції, яка працює на основі



асинхронних двигунів з частотним регулюванням, що дає змогу підвищити її пускові характеристики, енергоефективність та економічність. Окрім того, на основі використання двох частотно регульованих насосних агрегатів встановлено можливі діапазони зміни подачі та напору води до споживачів при роботі насосної установки.

#### 4.2 Розрахунок витрат на розробку системи управління водопостачанням житлового масиву на базі мікроконтролера

Основними статтями витрат є такі:

а). Основна заробітна плата  $Z_o$  розробників:

$$Z_o = \frac{M}{T_p} \cdot t \text{ грн.}, \quad (4.1)$$

де  $M$  – місячний посадовий оклад розробника, грн;

У ВНТУ  $M = (4173 \dots 14520)$  грн/місяць;

$T_p$  – число робочих днів в місяці; прийmemo  $T_p = 21$  день;

$t$  – число днів роботи розробників.

Зроблені розрахунки зведемо до таблиці 4.4:

б). Додаткова заробітна плата  $Z_d$  виконавців роботи розраховується як (10...12)% від величини їх основної заробітної плати, тобто:

$$Z_d = \alpha \cdot Z_o = (0,1 \dots 0,12) \cdot Z_o. \quad (4.2)$$

Прийmemo, що  $\alpha = 0,104$ . Тоді для нашого випадку отримаємо:

$$Z_d = 0,104 \times 7773 = 808,39 \approx 809 \text{ грн.}$$

Таблиця 4.4 – Основна заробітна плата розробників

| Найменування посади виконавця             | Місячний посадовий оклад, грн | Оплата за робочий день, грн | Число днів роботи | Витрати на оплату праці, грн     |
|---|-------------------------------|-----------------------------|-------------------|----------------------------------|
| 1. Науковий керівник магістерської роботи | 12800                         | 600,52                      | 25 год./ 6 год.   | 2539,67                          |
| 2. Виконавець-магістрант                  | 1990                          | 94,76                       | 50                | 4738                             |
| 3. Консультант з ЕЧ                       | 12550                         | 597,62                      | 2,5 години        | ≈290,68                          |
| 4. Інші фахівці                           | 5050                          | 240,48                      | 1                 | 204,48                           |
| Загалом витрат на заробітну плату         |                               |                             |                   | $Z_o = 7772,80 \approx 7773$ грн |

в). Нарахування на заробітну плату виконавців роботи  $H_{зп}$  розраховуються за формулою:

$$H_{зп} = (Z_o + Z_d) \cdot \frac{\beta}{100}, \quad (4.3)$$

де  $\beta$  – ставка обов'язкового єдиного внеску на державне соціальне страхування, %. У 2019 році ставка обов'язкового єдиного внеску на державне соціальне страхування  $\beta = 22\%$ .

Тоді для нашого випадку отримаємо:

$$H_{зп} = (7773 + 809) \times 0,22 = 1888,04 \approx 1888 \text{ грн.}$$

г). Амортизація  $A$ , приміщень, обладнання, комп'ютерів, принтерів тощо, які використовувались під час розробку системи управління водопостачанням житлового масиву на базі мікроконтролера:

$$A = \frac{Ц \cdot H_a}{100} \cdot \frac{T}{12} \text{ грн,} \quad (4.4)$$

де  $Ц$  – загальна балансова вартість основних засобів, обладнання, комп'ютерів, принтерів тощо грн;

$H_a$  – річна норма амортизаційних відрахувань.

Можна прийняти, що в середньому  $H_a = (2,5...25)\%$ ;

$T$  – термін використання основних засобів, місяці.

Зроблені розрахунки зведено в таблицю 4.5.

Таблиця 4.5 – Розрахунок амортизаційних відрахувань

| Найменування обладнання, приміщень тощо         | Балансова вартість, грн. | Норма амортизації, % | Термін використання, міс.  | Величина амортизаційних відрахувань, грн |
|---|--------------------------|----------------------|----------------------------|--|
| 1. Комп'ютери, принтери, обладнання тощо        | 50000                    | 25                   | 2,0 (при 40% використанні) | 833,33                                   |
| 2. Приміщення університету, факультету, кафедри | 8000                     | 5                    | 2,0 (при 40% використанні) | 26,66                                    |
| Всього  |                          |                      |                            | $A = 860$                                |

д). Витрати на матеріали  $M$  розраховуються за формулою:

$$M = \sum_1^n H_i \cdot C_i \cdot K_i - \sum_1^n V_i \cdot C_v \text{ грн.}, \quad (4.5)$$

де  $H_i$  – витрати матеріалу  $i$ -го найменування, кг;  $C_i$  – вартість матеріалу  $i$ -го найменування;  $K_i$  – коефіцієнт транспортних витрат,  $K_i = (1,1...1,15)$ ;  $V_i$  – маса відходів матеріалу  $i$ -го найменування;  $C_v$  – ціна відходів матеріалу  $i$ -го найменування;  $n$  – кількість видів матеріалів.

е). Витрати на комплектуючі  $K$  розраховуються за формулою:

$$K = \sum_1^n N_i \cdot C_i \cdot K_i \text{ грн}, \quad (4.6)$$

де  $N_i$  – кількість комплектуючих  $i$ -го виду, шт.;  $C_i$  – ціна комплектуючих  $i$ -го виду;  $K_i$  – коефіцієнт транспортних витрат,  $K_i = (1,1 \dots 1,15)$ ;  $n$  – кількість видів комплектуючих.

Під час виконання нашої роботи загальні витрати на матеріали та комплектуючі (за аналогією з іншими розробками) склали приблизно 800 грн.

ж). Витрати на силову електроенергію  $V_e$  розраховуються за формулою:

$$V_e = \frac{V \cdot P \cdot \Phi \cdot K_{\Pi}}{K_d}, \quad (4.7)$$

де  $V$  – вартість 1 кВт-год. електроенергії, в 2019 р.  $V \approx 2,2$  грн/кВт;

$P$  – установлена потужність обладнання, кВт;  $P = 1,50$  кВт;

$\Phi$  – фактична кількість годин роботи обладнання, годин.

Прийmemo, що  $\Phi = 129$  годин;

$K_{\Pi}$  – коефіцієнт використання потужності;  $K_{\Pi} < 1 = 0,8$ .

$K_d$  – коефіцієнт корисної дії,  $K_d = 0,62$ .

Тоді витрати на електроенергію будуть дорівнювати:

$$V_e = \frac{V \cdot P \cdot \Phi \cdot K_{\Pi}}{K_d} = \frac{2,2 \cdot 1,50 \cdot 129 \cdot 0,8}{0,62} = 549,29 \approx 550 \text{ грн.}$$

і). Інші витрати  $V_{\text{інш}}$  становлять (100...300)% від суми основної заробітної плати виконавців, тобто:

$$V_{\text{інш}} = (0,1 \dots 3) \times Z_o. \quad (4.8)$$

Для нашого випадку отримаємо:

$$V_{\text{інш}} = 1,25 \times 7773 = 9716,25 \approx 9717 \text{ грн.}$$

и). Сума всіх попередніх статей витрат дає нам витрати на виконання цього етапу роботи безпосередньо магістрантом –  $V$ .

$$V = 7773 + 809 + 1888 + 860 + 800 + 550 + 9717 = 22397 \text{ грн.}$$

к). Загальні витрати  $ЗВ$  на можливе завершення нашої розробки  $V_{\text{заг}}$  розраховуються за формулою:

$$V_{\text{заг}} = \frac{V}{\beta}, \quad (4.9)$$

де  $\beta$  – коефіцієнт, який характеризує етап (стадію) виконання роботи.

Загальні рекомендації: якщо розробка знаходиться: на стадії науково-дослідних робіт, то  $\beta \approx 0,1$ ; на стадії технічного проектування, то  $\beta \approx 0,2$ ; на стадії розробки конструкторської документації, то  $\beta \approx 0,3$ ; на стадії розробки технологій, то  $\beta \approx 0,4$ ; на стадії розробки дослідного зразка, то  $\beta \approx 0,5$ ; на стадії розробки промислового зразка,  $\beta \approx 0,7$ ; на стадії впровадження, то  $\beta \approx (0,8 - 0,9)$ .

Аналізуючи стан виконання роботи (а вона потребує незначного доопрацювання), можна стверджувати, що  $\beta \approx 0,85$  [40]. Тоді:

$$\text{Тоді: } V_{\text{заг}} = \frac{22397}{0,85} = 26349,41 \text{ грн або приблизно } 27 \text{ тис. грн.}$$

Тобто загальні витрати на нашу розробку становлять приблизно 27 тис. грн.

### 4.3 Розрахунок економічного ефекту від можливого впровадження нашої розробки

Аналіз місткості ринку подібної продукції показує, що на сьогодні в Україні кількість реальних користувачів подібних розробок може бути просто необмеженою, оскільки розроблена нами система управління водопостачання житлового масиву на базі мікроконтролера може бути використана як для житлових комплексів, так і для виробництв та господарств. Для початку прийmemo, що попит на нашу (та аналогічні розробки) становить 100 шт.

Більш того, попит на продукцію буде тільки збільшуватись, оскільки із зростанням чисельності населення в містах і збільшенням будівництва нових будинків зростає необхідність у розробці якісних систем водопостачання.

Тобто, якщо наша розробка буде впроваджена з 1 січня 2021 року, то її результати будуть виявлятися протягом 2021-го, 2022-го та 2023-го років. Прогноз зростання попиту на нашу розробку складає по роках:

- а) 2021 р. – приблизно + 20 шт.;
- б) 2022 р. – приблизно + 40 шт.;
- в) 2023 р. – приблизно +50 шт.

Середня вартість подібної розробки дорівнює приблизно 90 тис. грн. Оскільки розроблена нами система управління водопостачання житлового масиву на базі мікроконтролера має значно кращі функціональні можливості і дає змогу підвищити пускові характеристики, енергоефективність та економічність установки, то нашу розробку можна буде реалізовувати на ринку дещо дорожче, приблизно за 95 тис. грн, або на 5 тис. грн дорожче.

Можливе збільшення чистого прибутку  $\Delta\Pi_i$ , що його може отримати потенційний інвестор від впровадження нашої розробки становитиме [38,39]:

$$\Delta\Pi_i = \sum_1^n (\Delta\Pi_o \cdot N + \Pi_o \cdot \Delta N)_i \cdot \lambda \cdot \rho \cdot \left(1 - \frac{v}{100}\right), \quad (4.10)$$

де  $\Delta\Pi_o$  – зміна основного якісного показника (ціни) від впровадження результатів розробки. Для нашого випадку  $\Delta\Pi_o = (95-90) = 5$  тис. грн;

$N$  – основний кількісний показник, який визначає обсяг діяльності у цьому році до впровадження результатів розробки; прийmemo, що  $N = 100$  шт.;

$\Delta N$  – покращення основного кількісного показника від впровадження результатів розробки. Таке покращення становитиме по роках, відповідно: +50 (2021), +100 (2022) та + 150 (2023) шт.;

$\Pi_o$  – основний якісний показник, який визначає ціну реалізації розробки у цьому році (після впровадження результатів розробки);  $\Pi_o = 95$  тис. грн;

$n$  – кількість років, протягом яких очікується отримання позитивних результатів від впровадження розробки; для нашого випадку  $n = 3$ ;

$\lambda$  – коефіцієнт, який враховує сплату податку на додану вартість;  $\lambda = 0,8333$ ;

$\rho$  – коефіцієнт, який враховує рентабельність продукту. Рекомендується приймати  $\rho = (0,2...0,5)$ ; візьmemo  $\rho = 0,5$ ;

$v$  – ставка податку на прибуток. У 2019 році  $v = 18\%$ .

Величина чистого прибутку  $\Delta\Pi_1$  для потенційного інвестора протягом першого року від можливого впровадження нашої розробки (2021 р.) складе:

$$\Delta\Pi_1 = [5 \cdot 100 + 95 \cdot 20] \cdot 0,8333 \cdot 0,5 \cdot \left(1 - \frac{18}{100}\right) = 819,96 \approx 820 \text{ тис. грн.}$$

Величина чистого прибутку  $\Delta\Pi_2$  для потенційного інвестора від можливого впровадження нашої розробки протягом другого (2022 р.) року складе:

$$\Delta\Pi_2 = [5 \cdot 100 + 95 \cdot 40] \cdot 0,8333 \cdot 0,5 \cdot \left(1 - \frac{18}{100}\right) = 1469,11 \approx 1470 \text{ тис. грн.}$$

Величина чистого прибутку  $\Delta\Pi_3$  для потенційного інвестора від можливого впровадження нашої розробки протягом третього (2023 р.) року складе:

$$\Delta\Pi_3 = [5 \cdot 100 + 95 \cdot 50] \cdot 0,8333 \cdot 0,5 \cdot \left(1 - \frac{18}{100}\right) = 1793,68 \approx 1794 \text{ тис. грн.}$$

Теперішня вартість інвестицій  $PV$ , що можуть бути вкладені у впровадження нашої розробки, становлять [1]:

$$PV = K \times 3B = (5 \dots 10) \times 3B, \quad (4.11)$$

де  $3B$  – витрати на виконання даної роботи,  $3B = 27$  тис. грн;

$K = (5 \dots 10)$  – додатковий коефіцієнт, що враховує витрати потенційного інвестора на впровадження результатів нашої розробки (у випадку проведення капітальних робіт).

Прийmemo, що  $K = 10$ . Тоді отримаємо:

$$PV = 10 \times 27 = 270 \text{ тис. грн.}$$

Абсолютний ефект від можливих вкладених інвестицій  $E_{\text{абс}}$  складе:

$$E_{\text{абс}} = \text{ПП} - PV, \quad (4.12)$$

де  $\text{ПП}$  – приведена вартість всіх можливих чистих прибутків від можливого впровадження нашої розробки, грн;

$PV$  – теперішня вартість інвестицій  $PV = 270$  тис. грн.



У свою чергу, приведена вартість всіх чистих прибутків ПП розраховується за формулою:

$$\text{ПП} = \sum_1^t \frac{\Delta\Pi_i}{(1 + \tau)^t}, \quad (4.13)$$

де  $\Delta\Pi_i$  – збільшення чистого прибутку у кожному із років, протягом яких виявляються результати виконаної та впровадженої роботи, грн;

$t$  – період часу, протягом якого виявляються результати впровадженої роботи, роки. Для нашого випадку  $t = 3$  роки;

$\tau$  – ставка дисконтування. Прийнемо ставку дисконтування  $\tau = 0,09$  (9%);

$t$  – період часу від моменту отримання прибутків до початку впровадження розробки;  $t = 4$  роки.

Тоді приведена вартість всіх можливих чистих прибутків ПП, що їх може отримати потенційний інвестор від впровадження нашої розробки, складе:

$$\text{ПП} = \frac{820}{(1 + 0,09)^2} + \frac{1470}{(1 + 0,09)^3} + \frac{1794}{(1 + 0,09)^4} \square 690 + 1135 + 1271 = 3096 \text{ тис.}$$

грн.

Абсолютний ефект від можливого впровадження нашої розробки (при прогнозованому ринку збуту) за три роки складе:

$$E_{\text{абс}} = 3096 - 270 = 2826 \text{ тис. грн. або по } 942 \text{ тис. грн щорічно.}$$

Оскільки  $E_{\text{абс}} > 0$ , то вкладання коштів на впровадження нашої розробки може бути доцільним.

Далі розрахуємо внутрішню норму дохідності  $E_v$  вкладених інвестицій:

$$E_v = \sqrt[t_j]{1 + \frac{E_{\text{абс}}}{PV}} - 1, \quad (4.14)$$

де  $E_{abc}$  – абсолютний ефект вкладених інвестицій;  $E_{abc} = 2826$  тис. грн;

$PV$  – теперішня вартість інвестицій  $PV = 270$  тис. грн;

$T_{ж}$  – життєвий цикл розробки, роки.  $T_{ж} = 5$  років (2019-2023 рр.).

Для нашого випадку отримаємо:

$$E_B = \sqrt[5]{1 + \frac{2826}{270}} - 1 = \sqrt[5]{1 + 10,466} - 1 = \sqrt[5]{11,466} - 1 = 1,6288 - 1 = 0,6288 = 62,88\%.$$

Далі визначимо ту мінімальну дохідність, нижче за яку потенційний інвестор не буде займатися впровадженням нашої розробки. Мінімальна дохідність або мінімальна (бар'єрна) ставка дисконтування  $\tau_{\text{мін}}$  визначається за формулою:

$$\tau_{\text{мін}} = d + f, \quad (4.15)$$

де  $d$  – середньозважена ставка за депозитними операціями в комерційних банках; в 2019 році в Україні  $d = (0,10...0,19)$ ;

$f$  – показник, що характеризує ризикованість вкладень; зазвичай, величина

$f = (0,05...0,50)$ , але може бути і значно більше.

Для нашого випадку отримаємо:

$$\tau_{\text{мін}} = 0,15 + 0,40 = 0,55 \text{ або } \tau_{\text{мін}} = 55\%.$$

Оскільки величина  $E_B = 62,88\% > \tau_{\text{мін}} = 55\%$ , то потенційний інвестор може бути зацікавлений у фінансуванні та комерціалізації нашої розробки.

Далі розраховуємо термін окупності коштів, вкладених у нашу розробку. Термін окупності  $T_{\text{ок}}$  розраховується за формулою:

$$T_{\text{ок}} = \frac{1}{E_B}. \quad (4.16)$$

Для нашого випадку термін окупності  $T_{\text{ок}}$  коштів складе:

$$T_{\text{ок}} = \frac{1}{0,6288} \approx 1,59 \text{ років,}$$

що свідчить про потенційну доцільність комерціалізації нашої розробки.

Результати виконаної економічної частини магістерської кваліфікаційної роботи зведено у таблицю:

| Показники   | Задані у ТЗ                  | Досягнуті у магістерській кваліфікаційній роботі | Висновок  |
|---|------------------------------|--|-----------|
| 1. Витрати на розробку системи управління водопостачання житлового масиву на базі мікроконтролера | Не більше 30 тис. грн        | 27 тис. грн.                                     | Досягнуто |
| 2. Абсолютний ефект від впровадження розробки тис. грн  | Щороку не менше 800 тис. грн | Щороку по 942 тис. грн протягом 3-х років        | Виконано  |
| 3. Внутрішня норма дохідності інвестицій, %   | не менше 60%                 | 62,88%   | Досягнуто |
| 4. Термін окупності інвестицій, роки  | до 3-х років                 | 1,59 років                                       | Виконано  |

Таким чином, основні техніко-економічні показники розробленої системи управління водопостачання житлового масиву на базі мікроконтролера, визначені у технічному завданні, виконані.



## ВИСНОВКИ

1. Визначено, що серед усіх відомих на сьогоднішній день способів керування подачею та напором насосного агрегату найефективнішим є регулювання швидкості обертання робочого колеса насоса використовуючи частотнорегульований електропривід. Цей метод, у порівнянні зі зміною гідравлічних параметрів трубопроводу чи насоса, дає можливість розширити діапазон регулювання продуктивності насосного агрегату за суттєвого зменшення споживання його двигуном електричної енергії.

2. Розраховано номінальні данні асинхронного двигуна як об'єкта керування. Та визначено, що для забезпечення необхідної продуктивності насосу при заданих вихідних даних  $Q - 150 \text{ м}^3/\text{год}$ ,  $H - 10 \text{ м}$ , достатньо встановлення двигуна потужністю не менше  $7,5 \text{ кВт}$ .

3. Базуючись на отриманих розрахункових даних за допомогою програмного середовища MATLAB Simulink побудовано схему насосної установки та промодельовано її роботу. Це дає змогу вивести графіки основних змінних системи та проаналізувати їх. Виходячи з результатів моделювання видно, що при перехідних процесах в системі спостерігається деяке незначне перерегулювання при відпрацюванні заданих значень. Це пов'язано з нерівномірним навантаженням гідравлічної системи.

4. При проектуванні об'єкту дослідження, поставлено певні умови роботи систем та обґрунтування їх необхідності для кінцевого споживача. Серед безлічі пропонованих на сучасному ринку засобів автоматики та приводу, було обрано основні складові автоматизованої системи управління насосною станцією – контролер та перетворювач частоти, технічні характеристики яких цілком задовольняють поставлені вимогам.

5. У зв'язку з вибором програмованого логічного контролера виробництва компанії Siemens, після проведення аналізу існуючих методів

програмування сучасних контролерів, було прийнято рішення будувати програму керування за допомогою програмного забезпечення систем автоматизації технологічних процесів TIA Portal та мови програмування LD (Ladder Diagram).

6. Розроблена система керування та програма керування процесом легко адаптується під необхідні задачі користувача та налаштовується на будь-які вихідні дані системи.

## СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Шульга М.О. Інженерне обладнання населених місць: Підручник. / М.О.Шульга. – Харків: ХНАМГ, 2007. – 9 с.
2. Остапенко Н.В. Розробка регульованого електроприводу системи управління водопостачанням сучасного господарства. [Електронний ресурс]: матер. XLVII науково-технічної конференції професорсько-викладацького складу, співробітників та студентів університету за участю працівників підприємств м. Вінниці та області / Н.В. Остапенко, А.С. Васюра. – Вінниця: ВНТУ, 23 березня 2018. – Режим доступу: <https://conferences.vntu.edu.ua/index.php/all-fksa/all-fksa-2018/author/submission/5419>
3. Остапенко Н.В. Розробка автоматичної системи управління водопостачання житлового масиву. [Електронний ресурс]: матер. Міжнародній науково-технічній конференції «Енергоефективність в галузях економіки України»/ Н.В. Остапенко. – Вінниця: ВНТУ, 12-14 листопада 2019. – Режим доступу: <https://conferences.vntu.edu.ua/index.php/egeu/egeu2019/author/submission/8359>.
4. Лавріненко Ю.М. Електропривод: підручник (за ред. Лавріненка Ю.М.). / Ю.М. Лавріненко, О.С. Марченко, П.І. Савченко, Д.Г. Войтюк, В.П. Лисенко. – К.: вид-во Лір-К., 2009. – 504 с.
5. Благодарна Г.І. «Водопостачання та водовідведення» (для студентів 3-4 курсів усіх форм навчання напрямів 0921, 6.060101 «Будівництво», спеціальностей 6.092100 «Промислове і цивільне будівництво», «Технічне обслуговування, ремонт та реконструкція будівель», «Охорона праці у будівництві», «Міське будівництво та господарство» та слухачів другої вищої освіти): Конспект лекцій з навчальної дисципліни. / Г.І.Благодарна, І.О.Гуцал. – Харків: ХНАМГ, 2009. – 110 с.

6. Грабко В. В. Метод та засоби оптимізації роботи електроприводів насосної станції водопостачання : монографія / В. В. Грабко, М. М. Мошноріз. – Вінниця : ВНТУ, 2011. – 138 с.
7. Бур'ян С.О. Автоматизація технологічних процесів, установок і комплексів-2: Методичні вказівки до виконання лабораторних робіт для студентів напряму підготовки 6.050702 «Електромеханіка» спеціальності «Електромеханічні системи автоматизації та електропривод» / Уклад.: С.О. Бур'ян. – К.: НТУУ «КПІ», 2014, – 193 с.
8. Лезнов Б. С. Энергосбережение и регулируемый привод в насосных и воздуховывных установках. /Б.С.Лезнов.– М.: Энергоатомиздат, 2006. 60с.
9. Васюра А.С. Електромагнітні механізми і виконавчі пристрої автоматики. / А.С. Васюра. – Вінниця: ВНТУ, 2013. – 134 с.
10. Белікова Л.Я. Електричні машини: навч. посіб. для студ. вищ. навч. Закладів / Л.Я. Белікова, В.П. Шевченко. – О.: Наука і техніка, 2012. – 480 с.
11. Усольцев А.А. Частотное управление асинхронными двигателями. Учебное пособие по дисциплинам электромеханического цикла. / А.А. Усольцев. – СПб: СПбГУ ИТМО, 2006. – 94 с.
12. Neumann K. Trends in semiconductor devices and impact on power electronics and electric drives. / Neumann K. / PEMS-94, 20-22 sept. 2004. Warsaw, Poland. – P.1288-1299.
13. Метельский В.П. Електричні машини та мікромашини / В.П. Метельский. – Запоріжжя: ЗНТУ, 2001. – 600 с.
14. Токарев Б. Ф. Электрические машины. / Б. Ф. Токарев – М.: Энергоатомиздат, 1990. – 624 с.
15. Шевченко В.П. Електричні машини Ч.1. Машини постійного струму. / В.П. Шевченко, Л.Я. Белікова. – О.: ОДПУ, 2000. – 120 с.
16. Шевченко В.П. Трансформатори: навч. посіб. / В.П. Шевченко, Л.Я. Белікова. – О.: Наука і техніка, 2001. – 129 с.



17. Шевченко В.П. Машины змінного струму: навч. посіб. / В.П. Шевченко, Л.Я. Белікова. – О.: Наука і техніка, 2005. – 270 с.
18. U.A.Bakshi, M.V. Bakshi Asynchronous Machines. / Bakshi U.A., Bakshi M.V. – Technical Publications, 2008 p. - 278 с.
19. Dovidkam [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <http://dovidkam.com/remont/elektrika/regulyuvannya-oborotiv-asinxronnogo-dviguna-svo%D1%97mi-rukami-sxema-video.html>.
20. Мтомд.инфо [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <http://www.mtomd.info/archives/2626>. – Регулирование частоты вращения асинхронного двигателя.
21. Фираго Б.И. Теория электропривода – 2-е изд. – Учебное пособие. / Б. И. Фираго, Павлячик Л. Б. – Мн.: Техноперспектива, 2007. – 585 с.
22. Алиев И. И. Асинхронные двигатели в трехфазном и однофазном режимах. / И. И. Алиев. – М.: ИП РадиоСофт, 2004.– 128 с.
23. Анализ механических характеристик короткозамкнутых асинхронных электродвигателей методами теории электромагнитного поля // "Електротехніка і електромеханіка".– №1. – 2005. С 45 –47.
24. Электроника и электротехника [Електронний ресурс]. – Режим доступу: [http://elektorushiy.ru/odnofaznie\\_asinkhronnie\\_dvigateli/3.html](http://elektorushiy.ru/odnofaznie_asinkhronnie_dvigateli/3.html). – Однофазні асинхронні двигуни.
25. ООО «Контроль систем» Автоматизация, модернизация, ремонт промышленной техники [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <http://ksystems.ru/stati/preimushhestva-chastotnogo-regulirovaniya.html>. – Преимущества частотного регулирования.
26. [Программа построения характеристик асинхронного двигателя](http://pindownload519.weebly.com/blog/programma-postroeniya-harakteristik-asinhronnogo-dvigatelya) [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <http://pindownload519.weebly.com/blog/programma-postroeniya-harakteristik-asinhronnogo-dvigatelya>.

27. Електро захід [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <http://www.elektrozahid.com.ua/uk/news/219-invertor.html>. – Аналіз ефективності застосування частотних перетворювачів.
28. Технічна енциклопедія TechTrend [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <http://techtrend.com.ua/index.php?newsid=8653>. – Частота –обертання – асинхронний двигун.
29. Регулятор частоти обертання асинхронного двигуна [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <http://mikroshema.com/regulyuvannya-shvidkosti-asinhronnogo-dviguna/>.
30. Електричні машини. Розрахунок експлуатаційних характеристик [Електронний ресурс]. – [http://posibnyku.vntu.edu.ua/%D0%95%D0%BB%D0%B5%D0%BA%D1%82%D1%80\\_%D0%BC%D0%B0%D1%88%D0%B8%D0%BD%D0%B8/Data/Rozdil%202.5.1.htm](http://posibnyku.vntu.edu.ua/%D0%95%D0%BB%D0%B5%D0%BA%D1%82%D1%80_%D0%BC%D0%B0%D1%88%D0%B8%D0%BD%D0%B8/Data/Rozdil%202.5.1.htm).
31. SIMATIC S7-1200 - мікроконтроллер для Totally Integrated Automation Каталог S7-1200 июнь 2014
32. Бур'ян С.О. Автоматизація технологічних процесів, установок і комплексів-2: Методичні вказівки до виконання лабораторних робіт для студентів напряму підготовки 6.050702 «Електромеханіка» спеціальності «Електромеханічні системи автоматизації та електропривод» / Уклад.: С.О. Бур'ян – К.: НТУУ «КПІ», 2014, – 193 с.
33. Automating with SIMATIC S7-1500 Configuring, Programming and Testing with STEP 7 Professional by Hans Berger
34. ProElectro.info [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <http://www.proelectro.info/content/detail/4238>. – Використання частотного регулювання електроприводів.
35. Bose Bimal K. Modern power electronics and AC drives. Prentice Hall PTR / Bimal K. Bose . – Technical Publications, 2002. – 738 p.
36. Епифанов А. П. Электрические машины./ А. П. Епифанов . - СПб.: Лань, 2006. – 265с .

37. Елифанов А.П. Основы электропривода: Учебное пособие. / А.П. Елифанов. - СПб.: Лань, 2008. – 124с.
38. Москаленко В.В. Системы автоматизированного управления электропривода. / В.В. Москаленко . - М.: ИНФРА-М, 2007. – 208 с.
39. Schönfeld R. Digitale Regelung elektrischer Antriebe. / R. Schönfeld. – Berlin: Technik, 1987. – P. 1–8.
40. Козловський В. О. Методичні вказівки до виконання студентами-магістрантами економічної частини магістерських кваліфікаційних робіт. / В. О. Козловський. – Вінниця: ВНТУ, 2012.

ДОДАТКИ

Додаток А  
(обов'язковий)  
Технічне завдання

ЗАТВЕРДЖЕНО  
Зав. кафедри АІТ  
\_\_\_\_\_ Кветний Р.Н.  
«\_\_» \_\_\_\_\_ 2019 р.

ТЕХНІЧНЕ ЗАВДАННЯ  
на магістерську кваліфікаційну роботу  
«Система управління водопостачання житлового масиву на базі  
мікроконтролера»  
08-02.МКР.000.00.012 ТЗ

Керівник роботи:  
Професоркаф. АІТВасюра А. С.  
“\_\_” \_\_\_\_\_ 2019 р.

Виконавець: ст. гр. 1АКІТ-18м  
Остапенко Н. В.  
“\_\_” \_\_\_\_\_ 2019 р.

Вінниця 2019

### 1. Назва та галузь застосування

Система управління водопостачання житлового масиву на базі мікроконтролера. Розроблена система керування та програма управління процесом легко адаптується під необхідні задачі користувача та налаштовується на будь-які вихідні дані системи водопостачання.

### 2. Підстава для розробки

В наслідок росту населення в містах гостро стоїть питання збільшення житлової площі способом будівництва нових житлових масивів та мікрорайонів. В зв'язку з цим зростає і необхідність у розробці систем забезпечення. Також на сьогоднішній день існує велика кількість житлових комплексів, які потребують модернізації іноді всіх систем водо- та енергозабезпечення у зв'язку із великим строком експлуатації, що в будь-яку мить може призвести до виходу з ладу обладнання. Підставою для розробки є наказ ВНТУ №254 від 02.10.2019.

### 3. Мета та призначення розробки

Головною метою даної роботи є розробка системи керування енергозберігаючим приводом насосної станції способом покращення енергетичних показників.

### 4. Джерела розробки

1. Остапенко Н.В. Розробка регульованого електроприводу системи управління водопостачанням сучасного господарства. [Електронний ресурс]: матер. XLVII науково-технічної конференції професорсько-викладацького складу, співробітників та студентів університету за участю працівників підприємств м. Вінниці та області / Н.В. Остапенко, А.С. Васюра. – Вінниця: ВНТУ, 23 березня 2018. – Режим

доступу:<https://conferences.vntu.edu.ua/index.php/all-fksa/all-fksa-2018/author/submission/5419>

2. Остапенко Н.В. Розробка автоматичної системи управління водопостачання житлового масиву. [Електронний ресурс]: матер. Міжнародної науково-технічної конференції «Енергоефективність в галузях економіки України»/ Н.В. Остапенко. – Вінниця: ВНТУ, 12-14 листопада 2019.

– Режим доступу:  
<https://conferences.vntu.edu.ua/index.php/egeu/egeu2019/author/submission/8359>.

3. Лавріненко Ю.М. Електропривод: підручник (за ред. Лавріненка Ю.М.). / Ю.М. Лавріненко, О.С. Марченко, П.І. Савченко, Д.Г. Войтюк, В.П. Лисенко. – К.: вид-во Лір-К., 2009. – 504 с.

4. Благодарна Г.І., Гуцал І.О. «Водопостачання та водовідведення» (для студентів 3-4 курсів усіх форм навчання напрямів 0921, 6.060101 «Будівництво», спеціальностей 6.092100 «Промислове і цивільне будівництво», «Технічне обслуговування, ремонт та реконструкція будівель», «Охорона праці у будівництві», «Міське будівництво та господарство» та слухачів другої вищої освіти): Конспект лекцій з навчальної дисципліни. – Харків: ХНАМГ, 2009. – 110 с.

5. Метод та засоби оптимізації роботи електроприводів насосної станції водопостачання : монографія / В. В. Грабко, М. М. Мошноріз. – Вінниця : ВНТУ, 2011. – 138 с.

6. М.О. Шульга, І. Л. Деркач, О. О. Алексахін. Інженерне обладнання населених місць: Підручник. – Харків: ХНАМГ, 2007. – 9 с.

## 5. Показники призначення

Система управління водопостачання має працювати в автоматичному режимі та в автоматизованому, під контролем оператора.

Результати роботи програми:

- контроль тиску в мережі відповідно до попередньо заданих діапазонів;

- автоматизоване керування двигунами та системою в цілому.

#### 6. Економічні показники

- прогнозовані витрати на розробку – 27000 грн.;
- абсолютна ефективність розробки – 942000 грн.;
- термін окупності витрат для виробника – не більше 1,6 року.

#### 7. Стадії розробки

1. Розділ 1 «Аналіз методів та підходів до розробки системи управління водопостачання» має бути виконаний до 15.10.2019.

2. Розділ 2 «Інструменти та обладнання для розробки системи управління водопостачання» має бути виконаний до 25.10.2019.

3. Розділ 3 «Розробка програмного забезпечення» має бути виконаний до 29.11.2019.

4. Економічний розділ має бути виконаний до 10.12.2019.

#### 8. Порядок контролю та приймання

1. Рубіжний контроль. Провести до 15.11.2019.

2. Попередній захист магістерської кваліфікаційної роботи. Провести до 4.12.2019.

3. Захист магістерської кваліфікаційної роботи. Провести в період з 18.12.2019 до 19.01.2019.



Додаток Б  
(обов'язковий)  
Графічна частина

|                              |          |  |
|------------------------------|----------|--|
| Зав. кафедри АІТ             | _____    | <u>д-р техн. наук, професор каф. АІТ</u><br><u>Кветний Р. Н.</u> |
|                              | (підпис) | (науковий ступінь, вчене звання, ініціали та прізвище)           |
| Науковий керівник            | _____    | <u>професор каф. АІТ</u><br><u>Васюра А. С.</u>                  |
|                              | (підпис) | (науковий ступінь, вчене звання, ініціали та прізвище)           |
| Тех. контроль                | _____    | <u>професор каф. АІТ</u><br><u>Васюра А. С.</u>                  |
|                              | (підпис) | (науковий ступінь, вчене звання, ініціали та прізвище)           |
| Нормоконтроль                | _____    | <u>професор каф. АІТ</u><br><u>Васюра А. С.</u>                  |
|                              | (підпис) | (науковий ступінь, вчене звання, ініціали та прізвище)           |
| Рецензент                    | _____    | _____  |
|                              | (підпис) | (науковий ступінь, вчене звання, ініціали та прізвище)           |
| Студент гр. <u>1АКІТ-18м</u> | _____    | <u>Остапенко Н.В.</u>  |
|                              | (підпис) | (ініціали та прізвище)   |

## Продовження додатку Б

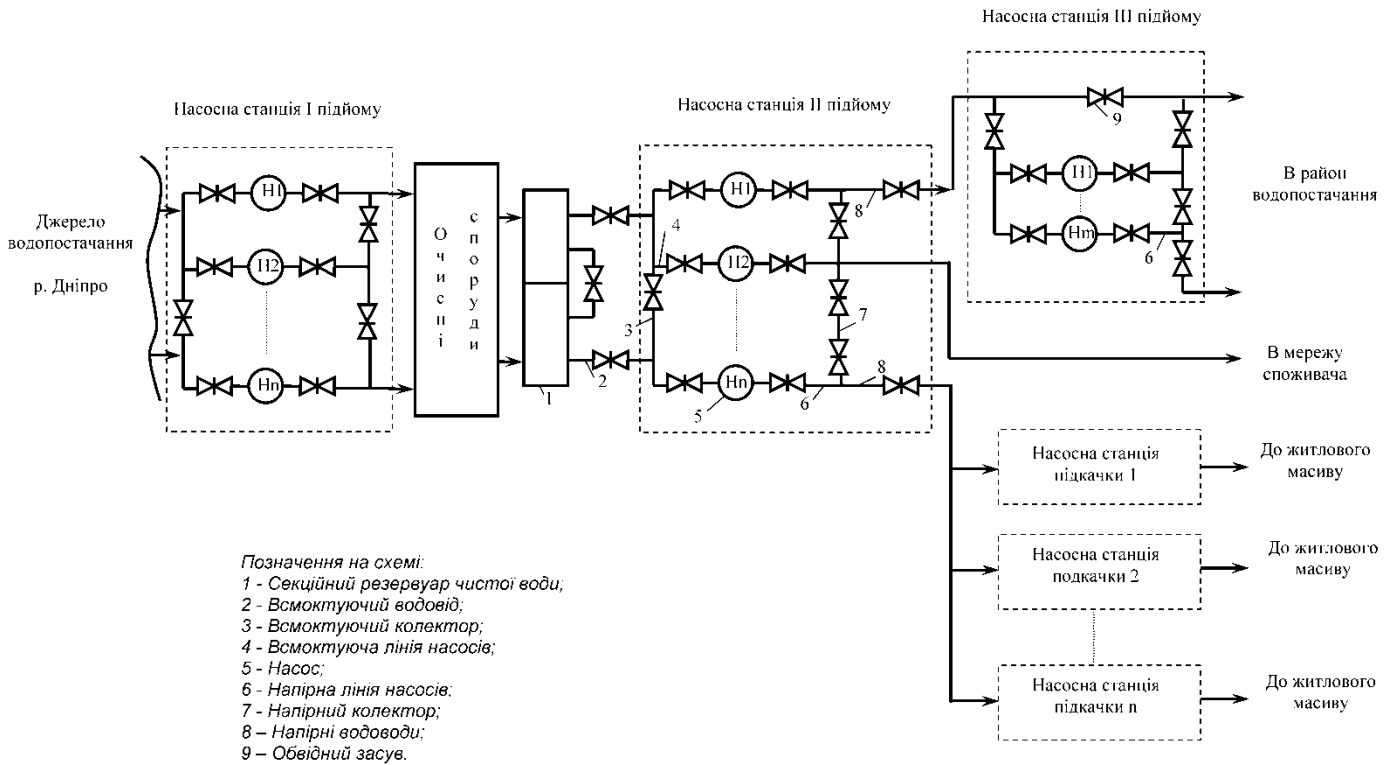


Рисунок Б.1 - Технологічна схема системи міського водопостачання

## Продовження додатку Б

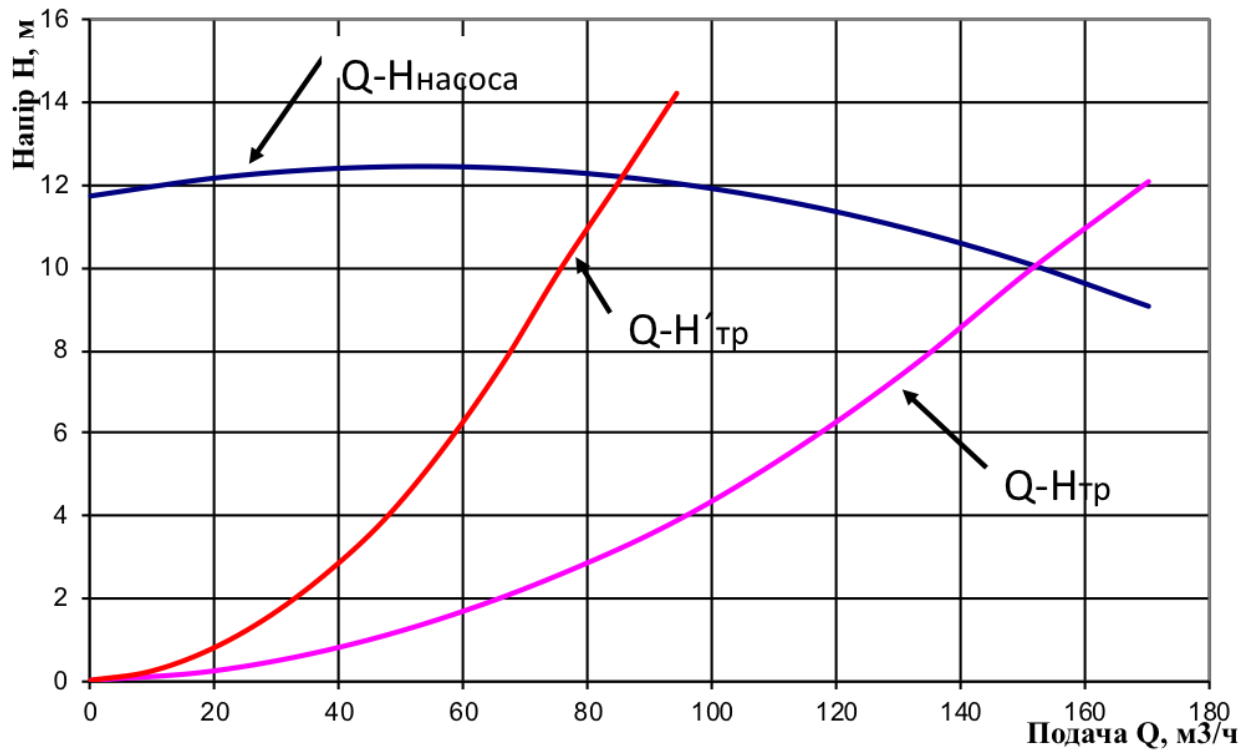


Рисунок Б.2 – Характеристики системи при регулюванні шляхом дроселювання

## Продовження додатку Б

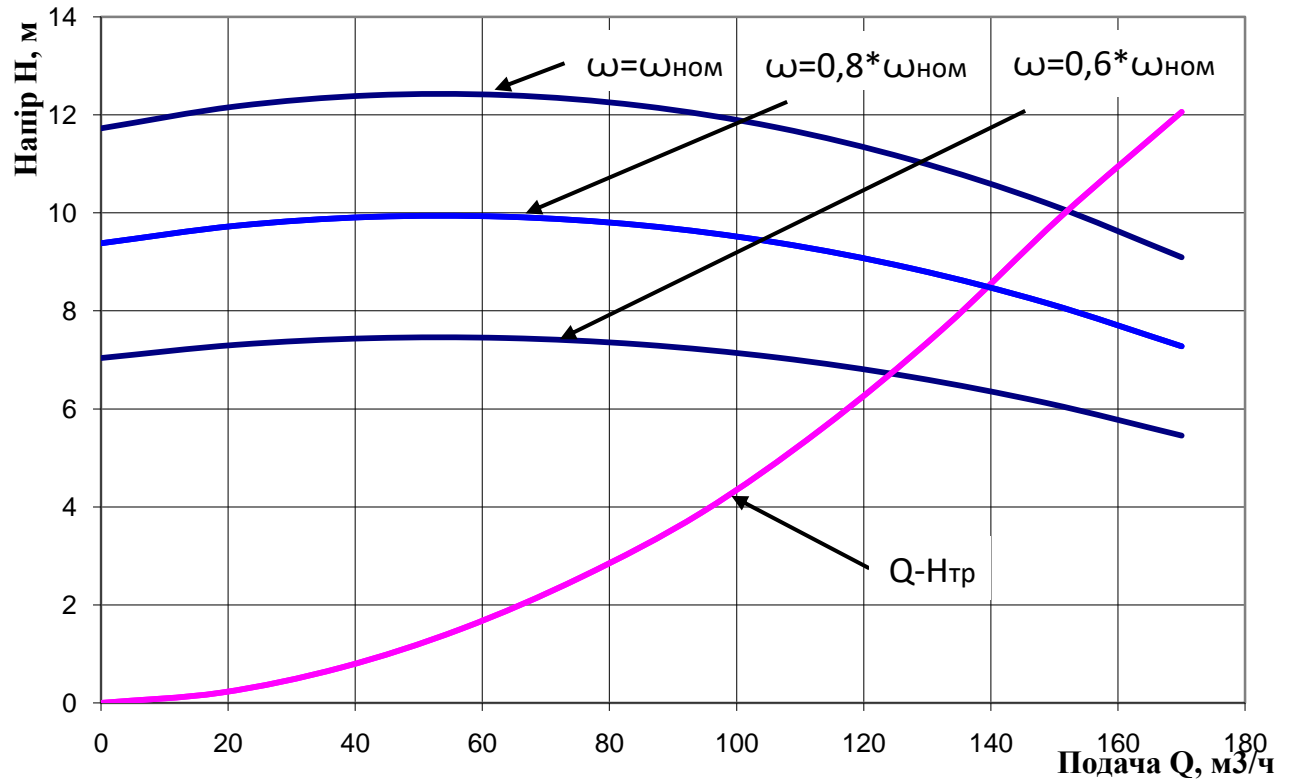


Рисунок Б.3 – Характеристики системи при регулюванні шляхом зміни швидкості обертання

Продовження додатку Б

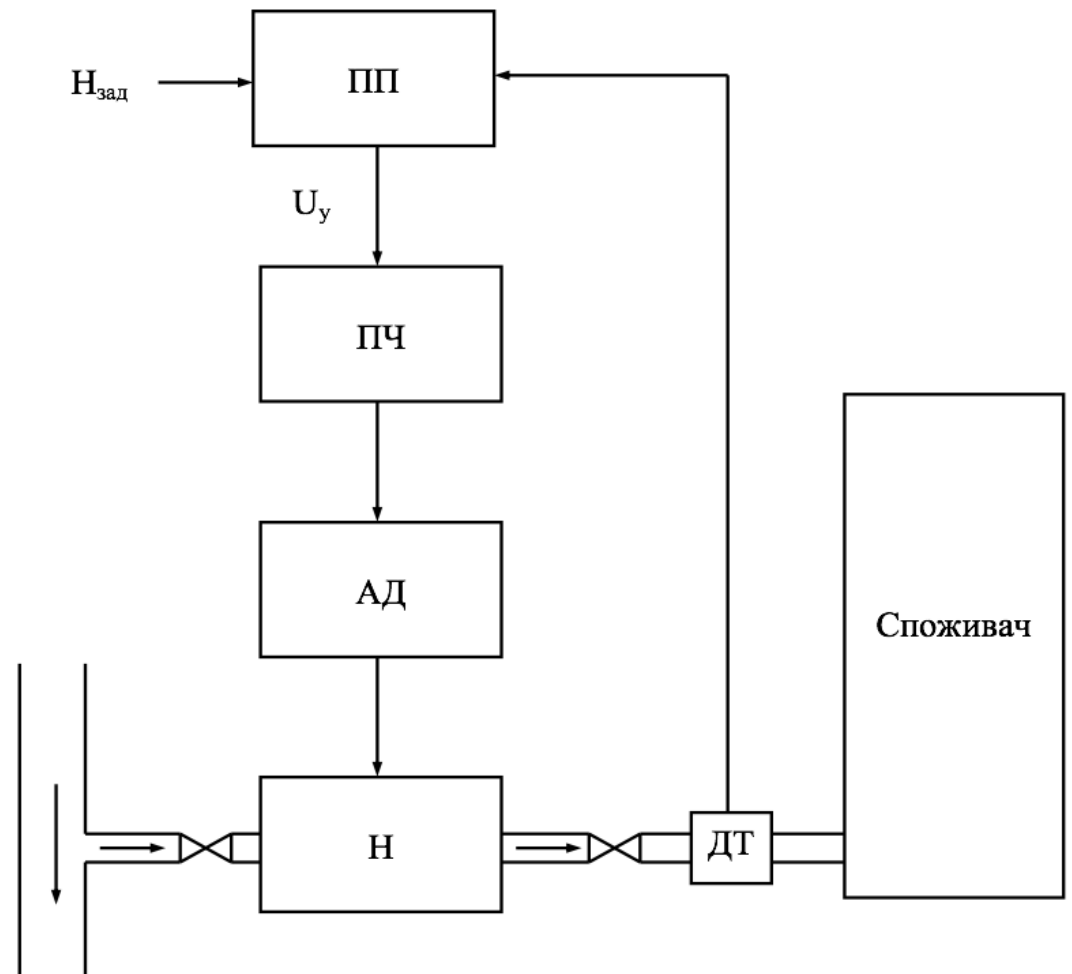


Рисунок Б.4—Функціональна схема автоматичного керування системою водопостачання

Продовження додатку Б

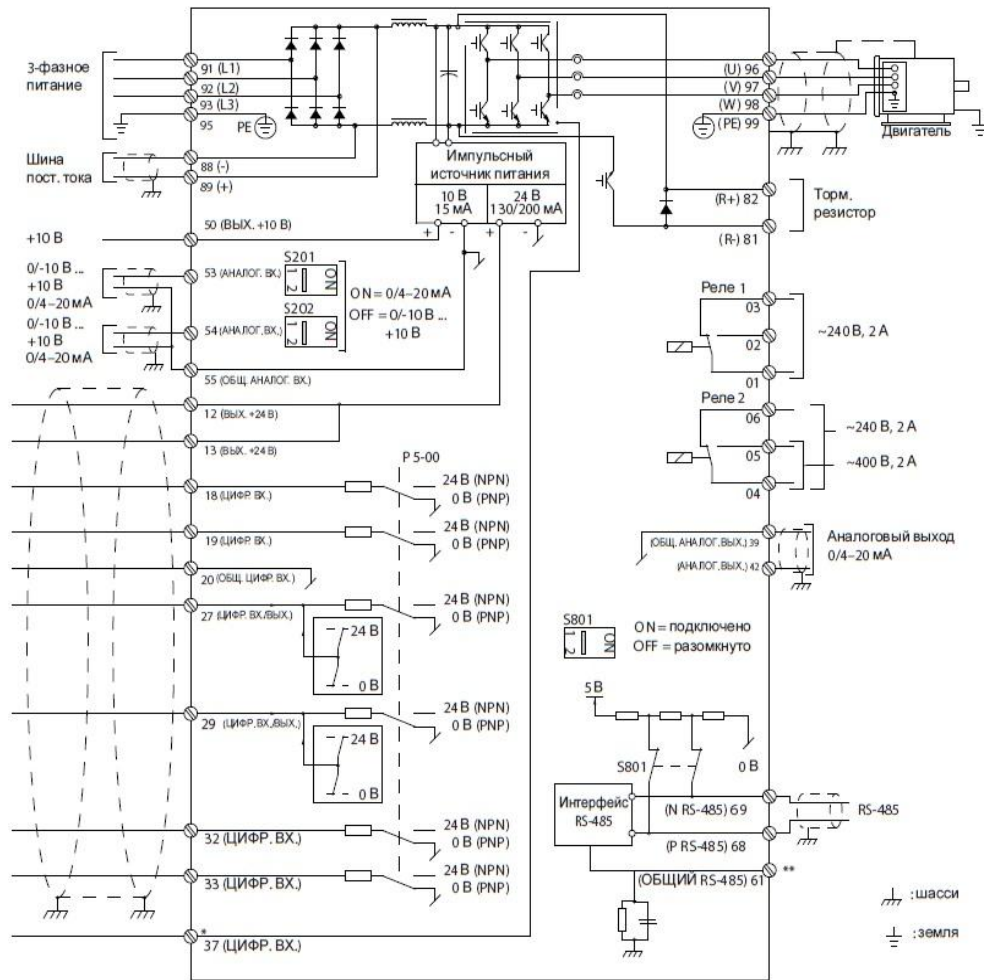


Рисунок Б.5 – Схема основних підключень ПЧ VLT AQUA Drive FC-

Продовження додатку Б

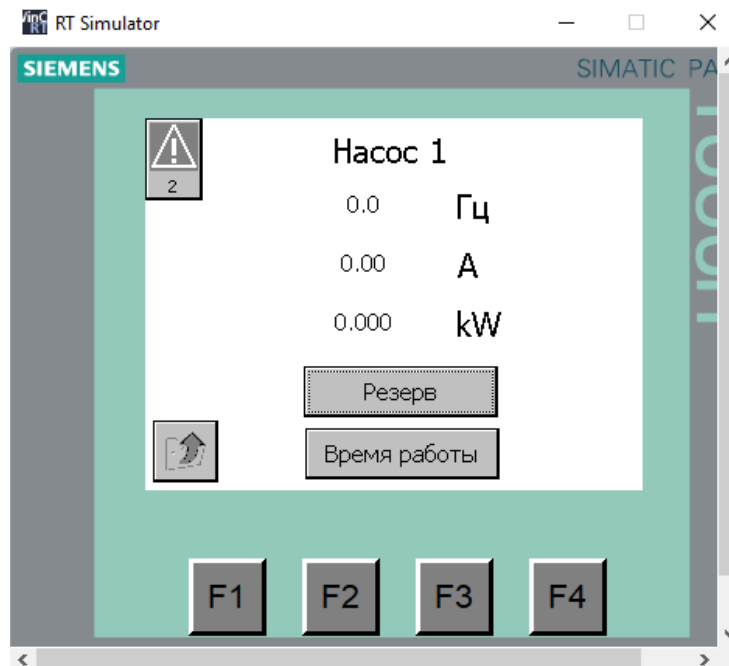


Рисунок Б.6 – Симуляція роботи панелі оператора для відображення основних показників двигуна насосу

Продовження додатку Б

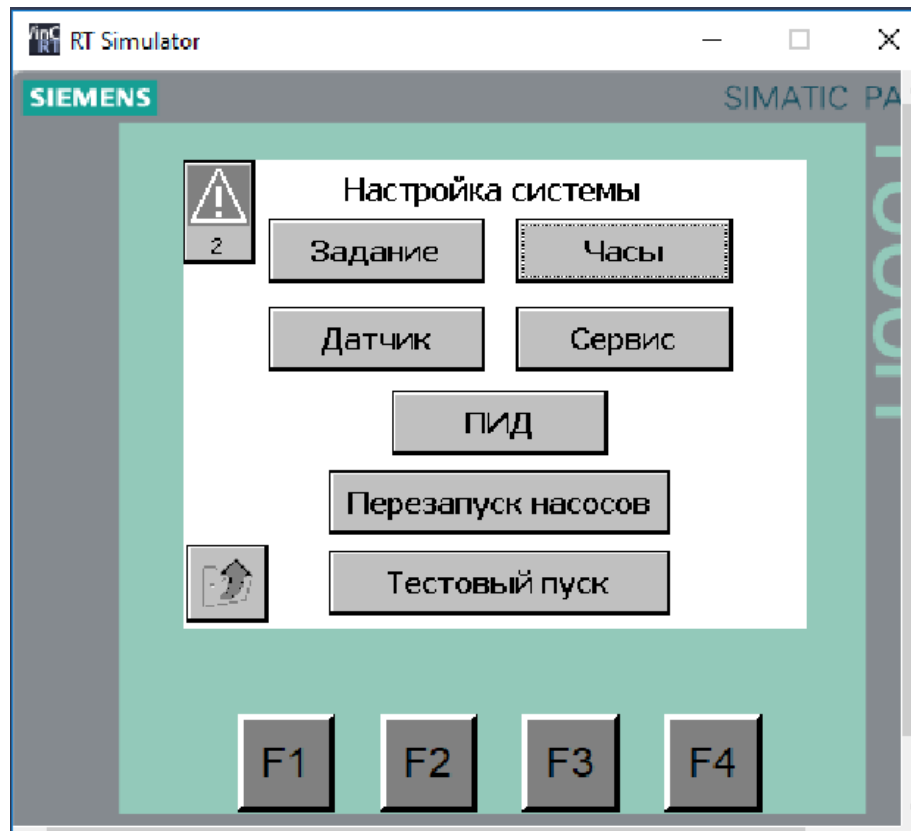
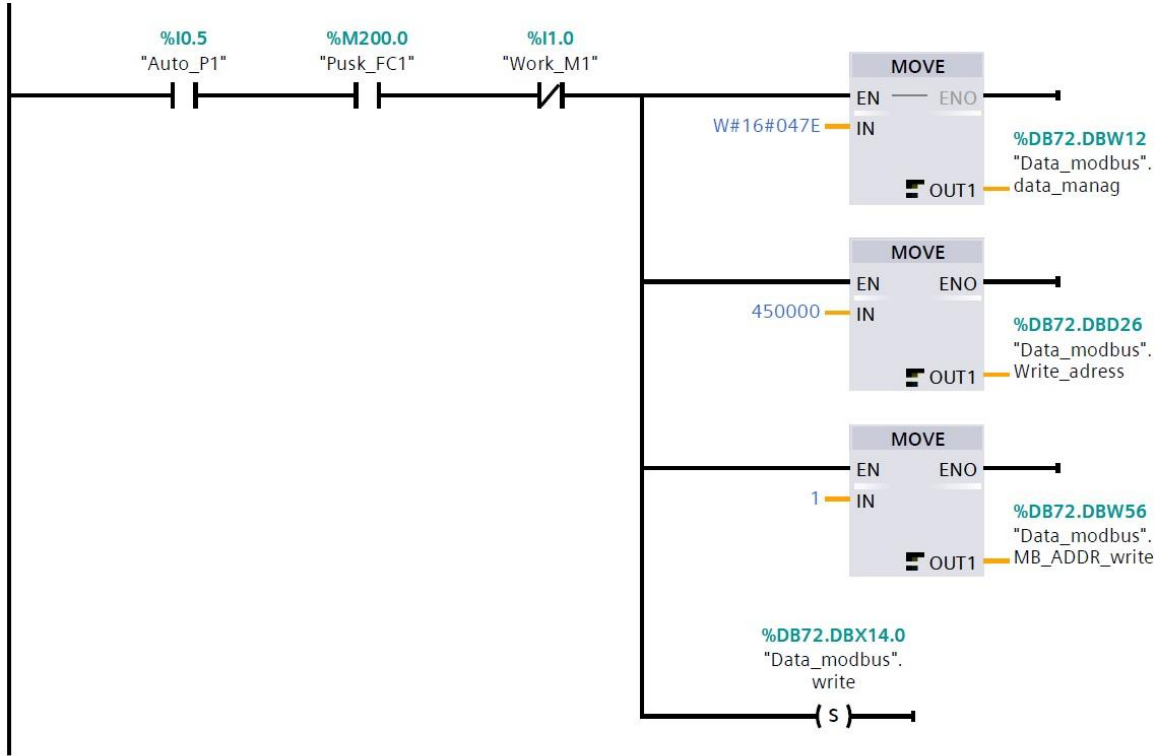


Рисунок Б.7 – Панель налаштування системи

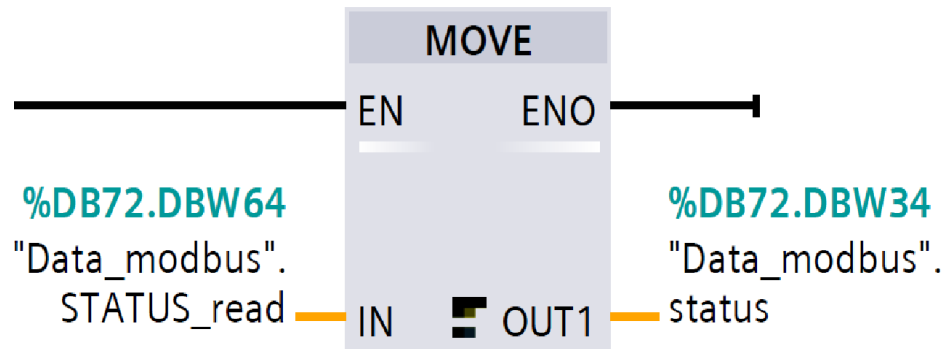


Додаток В  
 (обов'язковий)  
 Лістинг програми

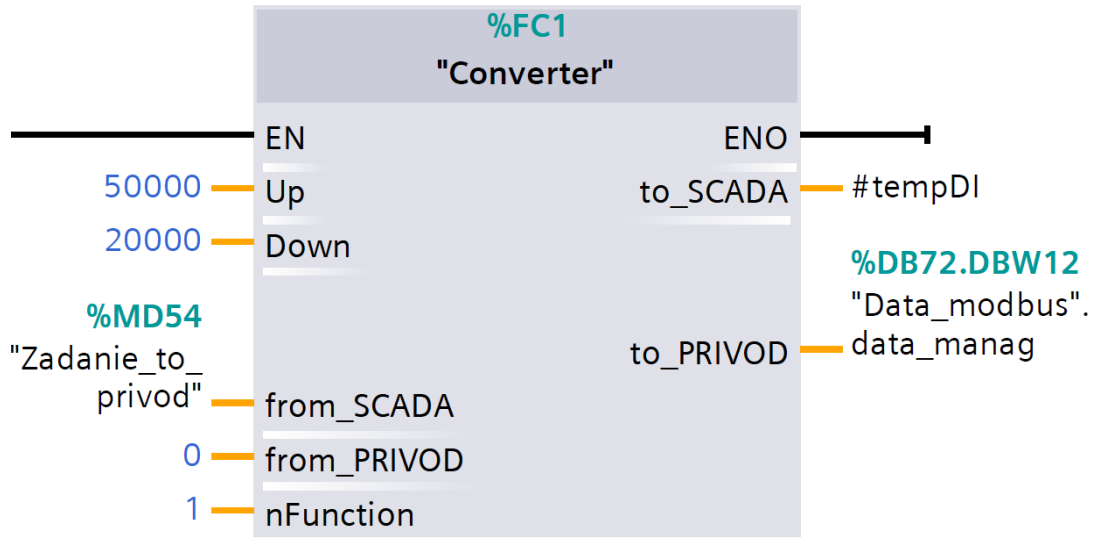
а) Робоча програма контроллера(запуск двигуна)



б) Блок MOVE



в) Блок FC



г) Блок DB

