

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
Чорноморський національний університет імені Петра Могили
Факультет комп'ютерних наук
Кафедра автоматизації та комп'ютерно-інтегрованих технологій

ДОПУЩЕНО ДО ЗАХИСТУ
В. о. завідувача кафедри АКІТ,
кандидат технічних наук, доцент

_____ М. І. Сіделєв
“ ____ ” _____ 2023 р.

МАГІСТЕРСЬКА НАУКОВА РОБОТА
на тему: **«Система автоматизації управління рівнем сипучих
продуктів»**

Пояснювальна записка

Спеціальність 151 «Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології»

151 – МНР – 671. 21717110

Студент _____ Курков М.Д.

Керівник _____ Щесюк О.В.

Консультант _____ Григор'єва Л.І.
(дата)

Миколаїв – 2023

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
Чорноморський національний університет ім. Петра Могили
 (повне найменування вищого навчального закладу)

Інститут, факультет, відділення: Комп'ютерних наук
 Кафедра, циклова комісія: Автоматизація та КІТ
 Освітньо-кваліфікаційний рівень: рівень вищої освіти другий (магістр)

Напрямок підготовки 151 «Автоматизація та приладобудування»
 (шифр і назва)

Спеціальність 151 «Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології»
 (шифр і назва)

ЗАТВЕРДЖУЮ

В.о.завідувача кафедри, голова циклової комісії

Сідєлєв М. І. _____
 “ ____ ” _____ 2022 р

З А В Д А Н Н Я
НА МАГІСТЕРСЬКУ НАУКОВУ РОБОТУ

_____ Курков Микита Дмитрович _____

(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема проекту (роботи)

“Система автоматизації управління рівнем сипучих продуктів”

Керівник проекту (роботи) канд.техн.наук, доцент Щєсєук Олег Володимирович,

затверджені наказом вищого навчального закладу від “ ____ ” _____ 2022 р. № ____

2. Строк подання студентом проекту (роботи) 16.06. 2023

3. Вихідні дані до проекту (роботи)

Основна мета роботи полягає у підвищенні ефективності автоматизованих систем вимірювання та контролю рівня в переробній промисловості шляхом застосування сучасних вимірювальних засобів та дослідженню ефективності алгоритмів її налаштування та функціонування

4. Зміст розрахунково-пояснювальної записки (перелік питань, які потрібно розробити)

В першому розділі провести огляд існуючих реалізації систем керування рівнем сипучих продуктів та розглянути принципи на яких базуються дані системи

В другому розділі сформувати загальну концепцію системи автоматизації, для цього розробити структурну, принципову електричну та

функціональні схеми, визначити основні апаратні засоби які будуть застосовуватися в системі. Висунути вимоги до програмного забезпечення оператора.

В третьому розділі провести розробку математичної моделі системи керування. Виконати моделювання засобами Matlab або іншими.

В спеціальній частині розглянути питання з Охорони праці та безпека у надзвичайних ситуаціях

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

Структурна схема системи автоматизації керування сипучими продуктами

Функціональна схема системи автоматизації керування сипучими продуктами

Електричні принципові схеми основних компонентів системи автоматизації

Користувацький інтерфейс оператора

6. Консультанти розділів проекту (роботи)

| Розділ | Прізвище, ініціали та посада консультанта | Підпис, дата | |
|--------|--|----------------|------------------|
| | | завдання видав | завдання прийняв |
| 1 | Щесюк О.В., доцент кафедри АКІТ | 13.10.2022 | |
| 2 | Щесюк О.В., доцент кафедри АКІТ | 03.01.2023 | |
| 3 | Щесюк О.В., доцент кафедри АКІТ | 03.04.2023 | |
| 4 | Григор'єва Л.І., професор кафедри екології | 19.04. 2023 | |
| | | | |
| | | | |
| | | | |

7. Дата видачі завдання «17» жовтня 2022 р.

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

| № з/п | Назва етапів дипломного проекту (роботи) | Строк виконання етапів проекту (роботи) | Примітка |
|-------|--|---|----------|
| 1 | Затвердження пропозицій теми від керівника | 20.09.2022 | |
| 2 | Обговорення із студентом затвердженої теми | 01.10.2022 | |
| 3 | Формування завдання | 13.10.2022 | |
| 4 | Визначення актуальності, об'єкту, предмету | 01.11.2022 | |
| 5 | Пошук літератури, патентний пошук, уточнення задач дослідження | 15.11.2022 | |
| 6 | Виконання першої частини | 01.12.2022 | |
| 7 | Аналіз керівником записки першої частини (ЕВ*), формування зауважень та пропозицій | 29.12.2022 | |
| 8 | Опрацювання другої частини | 01.03.2023 | |
| 9 | Робота над третьою частиною | 03.04. 2023 | |
| 10 | Робота над розділом з охорони праці | 12.05. 2023 | |
| 11 | Передзахисти | 15.05. 2023 | |
| 12 | Передача (ДВ) кваліфікаційної роботи | 16.06. 2023 | |

*ЕВ – електронний варіант, ДВ – друкований варіант.

Студент _____ Курков М.Д.
(підпис) (прізвище та ініціали)

Керівник проекту (роботи)

_____ Щесюк О.В.
(підпис) (прізвище та ініціали)

АНОТАЦІЯ

Курков М.Д. Система автоматизації управління рівнем сипучих продуктів.

Магістерська робота на здобуття освітньої кваліфікації магістра з автоматизації та комп'ютерно-інтегрованих технологій. – Чорноморський національний університет імені Петра Могили, Миколаїв, 2023.

Дана магістерська дипломна робота присвячена розробці сучасної системи автоматизації керування рівнем сипучих продуктів та дослідженню ефективності алгоритмів її функціонування.

Об'єктом дослідження є Система вимірювання та керування рівнем сипучих матеріалів.

Предметом дослідження є моделі, методи та засоби удосконалення автоматизованих систем управління рівнем сипучих продуктів.

Магістерська робота складається з наступних розділів: загальна характеристика система автоматизації управління рівнем сипучих продуктів, концепція проектованої системи автоматизації керування рівнем, формування моделі та моделювання функціонування керування рівнем сипучих матеріалів

В спеціальній частині дипломної роботи з «Охорони праці» виконано оцінку показників якості на робочому місці при проектуванні автоматизованих систем та виконано розрахунок системи вентиляції для поліпшення мікроклімату на робочому місці інженера. В другій частині розглянуто питання цивільного захисту під час надзвичайних ситуації.

Магістерська робота складається з анотації на 2 сторінках, вступу, чотирьох розділів, висновків, переліку джерел посилання з 29 найменувань та спеціального розділу з охорони праці. Загальна кількість сторінок – 101, таблиць - 11, рисунків – 53, додаток - 1.

Ключові слова: Система автоматизації, Електромеханічний вимірювач рівня, PSO, GA, Modbus.

ABSTRACT

Kurkov M.D. Automation system for managing the level of bulk products.

Master's thesis for obtaining a master's degree in automation and computer-integrated technologies. – Petro Mohyla Black Sea National University, Mykolaiv, 2023.

This master's thesis is devoted to the development of a modern automation system for controlling the level of bulk products and the study of the effectiveness of algorithms for its operation.

The object of the study is the System of measuring and controlling the level of bulk materials.

The subject of research is models, methods and means of improving automated systems for managing the level of bulk products.

The Master's work consists of the following sections: general characteristics of the automation system for managing the level of bulk products, the concept of the designed automation system for level management, model formation and simulation of the functioning of the management of the level of bulk materials

In the special part of the thesis on "Occupational safety", the assessment of quality indicators at the workplace during the design of automated systems and the calculation of the ventilation system to improve the microclimate at the engineer's workplace were performed. The second part deals with the issue of civil protection during emergency situations.

The master's thesis consists of a 2-page abstract, an introduction, four chapters, conclusions, a list of 29 references and a special section on occupational health and safety. The total number of pages – 101, tables – 11, figures – 53, appendix – 1.

Keywords: Automation system, Electromechanical level meter, PSO, GA, Modbus.

Зміст

| | |
|---|-----------|
| ВСТУП | 9 |
| 1 ЗАГАЛЬНА ХАРАКТЕРИСТИКА СИСТЕМА АВТОМАТИЗАЦІЇ УПРАВЛІННЯ РІВНЕМ СИПУЧИХ ПРОДУКТІВ | 10 |
| 1.1 Огляд існуючих систем управління рівнем сипучих продуктів та принципів їх роботи..... | 10 |
| 1.1.1 Система управління рівнем на основі ротаційного датчика (сигналізатора) рівня сипких матеріалів РСУ80..... | 11 |
| 1.1.2 Система управління рівнем на основі датчика вібраційного типу ILVA01EA31 | 12 |
| 1.1.3 Система управління рівнем на основі датчика ємнісного типу FineTek SA | 14 |
| 1.1.4 Система управління рівнем на основі безконтактних радарних рівнемірів Rosemount™ 5408 | 15 |
| 1.1.5 Система управління рівнем на основі радарних рівнемірів із спрямованою хвилею GRLM–70 «Miranda»..... | 19 |
| 1.1.6 Система управління рівнем на основі ультразвукових рівнемірів Nivelco ECHOTREK..... | 22 |
| 1.2 Огляд інтерфейсів сполучення датчиків з обчислювальними системами | 23 |
| 1.2.1 Інтерфейс струмової петлі 4-20мА..... | 24 |
| 1.2.2 Інтерфейс RS-232..... | 25 |
| 1.2.3 Інтерфейс RS-485..... | 27 |
| 1.2.4 Інтерфейс CAN | 29 |
| 1.3 Постановка задачі дослідження для системи автоматизації управління рівнем сипучих продуктів | 30 |
| ВИСНОВКИ ДО РОЗДІЛУ 1 | 31 |
| 2 КОНЦЕПЦІЯ ПРОЕКТОВАНОЇ СИСТЕМИ АВТОМАТИЗАЦІЇ КЕРУВАННЯ РІВНЕМ..... | 32 |
| 2.1 Розробка функціональних схем (принципових, електричних, технологічних тощо) системи керування рівнем, визначення характеристик базових елементів | 32 |

| | |
|--|------------|
| 2.2 Розробка алгоритму функціонування Системи керування рівнем в цілому | 37 |
| 2.4 Вимоги до програмного забезпечення | 38 |
| 2.4 Опис апаратних засобів в Системі керування рівнем сипучих продуктів..... | 40 |
| ВИСНОВКИ ДО РОЗДІЛУ 2 | 47 |
| 3 ФОРМУВАННЯ МОДЕЛІ ТА МОДЕЛЮВАННЯ ФУНКЦІОНУВАННЯ СИСТЕМИ АВТОМАТИЗАЦІЇ КЕРУВАННЯ РІВНЕМ СИПУЧИХ МАТЕРІАЛІВ | 48 |
| 3.1. Загальна інформація | 48 |
| 3.2. Математична модель двигуна постійного струму | 49 |
| 3.4. Методи налаштування..... | 52 |
| 3.4.1 Класичний метод (КМ) | 52 |
| 3.4.2 Оптимізація рою частинок (PSO)..... | 55 |
| 3.4.3 Генетичний алгоритм | 57 |
| 3.4. Результати моделювання та порівняння | 59 |
| 3.4 Опис програмного забезпечення..... | 61 |
| ВИСНОВКИ ДО РОЗДІЛУ 3 | 72 |
| Охорона праці та безпека у надзвичайних ситуаціях | 73 |
| 4.1 Санітарно-гігієнічні норми до виробничого приміщення інженерних розробок | 74 |
| 4.2 Заходи з безпеки в надзвичайних ситуаціях | 84 |
| ВИСНОВКИ ДО РОЗДІЛУ 4 | 91 |
| ВИСНОВКИ | 92 |
| ПЕРЕЛІК ДЖЕРЕЛ ПОСИЛАННЯ..... | 94 |
| ДОДАТОК А РЕЗУЛЬТАТИ МОДЕЛЮВАННЯ..... | 100 |

ВСТУП

Актуальність роботи: Навіть за складних умов в країні, велика кількість промислових підприємств потребують точного та швидкого контролю різноманітних параметрів технологічного процесу.

Контроль параметрів є актуальною темою через цілеспрямоване знищення країною-агресором підприємств які виконують зберігання, транспортування та переробку різноманітних сипких продуктів. Деякі підприємства тимчасово не працюють, або змінюють свою локацію до інших місць, зокрема відтворюють виробництво в західних областях Країни. Таким чином виникає необхідність в розробці нових автоматизованих систем(Система), які будуть задовольняти всім сучасним вимогам та можуть бути легко встановлені на нових об'єктах підприємства.

Прикладом таких Систем є системи вимірювання та контролю рівня різноманітних сипких продуктів в ємності. Дана Система дозволяє більш точно і ефективно контролювати технологічні процеси , що гарантує оптимальні режими роботи підприємства. Таким чином також можна покращити якість продукції та її конкурентоспроможність на ринку.

Використання системи контролю рівня також полегшує роботу оператора з обліку продукту, що має велику роль на великих підприємствах.

Мета роботи полягає у підвищенні ефективності автоматизованих систем вимірювання та контролю рівня в переробній промисловості шляхом застосування сучасних вимірювальних засобів та дослідженню ефективності алгоритмів її налаштування та функціонування .

Об'єктом дослідження є Система вимірювання та керування рівнем сипучих матеріалів.

Предметом дослідження є моделі, методи та засоби удосконалення автоматизованих систем управління рівнем сипучих продуктів.

1 ЗАГАЛЬНА ХАРАКТЕРИСТИКА СИСТЕМА АВТОМАТИЗАЦІЇ УПРАВЛІННЯ РІВНЕМ СИПУЧИХ ПРОДУКТІВ

1.1 Огляд існуючих систем управління рівнем сипучих продуктів та принципів їх роботи

На даний момент існує велика кількість систем як і вітчизняного так і закордонного виробництва, які можуть виконувати вимір та контроль рівня продукту. Такі системи реалізують різноманітні методи, які основані на різних фізичних явищах.

Найбільш розповсюджені методи вимірювання та контролю рівня, що дозволяють перетворювати значення рівня в електричні величини та виконувати автоматизацію виробничих процесів можна поділити на контактні:

- Механічний;
- Вимірювання електричної ємності;
- Гідростатичний;
- Буйковий;
- Ротаційні;
- Вібраційні.

безконтактні:

- Зондування ультразвуком;
- Зондування електромагнітним випромінюванням
- Радіоактивний рівнемір

Перед початком роботи варто розглянути існуючі реалізації та розглянути принципи на яких базуються дані системи.

1.1.1 Система управління рівнем на основі ротаційного датчика (сигналізатора) рівня сипких матеріалів РСУ80

Даний датчик, компанії АКУТЕК, використовується для сигналізації рівня сипких матеріалів, таких як мука, зерно, крохмаль, цукор, соняшник, комбікорми, стружка, тощо. [1]

Принцип дії оснований на обертанні металевих лопаток зі сталою швидкістю. При надходженні продукту, обертання зупиняється, та реактивний момент який виникає, перемикає кінцевий вимикач який знаходиться в середині герметичного корпусу.

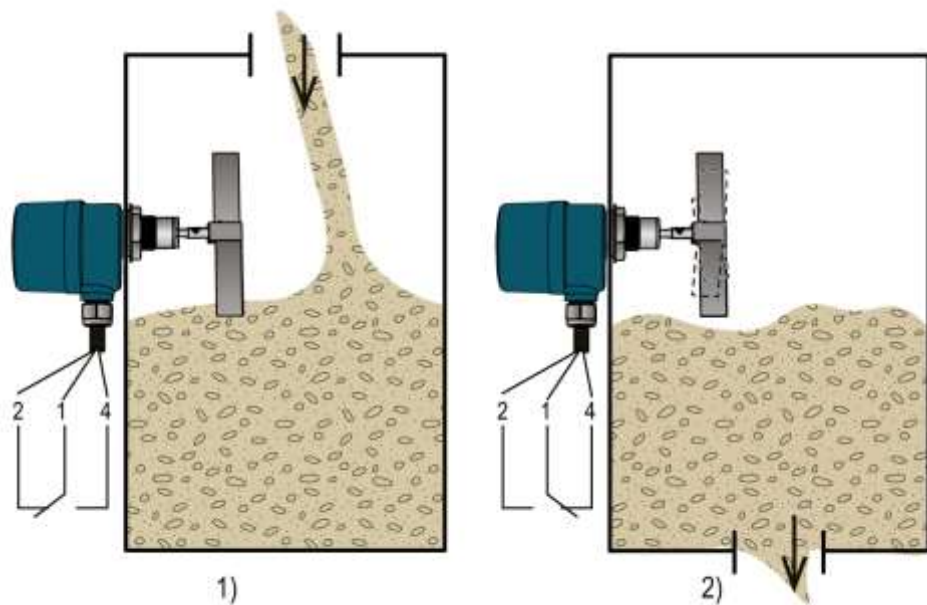


Рисунок 1.1 - Принцип дії датчика РСУ80

1) – при спрацюванні 2) - нормальний режим роботи

Такі датчики ще називають датчиками граничного рівня, бо вони можуть сигналізувати лише про надходження продукту до певного(граничного) рівня.

Зазвичай такі датчики встановлюються на верху ємності, або знизу, аби не перевантажувати ємність та забезпечити її оптимальне заповнення.

Даний датчик має захищений корпус за стандартом IP65 та може витримувати температури продукту від -10 до $+80^{\circ}$ С. Також важливою характеристикою даного датчика є густина робочого середовища: від 210 г/л.

Даний датчик може працювати лише з напругою живлення в 220В, що може бути проблемою на об'єктах де використання високої напруги живлення не можливе з міркувань безпеки.

Для підключення до системи автоматизації даний датчик містить у собі релейний вихід, який дозволяє під'єднати його, наприклад, до ПЛК(програмований логічний контролер), або за допомогою релейного виходу можна комутувати навантаження, наприклад вимикати мотор, тощо.

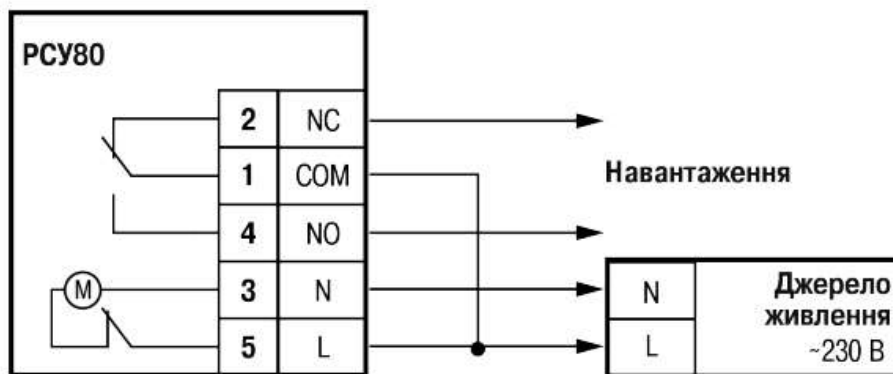


Рисунок 1.2 - Схема підключення датчика РСУ80

На схемі підключення(рисунок 1.2) можна бачити релейний вихід, з цієї схеми видно, що датчик містить один нормально замкнений контакт(NC) та один нормально розімкнутий контакт(NO).

Як можна зрозуміти, цей датчик не може використовуватись як елемент системи, яка вимірює контроль рівня продукту, а лише вказує на конкретний рівень.

1.1.2 Система управління рівнем на основі датчика вібраційного типу ILVA01EA31

Датчик італійського виробника TOREX S.p.A. - ILVA01EA31, даний датчик як і попередній використовується зазвичай для вимірювання сипких матеріалів таких як мука, зерно, крохмаль, цукор, соняшник, комбікорми, стружка, тощо. [2]

Принцип дії даного датчика оснований на перетворенні механічної енергії коливань вилки, яка встановлена на корпус датчика, в електричний сигнал.

Таким чином, в нормальних умовах вилка датчика виконує коливання, до тих пір, доки продукт не зупинить це коливання. Після цього логіка датчика помічає ці зміни, та подає сигнал на вихід. Як і в попередньому варіанті, виходом в даному випадку є реле, яке замикається коли продукт дійшов до рівня, та розмикається при відсутності перепон.



Рисунок 1.3 - Датчик вібраційний ILVA01EA31

На відміну від датчика РСУ80, даний тип може бути заживлений широким діапазоном напруги, від 19 до 230В. Також, корпус датчика має захист за стандартом IP66, що не є дуже суттєвою відмінністю. А ось температура продуктів, що можуть бути виміряні варіюється від -40 до 150°C.

Датчики які засновані на цьому принципі мають можливість самоочищатися під дією коливань високої частоти.

Також може встановлюватися в вибухонебезпечних АТЕХ-зонах 20/21.

Схема підключення майже ідентична тій що представлена на схемі рисунку 1.2 та не потребує особливих пояснень.

Даний тип датчика також є датчиком граничного рівня.

1.1.3 Система управління рівнем на основі датчика ємнісного типу FineTek SA

Ємнісний датчик рівня Тайванського виробника FineTek(рис. 1.4) також використовується для вимірювання сипких продуктів, та на відміну від ротаційного датчика, може вимірювати граничний рівень рідин. [3]

Даний датчик може похвалитися неймовірно широким діапазоном допустимих температур продукту: від -20°C до $+800^{\circ}\text{C}$, та високою надійністю, через те, що не містить деталей які виконують механічний рух(обертання або коливання).



Рисунок 1.4 - Ємнісний датчик рівня

Принцип дії даного типу датчиків засновано на вимірюванні електричної ємності, так само як і сенсорний екран сучасного мобільного телефону, датчик містить в собі еталону ємність(конденсатор), час заряджання якого явно відомий, сам датчик складається зазвичай з однієї обкладинки, а сам матеріал, що вимірюється є другою обкладинкою. Таким чином, ємність зіставляється з еталоном, та отримується відносне значення ємності, яке свідчить про те, чи досяг матеріал поверхні датчика чи ні.

Особливістю цього типу датчиків є те, що зазвичай для різних типів матеріалів повинно виконуватись калібрування уставки, що дещо ускладнює

використання цього типу датчиків. Калібрування уставки зазвичай виконується за допомогою герметичних кнопок на корпусі, або за допомогою потенціометра, який встановлено всередині корпусу.

Наприклад, датчик виробництва FineTek на своєму корпусі містить рідкий кристалічний дисплей(РКД) та клавіатуру, які дозволяють зручно налаштовувати прилад.

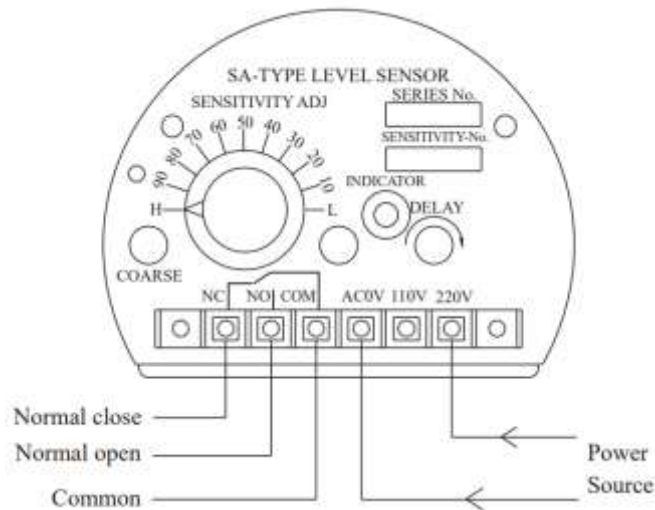


Рисунок 1.5 - Панель налаштування датчиків серії SA110, 120, 130, 150, 160, 17

Широкий діапазон робочих напруг живлення: 110/220 В АС або 16-24 В DC.

Як і датчик виробництва Torex може бути встановлений в вибухонебезпечних зонах.

Також даний датчик містить токовий вихід 4-20, що трохи розширює його можливості для підключення до автоматизованих систем.

1.1.4 Система управління рівнем на основі безконтактних радарних рівнемірів Rosemount™ 5408

Системи які основані на датчиках Rosemount 5408 можуть бути використані для вимірювання точного рівня продукту сипких матеріалів на відміну від попередніх типів. [4]



Рисунок 1.6 - Радарні рівнеміри Rosemount™ 5408 з різним типом антени

1 – конусна антена; 2 – плоска антена с ущільнювачем; 3 – параболічна антена

Даний датчик заснований на принципі неперервного випромінювання з частотною модуляцією (FMCW - Frequency-Modulated Continuous Wave radar) (рис. 1.7). В рівнемірах FMCW виконується неперервне випромінювання лінійно-частотно модульованого сигналу и одночасно прийом відбитого сигналу однією і тією ж антеною. Таким чином на виході отримується змішаний сигнал який аналізується програмно-математичними засобами для виділення ехо-сигналу. В кожний момент часу різниця частоти зворотного та прямого сигналу пропорційна рівню продукту в ємності. [5]

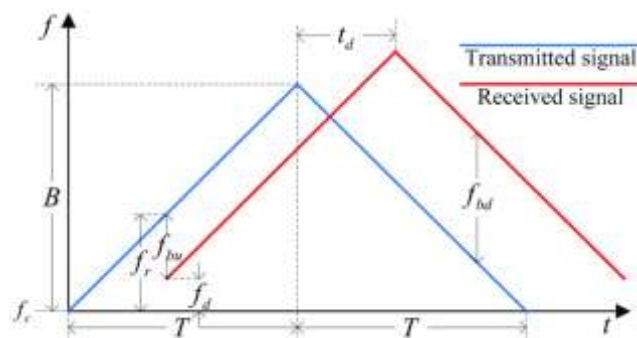


Рисунок 1.7 - Приклад сигналу FMCW

Для різного типу ємності може використовуватися різний тип антени для поліпшення роботи Системи. Наприклад, параболічна антена (рис. 1.6(3)) може використовуватися в умовах з низькою відбивною здатністю та великих відстанях.

Цей принцип дозволяє збільшити надійність та точність вимірювання та може використовуватися як для сипучих матеріалів так і для різноманітних рідин. Після виконання монтажу датчик не потребує додаткового калібрування або налаштування як, наприклад, датчики ємнісного типу.

Проблемою з використанням цього типу датчиків в бункерах з сипучими матеріалами може бути осадження пилу на антену, яка генерує сигнал. Для вирішення цієї проблеми використовується система яка продуває антену та тим самим очищує її.

Напруга живлення варіюється від: 12 до 48В в звичайному виконанні, та 12-30В в іскрозахищеному варіанті, що розширює діапазон сфер використання даних датчиків.

Температура середовища вимірювання: від -60 до +250°C.

Як і в датчика виробництва FineTek, на датчиках Rosemount™ 5408 на боковій панелі вмонтовано РК дисплей для відображення(рис 1.8):

- Широкого діапазону змінних, таких як рівень, швидкість зміни рівня, об'єм продукту, відстань від опорної точки до поверхні середовища.
- Типу пристрою та протоколу зв'язку;
- Версії програмного забезпечення;
- Серійного номеру;
- Адресу пристрою;

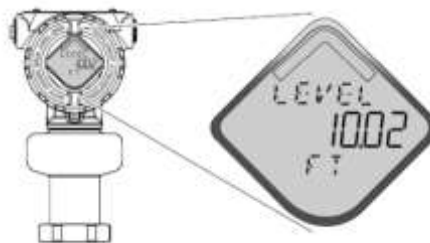


Рисунок 1.8 - Дисплей датчика Rosemount™ 5408

Для комунікації використовується або струмова петля 4-20 мА, або промисловий інтерфейс FOUNDATION Fieldbus, використання даних інтерфейсів зумовлено тим, що потрібно передавати значно більше даних аніж

в попередніх типах систем. За допомогою цих інтерфейсів можна передавати в реальному часі дані про конкретний рівень продукту в ємності та виводити ці значення на панелі керування оператора у вигляді процентів заповнення ємності або конкретного рівня.

Використання цифрових інтерфейсів зв'язку робить можливим зручне відображення значень рівня та багато інших параметрів на комп'ютері, у купі з програмним забезпеченням Rosemount Radar Master Plus. Дане програмне забезпечення дозволяє перш за все відображати значення рівня в зручному для оператора вигляді. Також дане програмне забезпечення дозволяє виконувати перевірку стану обладнання.

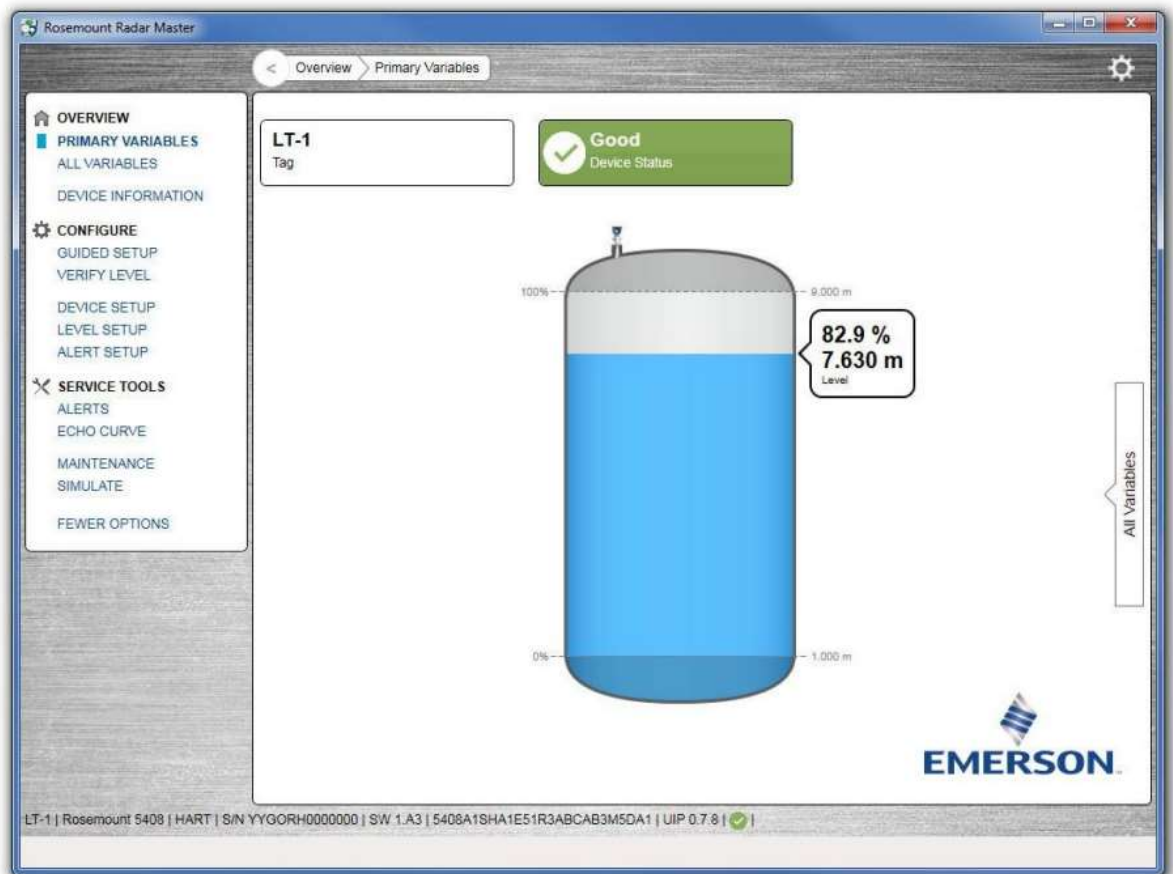


Рисунок 1.9 - Вікно програми Rosemount Radar Master Plus

На рисунку 1.9 зображено головне вікно програми яке бачить оператор, на екрані відображається рівень в ємності у відсотках та метрах відносно дна та стан самого датчику.

Не дивлячись на універсальність таких типів Систем, вони доволі дорогі та використовують складні алгоритми функціонування. Наприклад даний тип датчика як було сказано раніше, потребують системи очищення антени від пилу. Також такі системи виставляють високі вимоги до обчислювальних систем, таких як наприклад мікроконтролери.

1.1.5 Система управління рівнем на основі радарних рівнемірів із спрямованою хвилею GRLM–70 «Miranda»

Даний датчик, як і попередній також може вимірювати точний рівень продукту в ємності, але працює трохи за іншим принципом.



Рисунок 1.9 - Зовнішній вигляд датчика GRLM–70 «Miranda»

1 – з жорстким хвилеводом; 2 – з гнучким хвилеводом;

В основі даного типу датчика покладено принцип вимірювання рефлектометрії інтервалу часу (TDR - Time Domain Reflectometer). Електроніка датчика передає електромагнітні імпульси через жорсткий або гнучкий хвилеводом(зазвичай трос або металевий стержень) та на границі розподілу середовищ імпульс відбивається та повертається назад, час проходження сигналу вимірюється та перетворюється в значення рівня. [6]

Так само як в попередньому варіанті на вимірювання впливає форма антени, так само і тут впливає тип та інші параметри хвилеводу. Але в

більшості випадків це впливає на температуру вимірюваного продукту та агресивність середовища. Так варіант GRLM-70N(Xi,Xd)-10(20) може вимірювати продукт з температурою від: -40° до $+300^{\circ}\text{C}$.

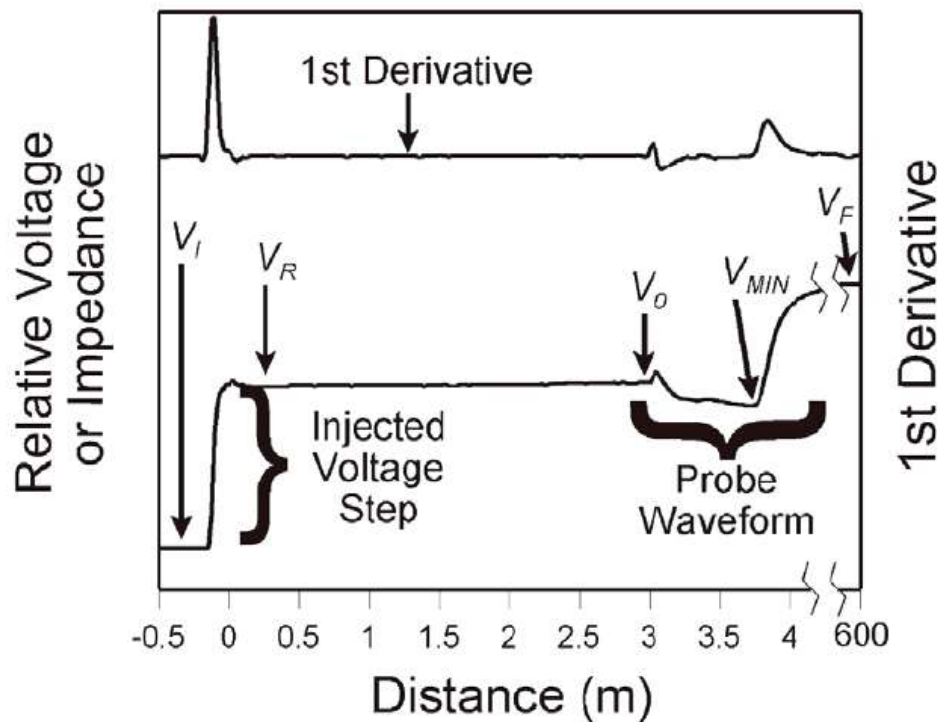


Рисунок 1.10 - Вигляд сигналу при проходженні границі розділу середовищ

Використання зонду для вимірювання накладає деякі обмеження у використанні даного типу вимірювача. По-перше вимірювання виконується лише в одній точці, наприклад в силосах в яких знаходиться зерно, після завантаження форма продукту утворює конус, що може спричинити до не зовсім вірних значень рівня. По-друге, часто на дні ємності знаходяться металеві частини, зачисні шнеки, змішувачі, тощо. Неправильне встановлення може спровокувати вихід датчика з ладу. [7]

Даний датчик також має широкий діапазон напруги живлення: від 18 до 36V DC.

Розглядаючи це датчик не можна не сказати про інтерфейси та протоколи його зв'язку с Системою. Цей датчик може працювати як і по струмовій петлі 4-20, що не є чимсь новим, а ось використання дуже популярного промислового інтерфейсу RS-485 та ще й з протоколом Modbus

RTU робить його досить універсальним у використанні. Даний інтерфейс може забезпечити достатньо захищену лінію зв'язку через використання диференційного сигналу, що зменшує вплив синфазних перешкод. Так як сигнал передається в прямому вигляді та в інверсному, то похибка просто видаляється з сигналу простим відніманням одного сигналу з іншого.

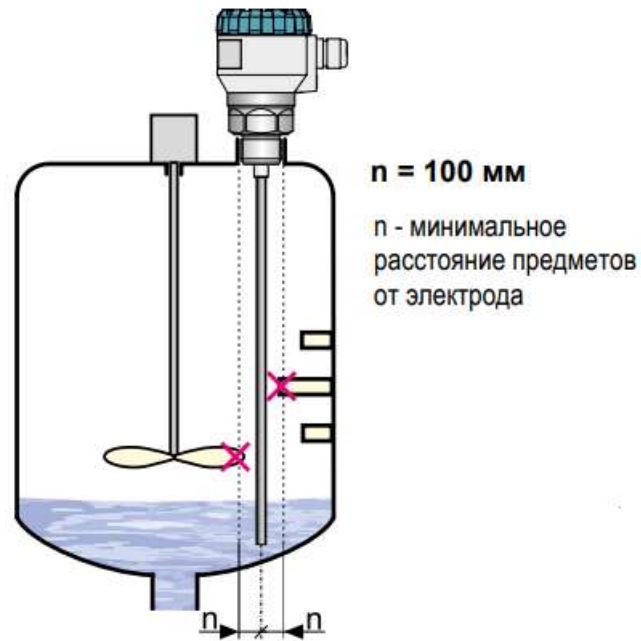


Рисунок 1.9 - Приклад неправильного встановлення датчика.

Протокол Modbus RTU підтримується багатьма виробниками апаратних засобів автоматизації, що робить інтеграцію такого датчика досить тривіальною задачею.

1.1.6 Система управління рівнем на основі ультразвукових рівнемірів Nivelco ECHOTREK

Даний датчик також є безконтактним вимірювачем рівня, але використовує інше фізичне явище для вимірювання.



Рисунок 1.11 - Ультразвуковий рівнемір Nivelco ECHOTREK.

Принцип роботи оснований на створенні ультразвукового сигналу, який відбивається від продукту, та повертається до приймача. Таким чином, знаючи швидкість розповсюдження звуку, та час, за який сигнал повернувся назад, можна знати точне значення рівня в реальному часі. Цей принцип дає можливість вимірювати рівень в умовах запиленості та шумів.

Точність вимірювання не залежить від властивостей продукту (наприклад, від діелектричної сталої, провідності, щільності та вологості). Налипання продукту не погіршує точність вимірювання за рахунок ефекту самоочищення, через вібрацію діафрагми сенсора

При правильному монтажі даний датчик може коректно вимірювати рівень в ємності, при завантаженні якої утворюється конусна поверхня.

Так як швидкість звуку залежить від температури повітря, то даний датчик має функцію температурної компенсації, що дозволяє підлаштовувати вимірювання під температуру середовища.

Також в залежності від типу випромінювача(рис. 1.11), може змінюватися кут пучка випромінювання: від 5 до 7 градусів.



Рисунок 1.11 - Варіанти ультразвукового випромінювача.

Температура вимірюваного продукту варіюється: від -30° до $+90^{\circ}$.

Напруга живлення варіюється: від 12 до 36В DC, та від 85 до 255В AC в залежності від виконання датчика.

Даний датчик може зберігати в собі більше 10000 даних про вимірювання. Дані про вимірювання можуть бути перенесені до комп'ютера оператора, що не є дуже зручним. Найбільш прийнятним варіантом є інтеграція до SCADA-системи, яка може відображати рівень у відсотках або метрах, як наприклад програмне забезпечення датчиків Rosemount Radar Master Plus.[8]

В залежності від модифікації датчик підтримує передачу даних через інтерфейс RS-485 та протокол Modbus RTU, що знову ж таки робить інтеграцію до відомих SCADA-систем досить тривіальною задачею.

1.2 Огляд інтерфейсів сполучення датчиків з обчислювальними системами

В попередньому підрозділі було згадування таких інтерфейсів зв'язку як струмова петля 4-20мА та RS-485, проте на даний момент сучасні автоматизовані системи не обмежуються лише цими двома інтерфейсами, хоча вони і є найбільш популярними.

Розглянемо більш детально фізичні властивості та апаратно-програмні особливості реалізації деяких інтерфейсів.

1.2.1 Інтерфейс струмової петлі 4-20мА

Інтерфейс 4-20мА було розроблено в 1960х роках для використання в телетайпах, для передачі повідомлень між двома клієнтами, проте спочатку він використовував струм в 60мА, проте в наступних моделях вже використовувався струм значенням в 20мА.

На відміну від інтерфейсів RS-232 та RS-485, де данні кодуються за допомогою зміни напруги, як можна зрозуміти в інтерфейсі 4-20мА використовується зміна значення струму. [9]

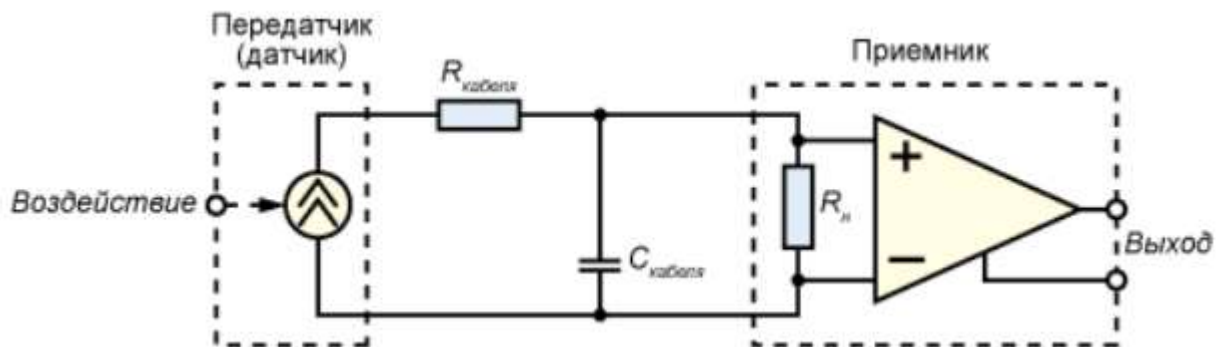


Рисунок 1.12 - Варіанти ультразвукового випромінювача.

Даний інтерфейс може бути як цифровим, так і аналоговим. У аналоговому варіанті дані передаються через пару дротів, та струму в 4мА відповідає найменше значення, а струму в 20мА відповідає максимальне значення, таким чином весь діапазон це 16мА. За цим принципом також реалізується самодіагностика, тобто струм менше 4мА може бути розцінений як обрив лінії, та значення більше 20мА свідчить про коротке замкнення лінії.

В цифровому варіанті передачі значенню в 4мА відповідає логічний нуль, а значенню 20мА логічна одиниця. Та дані кодуються так само, як і в RS-232.

Через не ідеальність джерела струму, максимальна довжина лінії залежить від напруги живлення, яка живить джерело струму. Таким чином, при живленні 12В, опір провідника не повинен перебільшувати аніж 600 Ом.

Однією з переваг даного інтерфейсу є те, що малопотужні пристрої можуть живитися напряду через дроти інтерфейсу. Тобто через дріт живлення може проходити також корисний сигнал.

Ще із основних переваг даного інтерфейсу можна віднести наступне:

- Точність передачі даних не залежить від довжини і опору лінії, через те, що джерело струму завжди буде підтримувати потрібний рівень струму;
- Велика дальність(декілька км);
- Висока електромагнітна захищеність, через використання екранованого дроту;
- Можливість під'єднати декілька пристроїв до одної лінії зв'язку.

Недоліком є невелика швидкість передачі даних зазвичай не перевищує 9 кбіт/с.

1.2.2 Інтерфейс RS-232

Даний стандарт інтерфейсу був запропонований в 1962 році Асоціацією електронної промисловості (EIA) для використання в телекомунікаційному обладнанні.

Інтерфейс використовує зміну напруги для кодування інформації, так рівню напруги від +5В до +15В відповідає логічне значення 0, а напруга від -5 до -15В відповідає логічній одиниці. Інтерфейс є повнодуплексним, що означає, що інформація може передаватися одночасно в обидві сторони(від передавача до приймача та навпаки.).

Стандарт інтерфейсу передбачає використання 9ти дротів для передачі даних, проте можна обійтися лише 3ма, це RX, TX, та GND. Де RX це приймач, TX передавач, а GND загальний дріт. Іноді дане маркування може плутати, через те, що під'єднання потрібно виконувати в такому, як би схрещеному вигляді, тобто передавач(TX) під'єднати до приймача(RX). [10]

В таблиці 1.1 наведено призначення всіх 9ти сигналів які декларуються стандартом.

Таблиця 1.1 – Опис сигналів інтерфейсу RS-232.

| Назва сигналу | Позначення | Опис |
|---------------|---------------------|---------------------------------|
| CD | Carrier Detect | Виявлення несучої |
| RXD | Receive Data | Приймання даних |
| TXD | Transmit Data | Передача даних |
| DTR | Data Terminal Ready | Готовність кінцевого обладнання |
| GND | Ground | Загальний дріт |
| DSR | Data Set Ready | Готовність обладнання передачі |
| RTS | Request to send | Запит на передачу |
| CTS | Clear to Send | Готовий передавати |
| RIC | Ring Indicator | Наявність сигналу виводу |

Має відносно велику швидкість передачі даних, проте вона зменшується зі зростанням довжини лінії, так при мінімальній довжині лінії швидкість може досягати значень в 115.2 кбіт/с або 921.6 кбіт/с, якщо обладнання підтримує таку швидкість, а на максимальній довжині лінії(приблизно 15м) можна отримати 9.6 кбіт/с як і в інтерфейсі 4-20мА.

Якщо в інтерфейсі 4-20 використовується схема керування струмом, то у випадку інтерфейсу RS-232 використовується синхронно-асинхронний передатчик UART, який міститься майже в усіх мікроконтролерних пристроях.

Розглянемо те, як в даному інтерфейсі передаються дані. На рисунку 1.13 зображено вигляд стандартного пакету даних.

Так, Clock Line відображає тактовий сигнал, за яким кодуються данні, Data-лінія відображає рівень напруги, перехід від високого рівня до низького

сигналізує про початок передачі даних, далі йде корисна інформація, зазвичай це 8 біт даних, потім їде біт парності, який слугує для виявлення помилок передачі даних та може не використовуватися. Кінець послілки завершується Stop бітом.

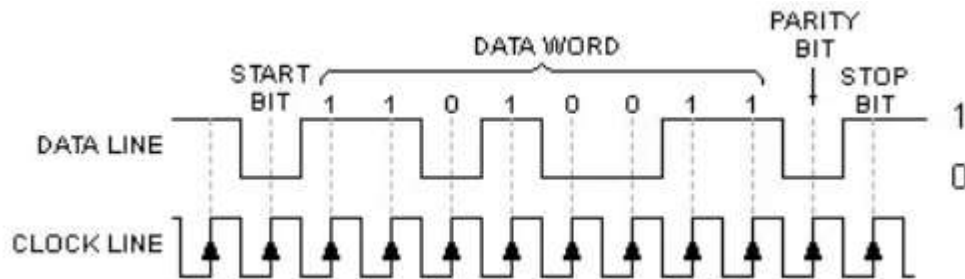


Рисунок 1.12 - Вигляд пакету даних RS-232.

Для захисту приймача та передавача від підвищеної напруги застосовується гальванічна розв'язка. Але, для захисту від високих значень напруги, таких як гроза, лінія потребує додаткових пристроїв захисту.

Недоліком цього інтерфейсу можна назвати те, що він дозволяє під'єднати лише один пристрій, тобто він працює по топології точка-точка.

1.2.3 Інтерфейс RS-485

Інтерфейс RS-485 схожий на інтерфейс RS-232, проте має ряд значних відмінностей. Порівняння характеристик інтерфейсів RS-485 та RS-232 відображено в таблиці 1.2.

Таблиця 1.2 – Порівняння RS-485 з RS-232

| Характеристика | RS-232 | RS-485 |
|--|-------------|--------------|
| Допустима кількість Rx и Tx | 10 Rx, 1 Tx | 32 Rx, 32 Tx |
| Максимально можлива довжина лінії інтерфейсу | 1200 м | 1200 м |
| Максимальна швидкість передачі даних | 10 мбіт/с | 10 мбіт/с |
| Діапазон напруги "1" передавача | +2...+10 В | +1.5...+6 В |
| Діапазон напруги "0" передавача | -2...-10 В | -1.5...-6 В |
| Максимальна напруга КЗ передавача | 151 мА | 251 мА |
| Допустимий опір навантаження передавача | 101 Ом | 55 Ом |
| Діапазон напруги вхідного сигналу Rx | ± 7.0 В | -7...+12 В |
| Рівень логічної одиниці Rx | > 201 мВ | > 201 мВ |
| Рівень логічного нуля Rx | < 201 мВ | < 201 мВ |

Передача даних відбувається через виту пару, за допомогою 3х проводів, перші два відповідають за диференційну пару, третій це GND або загальний дріт.

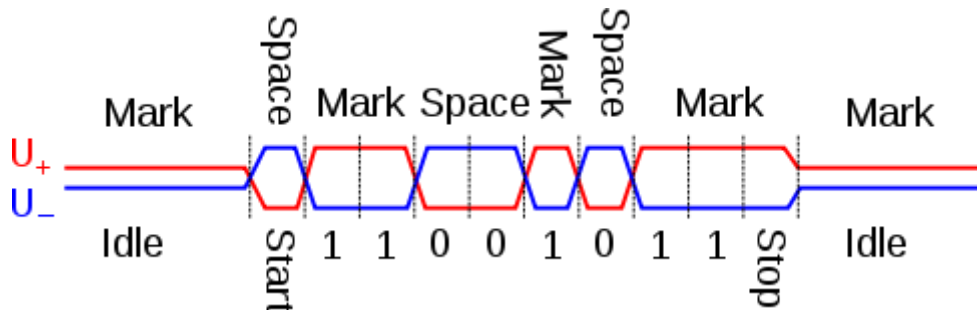


Рисунок 1.13 - Вигляд ліній RS-485 при передачі даних.

На рисунку 1.13 відображено стан лінії при передачі даних, так U_+ відповідає за прямий сигнал, а U_- зворотній, або за специфікацію RS-485:

- A – Неінвертуючий сигнал;
- B – Інвертуючий сигнал;
- GND – Загальний дріт.

Сигнал передається в прямій та зворотній полярності, що забезпечує велику стійкість до синфазної похибки. Даний інтерфейс є полу-дуплексним, та дозволяє передавати дані лише в одному напрямку, або від передатчика до приймача, або навпаки.

Напруга живлення може бути від -7В до +12В відносно Загального дроту.

Важливою особливістю даного інтерфейсу є те, що він дозволяє під'єднати значну кількість пристроїв до однієї лінії зв'язку, тобто має багатоточкову топологію. За стандартом, максимальна кількість пристроїв може досягати 256.

Також значною відмінністю є довжина лінії, яка може досягати значень у 1200 метрів при швидкості у 9.6 кбіт/с, проте чим менша довжина лінії зв'язку тим більшу швидкість можна забезпечити. Довжина лінії може бути

збільшена за допомогою використання спеціальних активних підсилювачів сигналу. [11]

Для під'єднання до Системи автоматизації зазвичай використовуються спеціальні перетворювачі, які роблять з RS-485 або USB або COM, для зручного з'єднання з персональним комп'ютером.

1.2.4 Інтерфейс CAN

CAN(Controllor Area Network – мережа контролерів) розроблений компанією Robert Bosch GmbH в 1980 році, для об'єднання різних типів датчиків до однієї «мережі». Наразі знайшов велике розповсюдження в автомобільній автоматизації, проте може використовуватися в промисловій автоматизації.

В загальному вигляді данні передаються також по диференційній парі. Передача даних виконується за допомогою «кадрів»

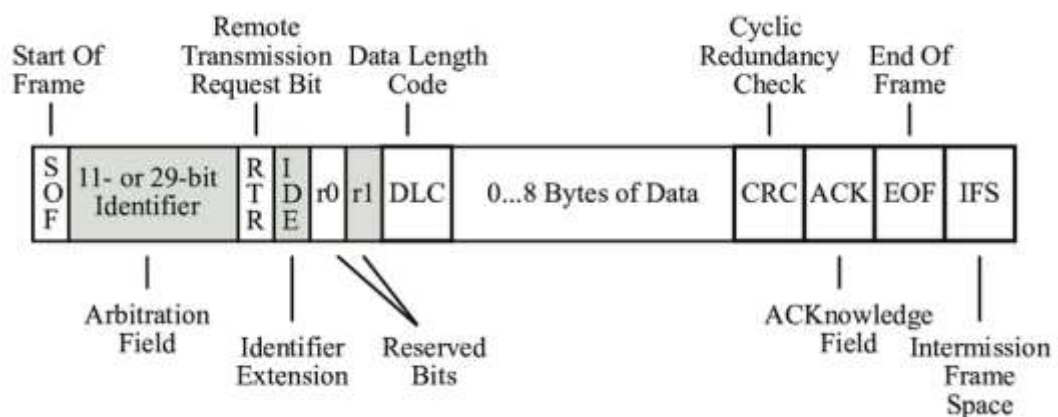


Рисунок 1.14 - Вигляд кадру у лінії CAN.

Існує декілька видів кадрів:

- Кадр даних – передає данні;
- Кадр віддаленого запиту – слугує для запиту на передачу даних з однаковими ідентифікаторами;
- Кадр перегрузки – забезпечує проміжок між кадрами даних;
- Кадр помилки – передається пристроєм, що виявив помилку.

Кожен пристрій який під'єднано до CAN-шини має свій унікальний ідентифікатор(в межах однієї лінії) та не може перевищувати 127. Таким чином до лінії може бути під'єднано не більше 127 пристроїв, зазвичай це значення 110.[12]

Проте, щоб використовувати дану шину, на кожному пристрої потрібно встановлювати окремий CAN-драйвер та програмування пристроїв, підключених до шини CAN, може бути складним та вимагати спеціальних знань.

1.3 Постановка задачі дослідження для системи автоматизації управління рівнем сипучих продуктів

Основною задачею дослідження є створення математичної моделі системи автоматизації управління рівнем сипучих продуктів, яка б було достатньо точною та може бути використана для подальших оптимізацій алгоритмів керування Системою.

Для досягнення даної мети в магістерській роботі поставлені наступні завдання:

- Виконати огляд існуючих систем управління рівнем сипучих продуктів та принципів їх роботи;
- Виконати огляд інтерфейсів сполучення датчиків з обчислювальними системами;
- Розробити концепцію автоматизованої системи;
- Розробити математичну модель Системи;
- Виконати тестування системи у середовищі Matlab/Simulink;
- Обрати найпопулярніші та найсучасніші алгоритми керування;
- Провести ідентифікацію параметрів регулятора з використанням обраних алгоритмів;
- Провести моделювання отриманого регулятора;
- Виконати порівняння;
- Розробити програмне забезпечення моніторингу та керування рівнем;

- Зробити висновки;
- Розробити питання охорони праці та цивільного захисту.

ВИСНОВКИ ДО РОЗДІЛУ 1

З розділу 1 можна бачити, що існує дуже велика кількість варіантів реалізації Систем вимірювання та контролю рівня. Саме дивовижне в цьому, що всі вони використовують абсолютно різні фізичні явища, для вимірювання одного і того ж параметру – рівня.

Це свідчить про те, що розробники систем управління рівнем сипучих продуктів активно використовують наукові розробки та технології з різних галузей науки та техніки для створення ефективних та точних пристроїв вимірювання та контролю рівня сипучих продуктів. Це також означає, що для кожної конкретної задачі можна вибрати оптимальний метод вимірювання рівня залежно від особливостей матеріалу, умов виробництва та бюджету.

Крім того, важливим аспектом при виборі системи управління рівнем є врахування вимог безпеки на виробництві. Наприклад, при використанні систем, які вимірюють рівень за допомогою радіаційного випромінювання, потрібно дотримуватися правил безпеки та регулярно перевіряти рівень випромінювання, щоб забезпечити безпеку працівників та дотримання вимог законодавства.

Також слід зазначити, що управління рівнем сипучих матеріалів може бути важливим етапом у процесі виробництва, оскільки точність вимірювання рівня може впливати на якість та кількість виробленої продукції. Тому використання відповідної системи управління може допомогти знизити витрати на виробництво та покращити якість продукції.

Отже, вибір системи управління рівнем сипучих матеріалів є важливим етапом у виробничому процесі, і він повинен бути здійснюватися з урахуванням особливостей матеріалу, умов виробництва та вимог безпеки на виробництві.

2 КОНЦЕПЦІЯ ПРОЕКТОВАНОЇ СИСТЕМИ АВТОМАТИЗАЦІЇ КЕРУВАННЯ РІВНЕМ

Система автоматизації повинна задовольняти всім сучасним вимогам та використовувати сучасні засоби автоматизації. В даному розділі варто розглянути загальні принципи автоматизованої системи, розробити структурну та функціональні схеми для відображення всіх ключових елементів Системи, висунути вимоги до програмного забезпечення.

2.1 Розробка функціональних схем (принципових, електричних, технологічних тощо) системи керування рівнем, визначення характеристик базових елементів

Структурна схема містить всі елементи проекрованої Системи автоматизації та зв'язки різних модулів.



Рисунок 2.1 – Структурна схема Системи

Схема складається з наступних елементів:

- ПК-оператора. Застосовується для відображення результатів виміру та ручного керування вимірювання з використанням окремого програмного забезпечення або у складі SCADA-системи;

- БПЗ-4 - Блок перетворення та захисту. Виконує функцію перетворення інтерфейсу з USB, яким обладнані майже всі сучасні ПК в RS-485, про який розповідалось в першому розділі. Також виконує функцію захисту від наведення високого потенціалу на ПК оператора;

- МЗЛ – Модуль захисту лінії. Необхідний для захисту вимірювачів рівню та іншого обладнання від наведення високого потенціалу. Також використовується при великій протяжності лінії інтерфейса, та в умовах, коли дрiт інтерфейсу проходить по повітрю;

- РПИ-4 – Розгалужувач та підсилювач інтерфейсу. Використовується за умови складної топології мережі RS-485, великої протяжності лінії, та великої кількості первинних пристроїв, таких як вимірювач рівня.

- ИПТ – джерело живлення. Використовується для живлення вимірювачів рівня.

- ЛТВК – вимірювач рівня. Первинний прилад, який використовується безпосередньо для вимірювання рівня сипучих продуктів.

Опціонально, Система може мати Радіо подовжувач інтерфейсу, який може використовуватися для заміни довгих ліній інтерфейсу, на радіо зв'язок, може використовуватися в умовах, коли приміщення оператора знаходиться на достатньому віддаленні від місці вимірювання рівня. Також може бути встановлений в умовах, коли об'єкти вимірювання знаходяться на великому віддаленні між собою. Має бути встановлений разом з МЗЛ, через використання антен, які можуть притягувати грозу.

На рисунку 2.1 можна бачити використання 6 вимірювачів рівня, які відходять від РПИ, в даному випадку, таке відображення потрібне для представлення всіх можливостей Системи, та обраних апаратних засобів. Без використання розгалужувача довжина лінії зв'язку значно б збільшилась, через те, що кожен вимірювач потрібно було б під'єднати послідовно один за одним.

Функціональна схема(рисунок 2.2) відображає кількість зв'язків в самому вимірювачі рівня, кількість параметрів які вимірюються та лінії зв'язку.

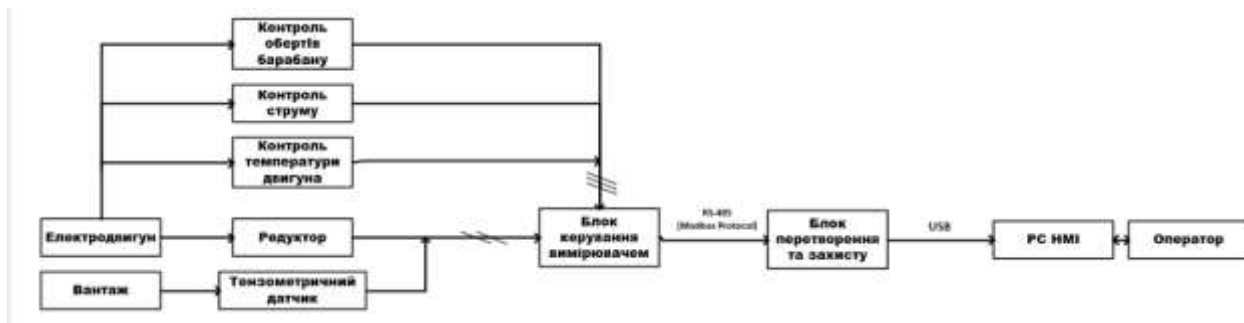


Рисунок 2.2 - Функціональна схема системи керування рівнем

На даній схемі можна побачити між Блоком керування вимірювачем та БПЗ напис RS-485 та приписку Modbus. В даному випадку, RS-485 представляє фізичний рівень, це описано в Розділі 1, а Modbus представляє програмний рівень, бо це протокол.

На даний момент використання Modbus більш ніж оправдано, через дуже велику розповсюдженість даного протоколу, його простоту та гнучкість.

Протокол Modbus використовується в machine-to-machine(M2M) передачі даних, тобто від машини до машини, або коректніше сказати від пристроя-до-пристрою, Може використовуватися с широким діапазоном пристроїв від простих реле з цифровим керування до складних пристроїв вимірювання які передають великий пакет даних.

Всього існує 3 різновиди даного протоколу:

- а. Modbus RTU;
- б. Modbus ASCII;
- в. Modbus TCP/IP.

Протокол Modbus TCP/IP працює поверх добре відомого інтернет протоколу TCP/IP, та використовується для передачі даних в локальній мережі через Ethernet, що в випадку з промисловою Системою не доцільно, тому детально не розглядається.

Варіант 1 та 2 схожі між собою, проте. В ASCII варіанті, дані передаються в шістнадцятиричному вигляді та кодуються таблицею ASCII, в варіанті з Modbus RTU, дані кодуються у двійковому вигляді, та розділяються між собою за допомогою часових інтервалів.

Структура запитів протоколу складається із адресу пристрою, коду функції, номера регістру, кількості даних, що запитуються або пишуться, та контрольної суми(CRC – Cyclic Redundancy Check).

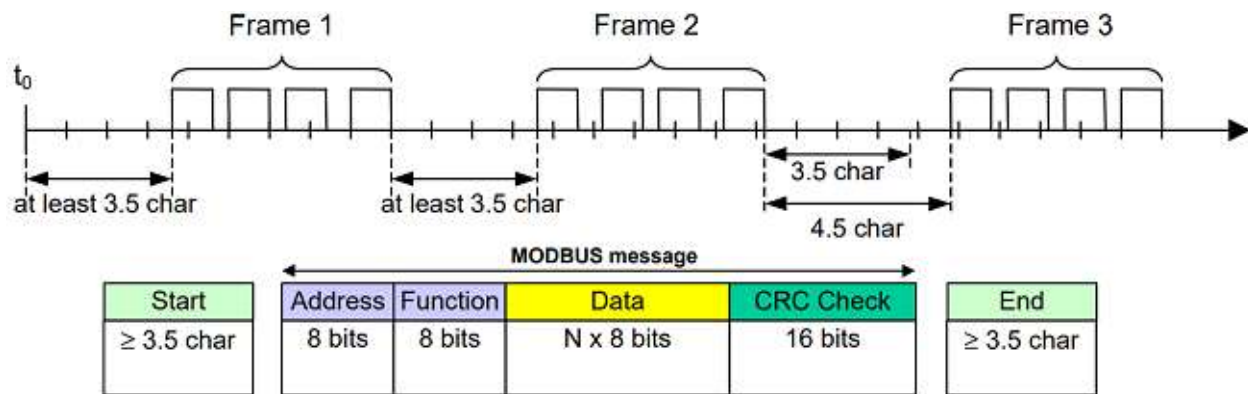


Рисунок 2.3 – Структура пакету Modbus

Структура пакету даних зображена на рисунку 2.3. Як було сказано раніше, розділ інформації відбувається за допомогою проміжків часу, що можна бачити з рисунку 2.3(≥ 3.5 char).

Modbus-регистра SLAVE-устройств

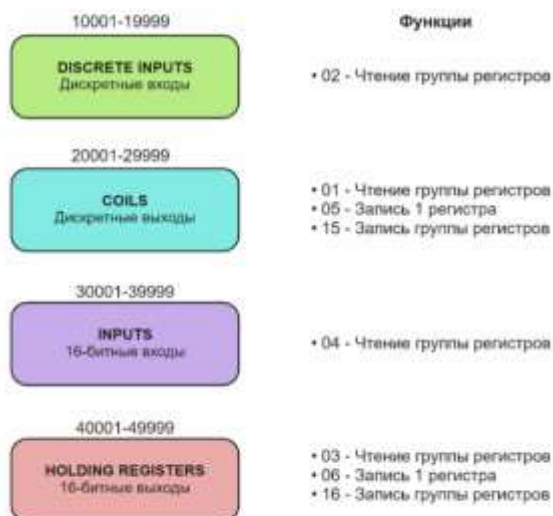


Рисунок 2.4 – Карта функції та регістрів Modbus

Для розуміння, на рисунку 2.4 приведено також коди функції протоколу Modbus[13]

Плата керування вимірювачем побудована на сучасній схемотехнічній базі, що гарантує високу швидкодію, точність вимірювання та надійність.

На рисунку 2.5 зображено саму принципову схему вимірювача рівня.

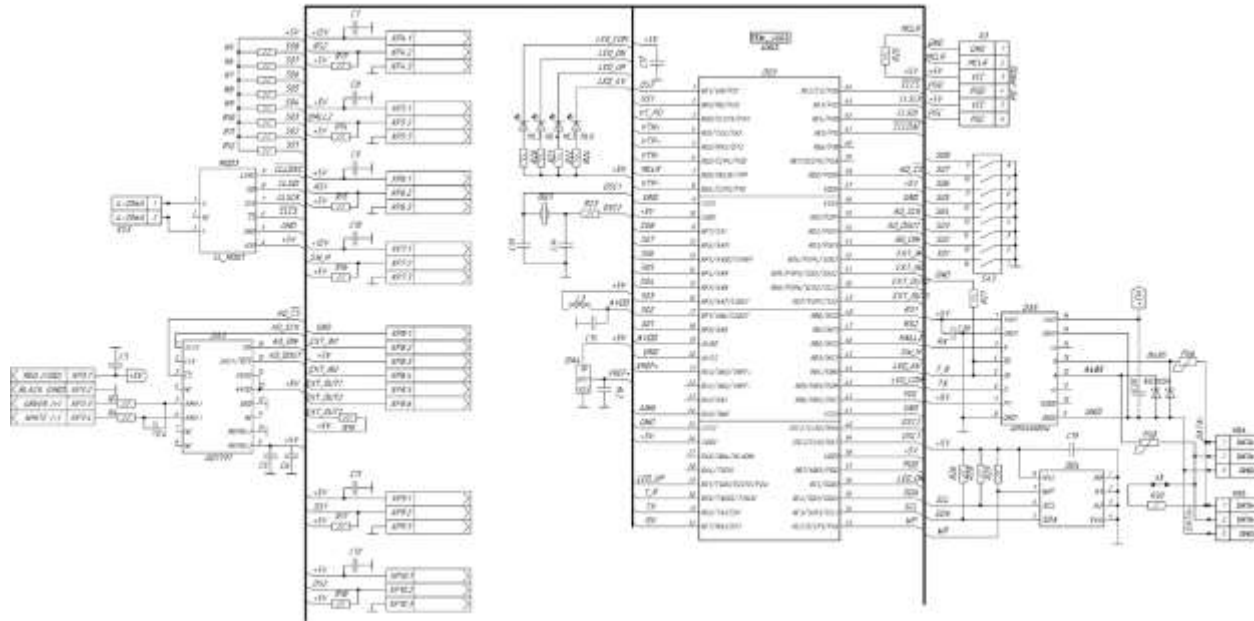


Рисунок 2.5 – Принципова електрична схема

Основою вимірювача є мікроконтролер PIC12F6527, який працює від напруги живлення 5V DC та керує всією периферією.

Для зв'язку з ПК або іншими пристроями по промислового інтерфейсу використовується мікросхема перетворювача UART->RS485 ADM2486BRW, яка має гальванічну розв'язку для захисту від підвищеної напруги, також для захисту від перенапруження використовується пара TVS-діодів.

Для збереження налаштувань, часу напрацювання та інших важливих параметрів використовується окрема мікросхема пам'яті яка працює за інтерфейсом I2C.

Для виставлення адреси пристрою використовується DIP-перемикач SA3.

Роз'єм X3 слугує для програмування мікроконтролеру.

Група світлодіодів HL3-HL6 слугує для індикацій стану роботу вимірювача, передачі даних, аварій та інше.

Для визначення моменту торкання вантажу до насипу використовується тензOMETричний датчик ваги НХ711-20КГ який зображено на рисунку 2.6.



Рисунок 2.6 – Датчик ваги

Для обмірювання даного датчика використовується мікросхема Sigma-Delta Аналогово-Цифрового перетворювача AD7797.

2.2 Розробка алгоритму функціонування Системи керування рівнем в цілому

Розроблений алгоритм функціонування системи відображено на рисунку 2.7.

Автоматизована система може працювати в двох режимах:

- а. Ручний;
- б. Автоматичний;

Інтервал вимірювання для автоматичного режиму задається оператором з робочого місця, після настання часу виконується вимір рівня в ємності з наступним відображенням на моніторі оператора.

Ручний режим працює за схожим принципом, проте початок вимірювання виконується вручну з комп'ютера оператора на якому встановлено Сервер або Клієнт.

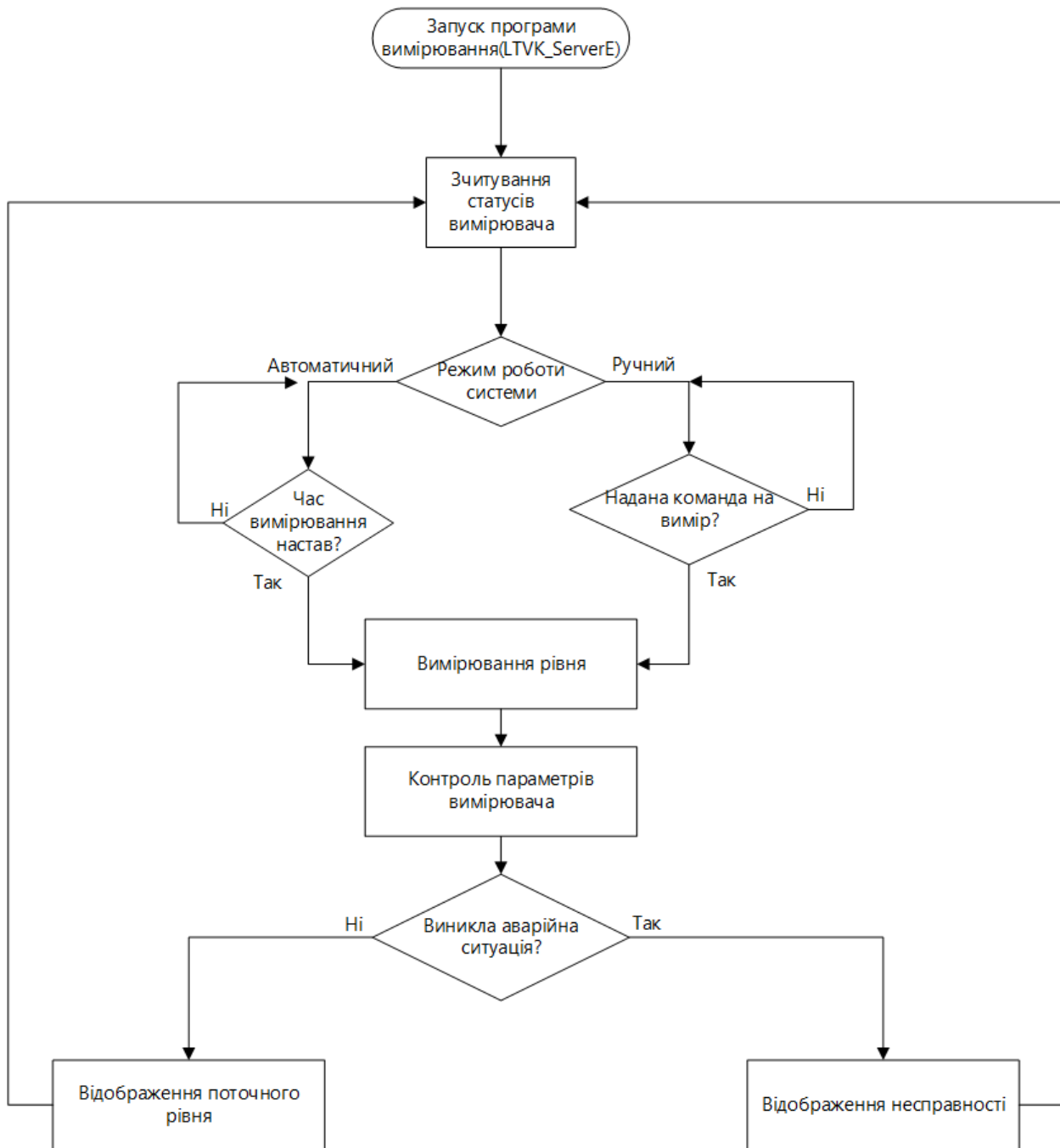


Рисунок 2.7 - Алгоритм функціонування Системи керування рівнем

Кожен раз програмне забезпечення виконує зчитування статусів вимірювача для того, щоб оператор в реальному часі отримував актуальну інформацію про стан Системи.

2.4 Вимоги до програмного забезпечення

Програмне забезпечення(ПЗ) перш за все повинно забезпечити зручне та зрозуміле відображення рівня в ємності. Мати зрозумілий та зручний

інтерфейс, що в свою чергу значно зменшить затрати часу та відповідно грошей на навчання оператора програмно-апаратного комплексу.

Відображати детально та зрозуміло несправності первинного пристрою та дозволяти виконувати діагностику з ПК оператора. Також, було б добре мати можливість переглядати лог обміну даними з первинним пристроєм.

Не мало важливим аспектом, є можливість об'єднання програмного забезпечення в клієнт-серверну архітектуру та роботу через локальну мережу підприємства з можливістю підключення декількох клієнтів до одного сервера. Це можна реалізувати розробкою одразу двох додатків, перший – Сервер, та другий додаток це – Клієнт.

Розробити систему привілеїв для зміни параметрів налаштування автоматизованої системи. Тобто, розробити систему, в яку є можливість додавати користувачів з різним рівнем доступу.

ПО повинне зберігати данні за деякий період часу з можливістю перегляду даних вимірювання на всьому проміжку.

Варто розглянути приблизні вимоги до ПК оператора, вони відображені в таблиці 2.1

Таблиця 2.1 – Системні вимоги до програмного комплексу.

| Параметр | Значення |
|----------------------------|--|
| Роздільна здатність екрану | 1280x720 або 1920x1080 |
| Операційна система | Windows 7/10/11 |
| Процесор | Intel 2-core Pentium Gold G6400 4.0GHz або еквівалентний. |
| Оперативна пам'ять | 4Гб мін. |
| Розмір жорсткого диску | 50Гбайт |

Дані вимоги сформовані на основі розгляду популярних пропозиції на ПК в Інтернет магазинах побутової техніки та на основі аналізу технічної документації Rosemount Radar Master Plus.

Так як обмін між всіма пристроями ведеться за допомогою протоколу Modbus, варто забезпечити зрозумілу карту реєстрів протоколу, яку б можна було використовувати для інтеграції в будь-яку SCADA-систему, яка підтримує цей протокол, на даний момент таких програмних засобів дуже велика кількість.

2.4 Опис апаратних засобів в Системі керування рівнем сипучих продуктів

При описі структурної схеми було указано які блоки використано та короткий їх опис. Варто розглянути технічні характеристики та схемотехнічні рішення обраних пристроїв та можливості які вони пропонують.

Вимірювач рівня ЛТВК

Основою всієї системи є електромеханічний вимірювач рівня.

Вимірювач рівня використовується для контролю рівня таких матеріалів як: порошки, гранули, дрібнозернисті та крупнозернисті продукти.

Процес вимірювання не залежить від таких властивостей як:

- діелектричні властивості та провідність матеріалу;
- пилоутворення у ємності;
- змінна вологість матеріалу;
- налипання матеріалу.

Примітка: можливий вплив властивостей матеріалу на надійність роботи приладу у разі несвоєчасного виконання робіт з технічного обслуговування.

На рисунку 2.8 зображено вимірювач на тестовому стенді без захисного кожуху.

Вимірювач рівня містить наступні основні елементи:

- Мікроконтролер, який керує роботою вимірювача рівня;
- електромеханічний привід, який містить барабан з вимірювальною стрічкою з нержавіючої сталі;
- вимірювальне грузило, яке закріплене на нижньому кінці стрічки.



Рисунок 2.8 – Зовнішній вигляд вимірювача рівня

Вимірювач рівня монтується на даху ємності. За допомогою електромеханічного приводу барабана вимірювальне грузило на стрічці опускається в ємність. В момент доторкання грузила поверхні сипучого продукту зусилля розтягування на стрічці зменшується. Це зменшення фіксується мікроконтролером який входить у склад вимірювача рівня й опускання припиняється, після чого грузило повертається у початкове положення. Під час опускання вимірювального грузила мікроконтролер проводить безперервне вимірювання відстані. Результат вимірювання перераховується у вихідний сигнал і передається за інтерфейсом RS-485 (Modbus RTU) на робоче місце оператора, або на ПЛК. При використанні інтерфейсу 4-20мА вихідний сигнал передається на вторинний вимірювальний прилад або перетворювач сигналу. Виміряне значення зберігається на початок наступного вимірювання.

Процес вимірювання може бути ініційований у ручному режимі за командою оператора від зовнішнього сигналу з програмного забезпечення. Також вимірювання може проводитися в автоматичному режимі із попередньо заданим інтервалом.

Напруга живлення: 24В АС.

Температура вимірюваного середовища: -30 до +80°C.

Після монтажу необхідно відкалібрувати початкову точку виміру, тобто опустити стрічку до низу ємності.

Блок перетворення та захисту

Блок перетворення являє собою друковану плату, встановлену в захищеному пластиковому корпусі з кабельними вводами в корпусі. Даний пристрій призначений для перетворення інтерфейсу USB яким оснащені всі сучасні ПК в промисловий інтерфейс RS-485 та для захисту ПК від наведення високого потенціалу. Зовнішній вигляд пристрою зображено на рисунку 2.9.



Рисунок 2.9 - Блок перетворення та захисту

Технічні характеристики наведено в таблиці 2.2.

Таблиця 2.2 – Технічні характеристики БПЗ-4

| Основні дані та технічні характеристики | Значення |
|---|----------------------------|
| Габаритні розміри | не більш ніж 135×81×32 мм; |
| Маса блока перетворення інтерфейсу та захисту лінії БПЗ-4 | не більш ніж 0,22 кг; |
| Споживана потужність блока БПЗ-4 | не більш ніж 1.05 Вт; |
| Значення напруги, до якої знижується амплітуда потенціалу | не більш ніж 6,9В; |

Продовження таблиці 2.2

| | |
|--|---|
| Максимальна амплітуда струму, що викликана перенапруженням на лінії, становить протягом не більш ніж 10 мкс значення | не менш ніж 10кА; |
| За стійкістю до впливу зовнішніх кліматичних умов блок належить до групи УЗ.1 за ГОСТ15150. | |
| Блок стійкий до впливу вібрацій синусоїдальної форми з частотою до 25 Гц та амплітудою до 0,1 мм, що за стійкістю до механічних впливів відповідає групі L1 за ГОСТ 12997. | |
| Відповідно до ГОСТ 12997, після експлуатаційної закінченості блок належить до виробів другого порядку та забезпечує працездатність у таких кліматичних умовах: | |
| температура навколишнього повітря | в діапазоні від плюс 5 °С до плюс 40 °С; |
| відносна вологість навколишнього повітря | до 75% за температури повітря 30 °С і нижчих температурах без конденсації вологи; |
| Атмосферний тиск | від 84 до 106,7 кПа. |
| За захищеність від доступу до небезпечних частин і від попадання зовнішніх твердих предметів і води. | Відповідає ступеню захисту IP 44 |
| Під час експлуатації блок не створює випромінювань, шумів і вібрацій та не виділяє токсичних речовин. | |
| Блок зберігає працездатність після усунення обриву або короткого замикання в ланцюзі інтерфейсу RS-485. | |

Сам блок складається з невеликої кількості мікросхем, основою всього перетворювача є мікроконтролер PIC18F27J53-I/SO який на «борту» має апаратний USB та UART перетворювачі, що робить його ідеальним для виконання поставленої задачі.

Для захисту ПК також використовується мікросхема захисту USB SP3002-04H.

Для перетворення UART в RS-485 використовується мікросхема ADM2486BRW.

Живлення відбувається через USB-порт, та для захисту від високої напруги є гальванічна розв'язка з використанням DC-DC перетворювача.

Від сильного підвищення напруги(грози наприклад) використовується схема із потужних запобіжників, TVS-діода або супрессора та пари газорозрядників.

Модуль захисту лінії

Модуль захисту лінії призначений для захисту виконавчих пристроїв від високої напруги, наприклад, під час грози.

Модуль виконаний на друкованій платі та встановлений в пластиковий бокс із захистом IP65. Вигляд самого модуля зображено на рисунку 2.10



Рисунок 2.10 - Зовнішній вигляд МЗЛ

Даний модуль не містить логічних мікросхем та побудований як і БПЗ на основі потужних запобіжників, TVS-діодів та пари газорозрядників.

Технічні характеристики пристрою наведено в таблиці 2.3.

Таблиця 2.3 – Технічні характеристики МЗЛ

| Основні дані та технічні характеристики | Значення |
|--|-----------------------------|
| Габаритні розміри | не більше 147 × 81 × 53 мм; |
| Маса | не більш ніж 0,22 кг; |
| Споживана потужність | не більш ніж 1.05 Вт; |
| Значення напруги, до якої знижується амплітуда потенціалу короточасного перенапруги лінії інтерфейсу | не більш ніж 6,9В; |

Продовження таблиці 2.3

| | |
|---|-------------------|
| Максимальна амплітуда струму, що викликана перенапруженням на лінії, становить протягом не більш ніж 10 мкс значення | не менш ніж 10кА; |
| За стійкістю до впливу зовнішніх кліматичних умов модуль відноситься до групи УЗ.1 по ГОСТ15150. | |
| Модуль стійкий до впливу вібрацій синусоїдальної форми з частотою до 25 Гц і амплітудою до 0,1 мм, що по стійкості до механічних впливів відповідає групі L1 по ГОСТ 12997. | |
| Відповідно до ГОСТ 12997, по експлуатаційної закінченості блок відноситься до виробів третього порядку і забезпечує працездатність в наступних кліматичних умовах: - температура навколишнього повітря в діапазоні від -41 до +61 ° С; - відносна вологість навколишнього повітря до 100% при температурі повітря 31 °С і нижчих температурах з конденсацією вологи; - атмосферний тиск від 85 до 107 кПа. | |

Використання даного модуля значно підвищує надійність усієї системи загалом у купі з використанням БПЗ-4. Таким чином, із ладу виходить дешевший пристрій, замість дорогих первинних пристроїв.

Розгалужувач-повторювач інтерфейсу

Розгалужувач-повторювач інтерфейсу являє собою друковану плату встановлену в герметичний пластиковий корпус. Зовнішній вигляд наведено на рисунку 2.11.

Пристрій використовується для виконання складних топології мережі RS485 та збільшення навантажувальної спроможності лінії інтерфейсу.

Основою пристрою є мікроконтролер STM32F103RCT6, який містить 5 апаратних модулів USART, що зробило його ідеальним варіантом.

Таким чином, даний пристрій має один Master-порт, та 4 Slave-порти, кожен з яких гальванічно розв'язаний один від одного, що робить цей пристрій дуже надійним та у випадку потрапляння на лінію інтерфейсу підвищеної напруги, з ладу вийдуть не всі первинні пристрої.

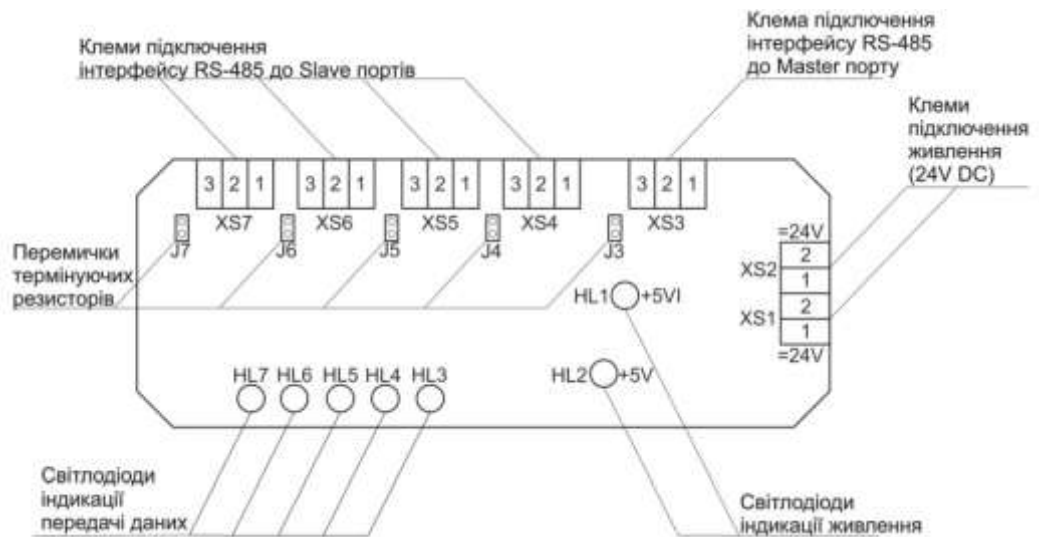


Рисунок 2.11 - Зовнішній вигляд РПІ-4

Технічні характеристики пристрою наведено в таблиці 2.4

Таблиця 2.4 – Технічні характеристики РПІ-4

| Основні дані та технічні характеристики | Значення |
|--|--------------------|
| Кількість Master портів | 1 шт. |
| Кількість Slave портів | 4 шт. |
| Інтерфейс Master/Slave | RS-485 |
| Швидкість передачі даних | 9600 бод/с |
| Напруга випробування гальванічної ізоляції | 1.5 кВ |
| Напруга живлення | від 16 до 30 В, DC |
| Споживана потужність | не більше 3 Вт |
| Робоча температура | -40...+60 °С |
| Вологість | 0...95% |
| Габаритні розміри, В x Ш x Г | 118x110x90 мм |
| Маса | 0,4 кг |
| Ступінь захисту | IP65 |

ВИСНОВКИ ДО РОЗДІЛУ 2

В результаті Розділу 2 отримано концепцію автоматизованої системи вимірювання рівня сипучих продуктів, розроблено структурну та функціональну схему Системи.

1. Розроблена концепція системи автоматизації керування рівнем є результатом аналізу і дослідження вимог і потреб користувачів та особливостей предметної області. Вона відповідає вимогам ефективності, надійності та гнучкості управління рівнем в різних умовах.

2. Концепція системи передбачає використання сучасних технологій та інтеграцію зв'язку з іншими системами керування, що дозволяє отримувати інформацію у реальному часі про стан рівня та здійснювати керування віддалено або автоматично.

3. Концепція системи автоматизації керування рівнем передбачає також можливість моніторингу та аналізу даних про рівень для виявлення аномалій, розробки статистичних звітів та покращення ефективності процесів керування.

Загалом, концепція проекрованої системи автоматизації керування рівнем відображає передові підходи до управління рівнем та використання сучасних технологій для досягнення надійності, точності та ефективності процесів. Вона слугує основою для подальшого розроблення, впровадження та вдосконалення системи з метою задоволення потреб і вимог користувачів.

3 ФОРМУВАННЯ МОДЕЛІ ТА МОДЕЛЮВАННЯ ФУНКЦІОНУВАННЯ СИСТЕМИ АВТОМАТИЗАЦІЇ КЕРУВАННЯ РІВНЕМ СИПУЧИХ МАТЕРІАЛІВ

3.1. Загальна інформація

Двигун постійного струму з постійними магнітами (PMDC) – це простий тип двигуна постійного струму, в якому обмотки збудження замінені постійними магнітами. Цей двигун працює за тим же основним принципом, що і двигун із паралельним підключенням, але різниця між ними полягає в тому, що постійний магніт створює необхідний магнітний потік замість обмотки збудження [14; 15]. Потужність цих двигунів менша, ніж у двигунів з паралельним підключенням, тому що потік, створюваний постійним магнітом, менше, ніж потік, що створюється обмотками збудження. Тому більшість типів невеликих двигунів постійного струму є двигунами постійного струму з постійними магнітами, і ці двигуни працюють на високій швидкості і з низьким крутним моментом [14; 16]. Є багато застосувань для двигуна PMDC, наприклад, рухомі вікна в автомобілях і передні частини автомобілів. Він також використовується в дитячих іграшках та побутовій техніці, такий як кухонні міксери та інші [17; 18], і його важливе застосування в верстатах з числовим програмним управлінням (ЧПУ) як привод, електромобілі та робототехніки [19; 20].

Основна постановка проблеми в цій роботі полягає в тому, як отримати найкращі значення параметрів для каскадного регулятора з пропорційною інтегральною похідною (ПІД), щоб отримати найбільш точні результати для відстеження траєкторії опорного положення до бажаного положення з постійною швидкістю. Для вирішення цієї проблеми було проведено порівняння між трьома методами: класичним методом (КМ), генетичним алгоритмом (GA) та алгоритмом оптимізації рою частинок (PSO) для отримання кращих параметрів каскадного контролера на додаток до використання цільової функції, абсолютна інтегральна помилка часу (ITAE),

щоб зменшити помилку між входом та вихід цієї системи. Каскадний П-ПІ-регулятор, що використовується в даній роботі, складається з трьох регуляторів: регулятор струму як внутрішній контур, регулятор швидкості і регулятор положення як зовнішній контур [21]. П-, ПІ- та ПІІ-регулятори використовуються для положення, швидкості та струму відповідно [22].

Мета використання каскадного П-ПІ-регулятора обумовлена багатьма причинами, найбільш важливою з яких є стійкість до зменшення або заглушення зовнішніх збурень і повернення до режиму, що встановився, за короткий час [23]-[24]. Існує кілька методів налаштування параметрів каскадних Р-ПІ-регуляторів, таких як метод Циглера-Ніколса (ZN), метод Коен-Куна, нейронна мережа та нечітка логіка [25], [26]. Алгоритм оптимізації рою частинок (PSO) [26], [27] та генетичний алгоритм [28].

3.2. Математична модель двигуна постійного струму

На рисунку 3.1 показана еквівалентна схема двигуна постійного струму, що складається з послідовно з'єднаних опору якоря (R_a) та індуктивності (L_a). Зворотна ЕРС (E_b) виникає, коли лінії потоку, що генеруються постійним магнітом, перетинаються, і її напрямок протилежно напрямку прикладеної напруги. У той час як механічна частина складається з коефіцієнта тертя (B_m) та моменту інерції (J_m). На додаток до інших параметрів є постійна протиЕРС (K_v) та постійна моменту (K_t). Усі компоненти або параметри цього двигуна з постійним струмом та їх значення показано у таблиці 3.1. На рисунку 3.2 показано блок-схему двигуна з постійним струмом.

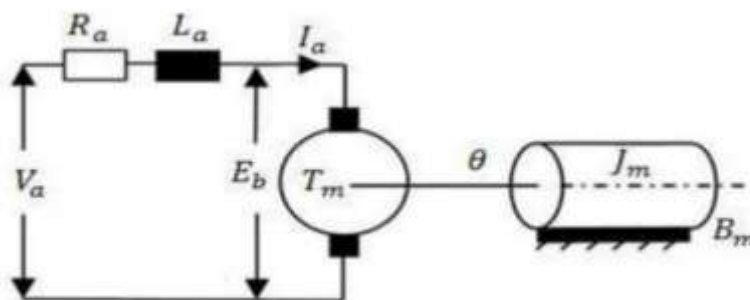


Рисунок 3.3 - Еквівалентна схема двигуна постійного струму [35]

Таблиця 3.1 Параметри двигуна

| Параметр | Значення |
|-------------------------|---|
| Крутний момент | $K_t = 2.35 \text{ Нм/А}$ |
| Індуктивність обмотки | $L_\alpha = 2.61 \cdot 10^{-10} \text{ Гн}$ |
| Опір обмотки якоря | $R_\alpha = 2.61 \text{ }\Omega$ |
| Інерція двигуна | $J_m = 0.068 \text{ кг}\cdot\text{м}^2$ |
| Коефіцієнт тертя | $B_m = 0.008 \text{ Нмс/рад}$ |
| Постійна зворотна ЕРС | $K_v = 2.35 \text{ Вс/рад}$ |
| Номінальне навантаження | $T_l = 17.6 \text{ Нм}$ |
| Номінальна напруга | $V_\alpha = 24 \text{ в}$ |

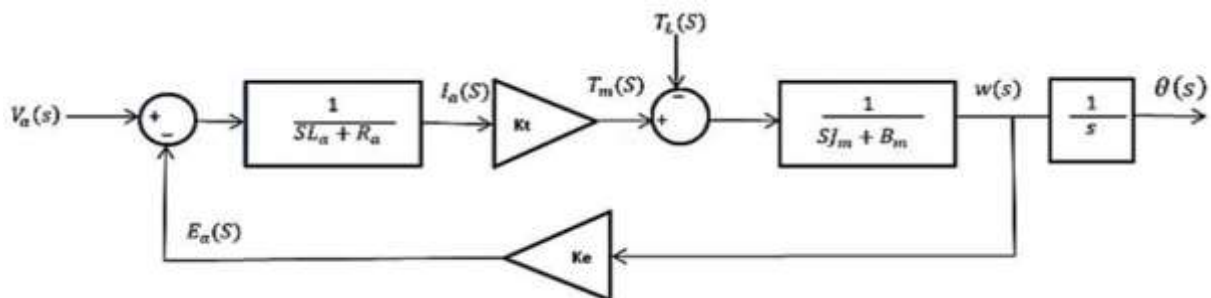


Рисунок 3.2 - Блок-схема двигуна з постійним струмом [35]

Електричні та механічні рівняння, що відповідають блок-схемі на рисунку 3.2, наведені:

$$v_\alpha(t) = e_\alpha(t) + R_\alpha i_\alpha(t) + L_\alpha \frac{d}{dt} i_\alpha(t) \quad (1)$$

$$e_\alpha(t) = k_e \omega_m(t) \quad (2)$$

$$T_m(t) - T_L = J_m \frac{d}{dt} \omega_m(t) + B_m \omega_m(t) \quad (3)$$

$$T_m(t) = K_t i_\alpha(t) \quad (4)$$

Використовуючи перетворення Лапласа для (1)-(4), отримуємо:

$$V_\alpha(s) = E_\alpha(s) + R_\alpha I_\alpha(s) + sL_\alpha I_\alpha(s) \quad (5)$$

$$E_\alpha(s) = K_e \omega_m(s) \quad (6)$$

$$T_m(s) - T_L = sJ_m \omega_m(s) + B_m \omega_m(s) \quad (7)$$

$$T_m(s) = k_t I_\alpha(s) \quad (8)$$

Загальні передавальні функції визначені для керування швидкістю та положенням двигуна з постійним струмом, відповідно:

$$\frac{\omega_m(s)}{V_\alpha(s)} = \frac{k_e}{JL_\alpha s^2 + (JR_\alpha + BL_\alpha)s + BR_\alpha + k_e^2} \quad (9)$$

$$\frac{\theta(s)}{V_\alpha(s)} = \frac{k_e}{JL_\alpha s^3 + (JR_\alpha + BL_\alpha)s^2 + (BR_\alpha + k_e^2)s} \quad (10)$$

Де K_e дорівнює K_t та

R_a - опір обмотки

L_a - індуктивність обмотки (Гн)

E_a - електрорушійна сила або зворотна ЕРС (В)

$\theta(s)$ - фактичне положення (рад)

V_a - номінальна напруга (В)

J_m - момент інерції (кг.м²)

T_L - номінальний момент навантаження (Нм)

K_t - постійний крутний момент (Нм/А)

K_v - постійна зворотна ЕРС (В.с/рад)

B_m - Коефіцієнт тертя (Нм.с/рад)

ω_m - швидкість двигуна (рад/с)

3.2. Загальна структура системи

Загальна структура системи складається з каскадного П-ПІ-регулятора, як показано малюнку 3.3. Цей контролер складається з трьох (П-, ПІ-) регуляторів струму, швидкості та положення. Вихід контролера положення являє опорну швидкість, вихід регулятора швидкості являє опорний струм, а вихід регулятора струму представляє напругу керування (VC).

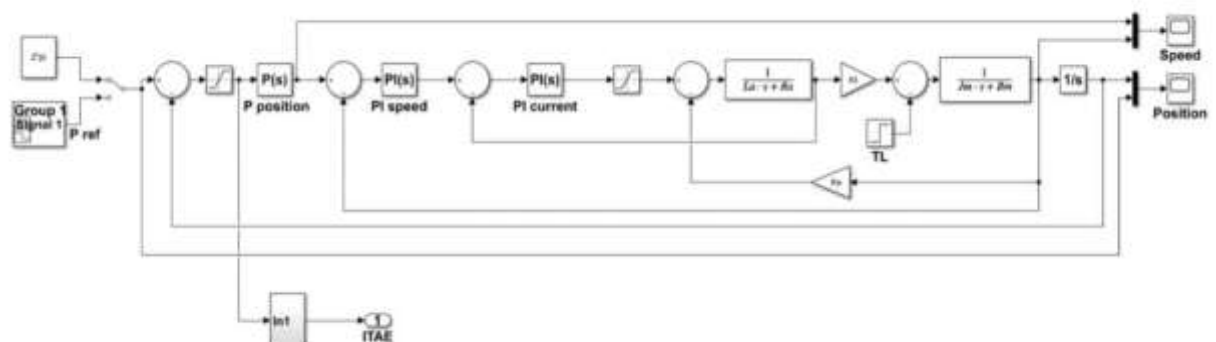


Рисунок 3.3 - Загальна структура каскадної системи ПІД-регулювання для двигуна постійного струму з постійними магнітами

Перевагою каскадної системи управління, крім інших переваг, є можливість встановлення обмежень для захисту двигуна постійного струму і силового електронного перетворювача. У цій роботі обмеження на задану швидкість накладаються на величину, що не перевищує номінальну швидкість двигуна. А також обмеження, що накладається на опорну напругу, що виходить із струму ПІ, що не перевищує номінальної напруги двигуна [36].

3.4. Методи налаштування

3.4.1 Класичний метод (КМ)

На рисунку 3.4 представлений перший контур керування чи внутрішній контур керування. Так як цей метод передбачає деякі припущення для спрощення схеми, впливом моменту навантаження нехтують, а також нехтують впливом E_a через велике значення J_m , [22] [36]. В результаті виходить спрощений контур керування струмом, як показано на рисунку 3.5.

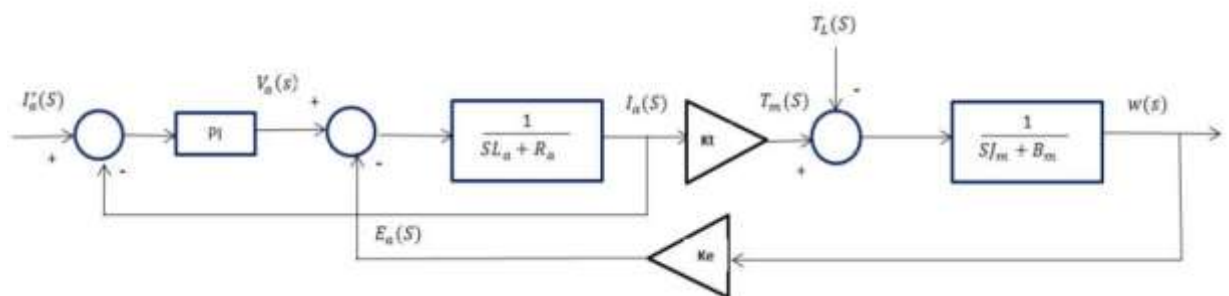


Рисунок 3.4 - Внутрішній контур керування струмом

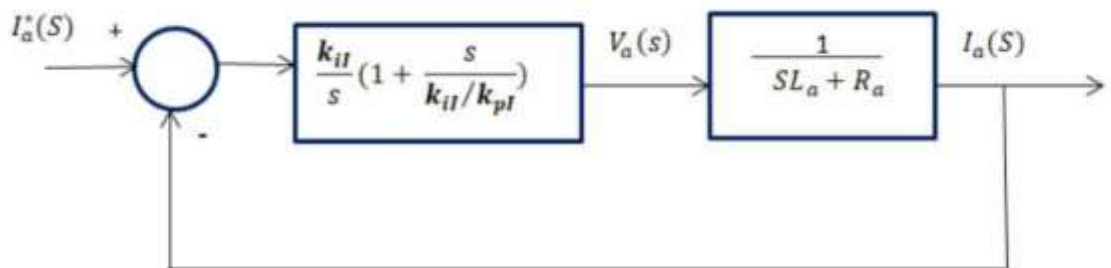


Рисунок 3.5 – Спрощений внутрішній контур керування струмом

З рисунку 3.5 передатна функція поточного контуру керування,

$G_{Iol}(s)$, і вона може бути записана як в (11) де k_{il} - інтегральний коефіцієнт посилення, k_{pl} - пропорційний коефіцієнт посилення регулятора, а постійна часу τ_e , обчислюється.

$$G_{Iol}(s) = \frac{k_{il}}{s} \left(1 + \frac{s}{k_{il}/k_{pl}} \right) \times \left(\frac{1/R_a}{1+s\tau_e} \right) \quad (11)$$

$$\tau_e = \frac{L_\alpha}{R_\alpha} \quad (12)$$

(13) використовується для скасування полюса двигуна, що сформульовано (11).

$$\frac{k_{il}}{k_{pl}} = \frac{1}{\tau_e} \quad (13)$$

Скасування полюса в передавальній функції двигуна можна проілюструвати наступним чином

$$G_{Iol}(s) = \frac{k_{il}}{s} \left(1 + \frac{s}{k_{il}/k_{pl}} \right) \times \left(\frac{1/R_a}{1+s\tau_e} \right) \text{ або}$$

$$G_{Iol}(s) = \frac{k_{il}}{s} \times (1/R_a)$$

Нарешті, у передавальній функції без зворотного зв'язку смуга пропускання (кросовер) частоти (ω_{ci}). Він представлений рівнянням (14).

$$\omega_{ci} = \frac{k_{il}}{R_\alpha} \quad (14)$$

Крім того, частота кросовера струму без зворотного зв'язку може бути розрахована з наступного співвідношення $\omega_{ci} = 2\pi f_{ci}$ і її значення приблизно в десять разів менше, ніж частота перемикавання для перетворювача постійного струму [22]. Отже, значення параметрів ПІ-регулятора струму можна знайти (13), (14). Для знаходження параметрів контуру швидкості передбачається, що замкнений контур струму ідеальний для моделювання і представлений одиницею [26], як показано на рисунку 3.6.

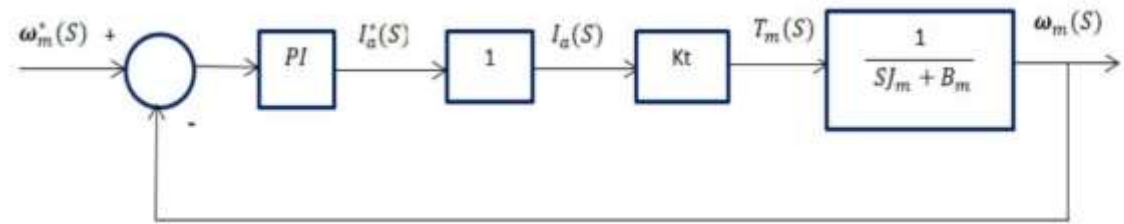


Рисунок 3.6 – Зовнішній контур швидкості

З рисунку 6 передатна функція цього контуру $G_{sol}(s)$, можна представити у вигляді(15)

$$G_{Sol}(s) = \frac{k_{iS}}{s} \left(1 + \frac{s}{k_{iS}/k_{pS}} \right) \times \left(\frac{1/B_m}{1+s\tau_m} \right) \quad (15)$$

Де

$$\tau_m = \text{механічна постійна часу} = \frac{J_m}{B_m} \quad (16)$$

Як і у внутрішньому контурі управління струмом, полюси в механічній частині двигуна будуть скасовані, як показано (17). Тут k_{iS} – інтегральний коефіцієнт посилення, k_{pS} – пропорційний коефіцієнт посилення регулятора.

$$\frac{k_{iS}}{s} = \frac{1}{\tau_m} \quad (17)$$

Смуга пропускання (кросвер) частота контуру керування швидкістю ω_{CS} може бути обрана в десять разів менше, ніж ω_{si} і може бути представлена у вигляді (18).

$$\omega_{CS} = \frac{k_{iS} \cdot k_t}{B_m} \quad (18)$$

Таким чином, k_{iS} і k_{pS} можна обчислити за допомогою (16) та (18).

Нарешті, останній зовнішній контур — це контур керування положенням, його можна проілюструвати малюнку 3.7. Щоб знайти k_{pP} параметр контуру положення передбачається, що контур швидкості досконалий і представлений одиницею [36] як показано на рисунку 3.7, передатна функція без зворотного зв'язку для управління положенням дана (19). Значення параметра положення k_{pP} можна розрахувати з (20), де обрана смуга частот (ω_{PS}) має бути в десять разів меншою, ніж (ω_{CS}).

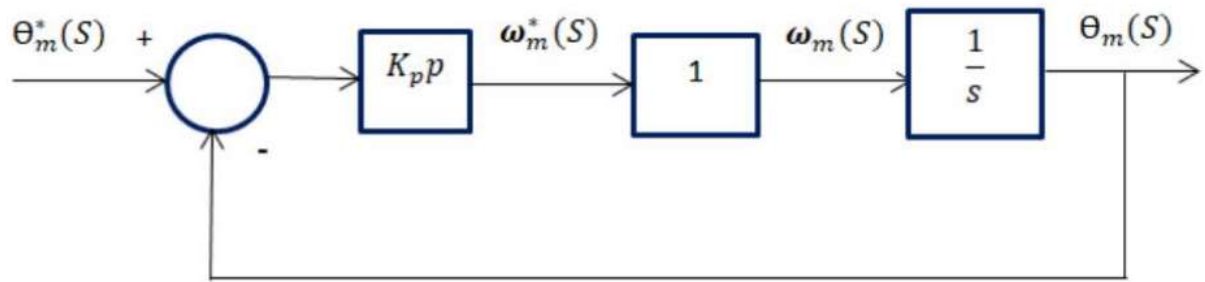


Рисунок 3.7 – Зовнішній контур положення

$$G_{pol}(s) = \frac{k_{PP}}{s} \quad (19)$$

$$\omega_{ps} = k_{PP} \quad (20)$$

3.4.2 Оптимізація рою частинок (PSO)

Алгоритм рою частинок (PSO) запропонований Кеннеді та Еберхартом, і він був модифікований для покращення його продуктивності шляхом додавання нового параметра, званого вагою інерції [37]. Алгоритм PSO заснований на методах роевого інтелекту для спостереження за соціальною поведінкою організмів, що рухаються, таких як збір риби або птахів. Цей алгоритм пов'язаний з обчислювальним методом вирішення проблеми, наприклад, зграї птахів прагнуть знайти харчову поведінку і використовують кроки, що повторюються, для досягнення найкращих рішень. Це означає, що рішення-кандидати — це частинки, які переміщуються у просторі пошуку за формулою над положенням частки. На рух кожної частинки впливає її локальне значення, і її мета полягає в тому, щоб досягти найвідоміших позицій у просторі пошуку шляхом оновлення кращих позицій, знайдених іншими частинками.

Алгоритм починається із встановлення початкового положення та векторів швидкості. На кожній ітерації найкраще значення визначається шляхом оцінки векторів положення та швидкості. Кожна частка має змінні та розміри, і ці змінні є проблемами, які необхідно вирішити. Якщо завдання складається з п'яти різних змінних, розмірність частинок повинна бути обрана до п'яти. Найкраще значення кожної частки називається локальним кращим

значенням і записується в матрицю P_{best} . Після кожної ітерації найкраще значення для кожної частинки оновлюється, якщо знайдено найкраще нове значення для управління кожною поточною частинкою і попередніми позиціями. Крім того, позиція підтверджується як найкраща у світі після контролю кращих значень матриці на кожній ітерації, яка продовжується доти, доки не буде досягнуто зазначене число, оскільки останнє оновлене значення для кращої позиції є оптимальним значенням. Цей алгоритм залежить переважно від знаходження становища кожної частки з найкращим локальним значенням, і навіть від перебування найкращого загального становища рою кожної ітерації. Положення та швидкість оновлюються на кожній ітерації на основі (21) та (22) [33; 38].

$$V_{i,j}(t + 1) = v_{i,j}(t) + r_1 c_1 [P_{best.i,j} - X_{ij}(t)] + r_2 c_2 [G_{best\ i,j}(t) - X_{ij}(t)] \quad (21)$$

$$X_{i,j}(t + 1) = V_{i,j}(t + 1) + X_{i,j}(t) \quad (22)$$

Де

i - індекс частинок

j - Розмірне число

t - Ітерація

$V_{i,j}(t)$ - Поточна швидкість

$X_{i,j}(t)$ - Поточне положення

$V_{i,j}(t+1)$ - Оновлена швидкість або нова швидкість

$X_{i,j}(t+1)$ - Оновлене положення або нове положення

W - Зважена інерція, її значення між 0 і 1

r_1, r_2 - Випадкові коефіцієнти мають значення від 0 до 1

c_1, c_2 - Коефіцієнти прискорення знаходяться в діапазоні від 0 до

2

У таблиці 3.2 наведено параметри PSO, які використовуються в цій роботі, а на рисунку 3.8 показано блок-схему алгоритм оптимізації рою частинок.

Таблиця 3.2 – Параметри PSO

| Параметр PSO | Значення |
|-----------------|----------|
| Ітерації | 100 |
| Розмір рою | 20 |
| № вимірів | 5 |
| Зважена інерція | 0.9 |
| C1 | 2 |
| C2 | 1.5 |

3.4.3 Генетичний алгоритм

У 1970 Холланд представив генетичний алгоритм (ГА). Цей метод заснований на принципі еволюції та природного відбору. Як оптимізатор, цей алгоритм починає з вибору, визначеного кількостей хромосом з первинного набору, і кожна хромосома є рішенням конкретної задачі, і її ефективність оцінюється функцією придатності [31]. Нинішні батьки виробляють нове потомство, яке називається новим поколінням, оскільки передбачається, що це нове покоління досягне кращого рішення, ніж попередні батьки, завдяки процесу еволюції. Цей механізм повторюється для кількох послідовних поколінь, доки одне з них не отримає оптимального рішення для системи. Оскільки процес пов'язаний із багатьма фазами, на рисунку 3.9 представлено блок-схему генетичного алгоритму [39]. У табл. 3 представлені параметри ГА, які використовувалися у цій роботі.

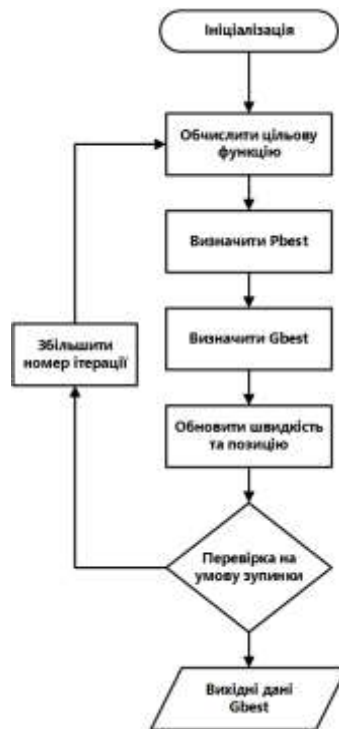


Рисунок 3.8 – Блок схема алгоритму роя часток



Рисунок 3.9 – Блок схема генетичного алгоритму

Таблиця 3.3 – Параметри ГА

| Параметр ГА | Значення |
|------------------|----------|
| Генерацій | 100 |
| Розмір популяції | 20 |
| № вимірів | 5 |
| Кроссовер | 0.6 |

Під час проектування будь-якої системи керування для конкретного фізичного процесу необхідно вибрати певні критерії для забезпечення найкращої продуктивності. Ці критерії відомі як цільові функції. Ці функції зменшують помилку між входом та виходом та мають кілька типів. У цій роботі для зменшення помилки в сигналі положення використовувався показник продуктивності, який називається абсолютною інтегральною помилкою часу (ІТАЕ) і може бути представлений у вигляді (23).

$$ITAE = \int_0^{\infty} t|e(t)| dt \quad (23)$$

3.4. Результати моделювання та порівняння

Моделювання системи було виконано за допомогою MATLAB 2023 та Simulink, система була протестована після введення каскадних параметрів P-PI, отриманих із трьох методів налаштування. У таблиці 3.4 наведено значення цих параметрів отриманих із кожного методу. Система також була протестована при різних умовах, під навантаженням, відсутність навантаження та одне або кілька опорних положень, щоб забезпечити обертання двигуна постійного струму на 360 градусів чи кілька обертів. У таблиці 3.5 показані параметри ефективності системи у стані навантаження, які були отримані від кожного методу налаштування.

Таблиця 3.4 – Значення PID параметрів

| Параметр регулятора | KM | GA | PSO |
|---------------------|----------|----------|----------|
| КП. Положення | 125.6637 | 244.3101 | 173.1189 |
| КП. Швидкість | 36.3623 | 98.7314 | 269.2364 |
| КІ. Швидкість | 4.2779 | 291.317 | 3.6981 |
| КП. Струм | 32.7982 | 101.5191 | 216.5567 |
| КІ. Струм | 32798 | 268.9725 | 23.8736 |

Таблиця 3.5 - Значення критеріїв ефективності для кожного методу налаштування

| Критерії ефективності | KM | GA | PSO |
|-----------------------|---------|---------|---------|
| Час зростання | 2.129 с | 2.033 с | 2.053 с |
| Час встановлення | 0.3 с | 0.2 с | 0.2 с |
| Перерегулювання | 7.558% | 3.763% | 0 |

За результатами моделювання, наведеними у Додатках, та з метою отримання найкращих результатів було проведено наступне порівняння між трьома методами налаштування:

а) У разі холостого ходу при використанні класичного методу спостерігається сильне перевищення швидкості, як показано на рисунку А.1(а) і А.1(б), і після застосування повного навантаження на п'ятій секунді система стає нестійкою. тому що цей метод передбачає нехтування ефектом навантаження для спрощення системи, як показано на рисунку А.2(а). та А.2(б).

б) При використанні алгоритму GA та у разі холостого ходу спостерігалось перерегулювання близько 3,646 %, а також спостерігалось відхилення $12,03^\circ$ від заданого положення, також спостерігався значне перерегулювання швидкості, як показано на рисунку А.3(а) та А.3(б). Після застосування повного навантаження спостерігалось дуже незначне відхилення 0,0003 рад. Це свідчить про надійність каскадного П-ПІ-регулятора в заглушенні зовнішніх перешкод, як показано на рисунку А.4(а) та А.4(б).

в) При використанні алгоритму PSO не було відхилень від положення або перерегулювання за швидкістю або положення в обох випадках під навантаженням та без навантаження на додаток до точної траєкторії відстеження для досягнення положення з високою точністю, як показано на рисунку А.4(а), (б) та рисунку А.5(а), (б). Негативна швидкість означає, що двигун PMDC обертається у протилежному напрямку. Таким чином, результати моделювання та порівняння показало, що алгоритм оптимізації рою частинок дав кращі результати, ніж інші два методи.

3.4 Опис програмного забезпечення

Запуск програми виконується на робочому столі з іконки під назвою LTVK_ServerE. (рис.3.10)



Рисунок 3.10 - Іконка ПЗ «Вимірювач рівня ЛТВК (Сервер)» та «Вимірювач рівня ЛТВК (Клієнт)»

Нижче наведені основні вкладки інтерфейсу ПЗ «Вимірювач рівня ЛТВК (Сервер)»: «Головна» (рис.3.11) та «Настройки» (рис.3.4) з описом елементів інтерфейсу.

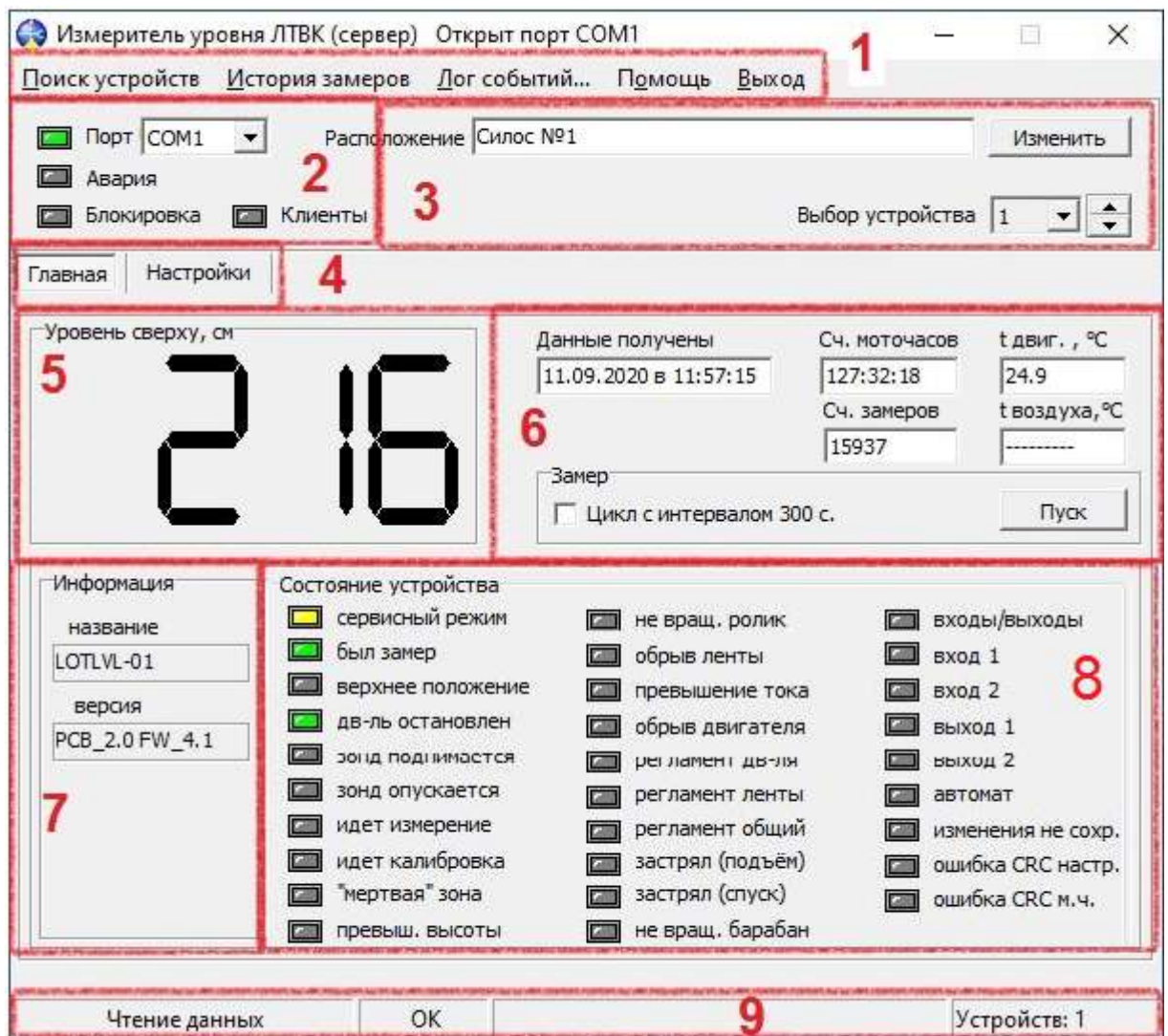


Рисунок 3.11 - Головне вікно (Сервер)

1 – строка меню, в якій розташовані наступні кнопки:

«Пошук пристроїв» - для пошуку всіх пристроїв, що знаходяться на інтерфейсній лінії. «Історія вимірювання» – для виклику в графічному та текстовому видах архіву замірів рівня (рис. 3.11).

«Лог події» - дозволяє відкрити текстовий журнал, в якому записані всі події та вимірювання, які проводилися вимірювачем рівня.

2 – панель індикації, яка показує наявність зв'язку і дозволяє обрати віртуальний COM-порт, що емулюється перетворювачем інтерфейсу USB/RS-485 рівня. Крім того, показується статус вимірювача рівня, чи він справний, або електрично заблокований (за допомогою опціональних дискретних входів).

3 – панель, на якій обирається вимірювач рівня (згідно з виставленим DIP-перемикачем адресою). Максимально в одній інформаційній мережі може бути до 63 пристроїв з адресами від 1 до 64. Крім того, є можливість підписати де розташований пристрій. Інформація зберігається на сервері та буде відображена на інших клієнтських місцях.

4 – панель перемикачів між вкладками «Головна» та «Налаштування».

5 – панель «Рівень» показує виміряне значення рівня в сантиметрах. За замовчуванням виставлено налаштування «Рівень зверху» - відстань від вимірювального грузила до продукту, але в меню налаштувань є можливість змінити показання на «Рівень знизу» - відстань від дна ємності до продукту, інакше кажучи висота насипу.

6 – в панелі вказана загальна інформація про вимірювання та вимірювач рівня, а також панель «Вимір», що дозволяє виконувати оператору негайне вимірювання рівня при натисканні кнопки «Пуск», або ж переводити вимірювання в циклічний режим, при натисканні прапорця «Цикл с інтервалом 300 с.» та заданні у вікні інтервалу вимірювання в секундах.

7 – панель «Інформація» в якій вказана версія плати контролера та заводської прошивки вимірювача.

8 – на панелі «Стан пристрою» можна побачити безліч індикаторів. Дані індикатори можуть свідчити як про стан під час штатної роботи вимірювача (був замір, верхнє положення, зонд піднімається тощо) так і про несправність вимірювача, проблеми з вимірюванням (обрив стрічки, перевищення струму, застряг (спуск) тощо), чи необхідності сервісного обслуговування (регламент двигуна, регламент стрічки).

Наприклад, після проходження 40 00 циклів вимірювальною стрічкою, ПЗ «Вимірювач рівня ЛТБК» видає аварійне повідомлення про необхідність регламентної заміни вимірювальної стрічки. Крім того, присутня індикація стану налаштувань вимірювання та помилок зв'язку з пристроєм (входи, автомат, помилка CRC).

9 – Інформаційна панель, на якій прописується стан пристрою в даний момент, а також кількість виявлених пристроїв.

Для того, щоб увійти в меню «Налаштування», необхідно натиснути на кнопку «Налаштування» (елемент інтерфейсу №4), і далі необхідно ввести пароль для доступу до налаштувань у вікні, що відкриється (рис.3.12).

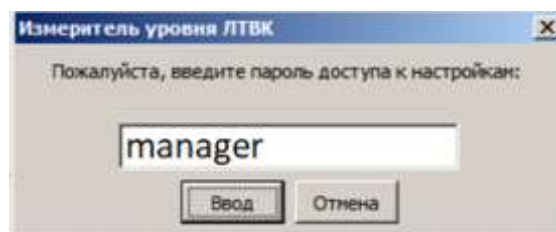


Рисунок 3.12 - Вікно для вводу паролю

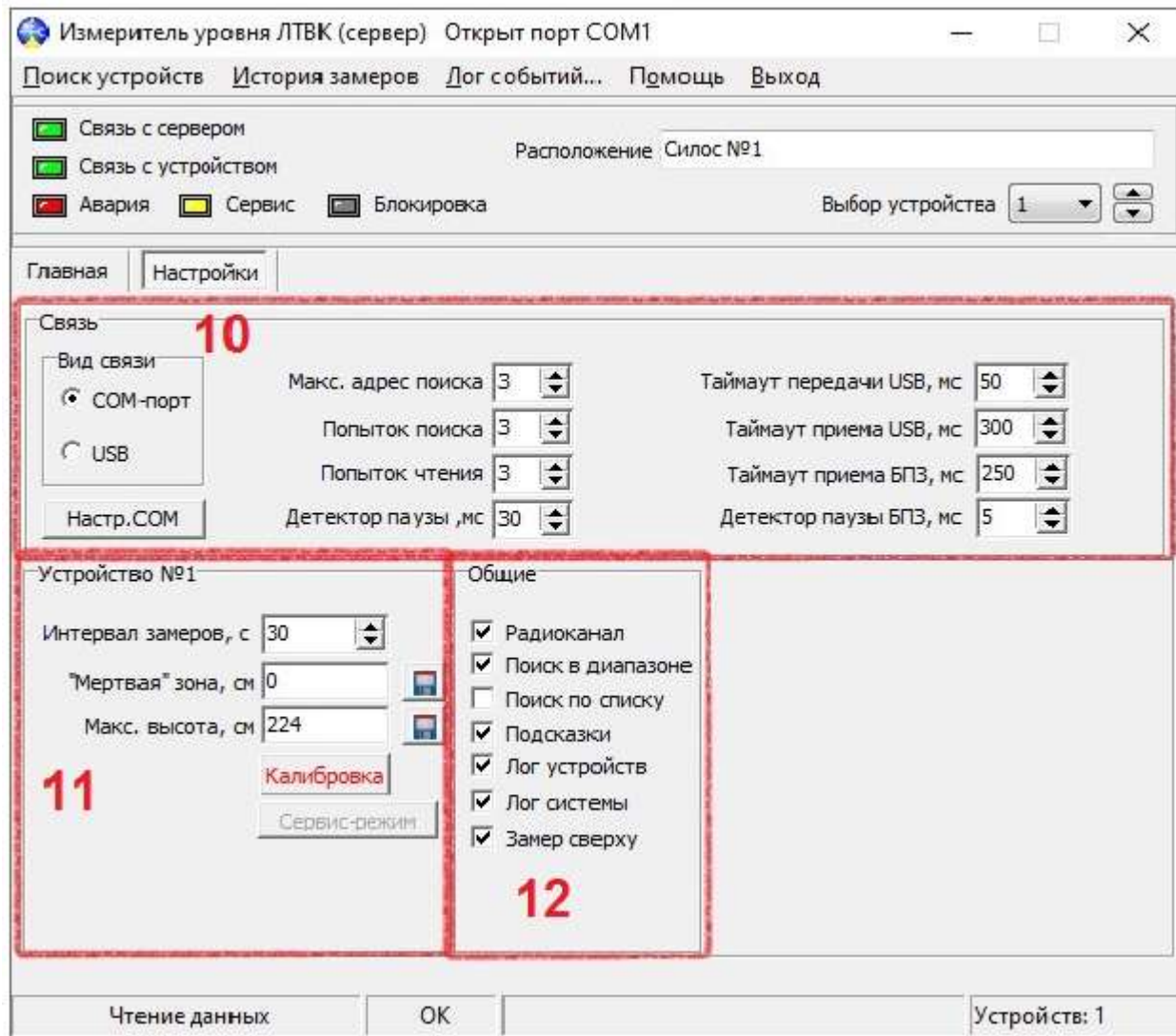


Рисунок 3.13 - Меню «Налаштування» (Сервер)

10 – у розділі «Зв'язок» необхідно виставити порт, що з'явився в диспетчері пристроїв Windows, після підключення БПЗ-4 до комп'ютера, здійснити вибір кількості пристроїв в мережі («Макс. адрес пошуку»), а також налаштування зв'язку (встановлені за замовчуванням рекомендовано не змінювати).

«Вибір пристрою» (згідно з виставленою DIP-перемикачем адресою) виконується у верхньому правому кутку. Функція "Вибір пристрою" доступна у всіх вікнах програми. Базові налаштування для вимірювання, такі як: інтервал вимірів, висота «мертвої» зони та максимальна висота в сантиметрах, виставляються у розділі «Пристрій №N». За допомогою цих налаштувань виконується калібрування вимірювача рівня.

11 – В панелі «Пристрій №N» є кнопка «Калібрування», після натискання якої електромеханічний вимірювач рівня вимірює максимальну довжину випуску стрічки (в сантиметрах) до стикання з підлогою порожньої ємності вимірювального грузила. У випадку, якщо вимірювання відстані напрямку до нижньої точки ємності ускладнене або неможливе, цей параметр може бути заданий вручну в текстовому полі «Макс. висота, см».

Крім вищеописаного в панелі «ЛТВК №N» встановлюється значення так званої «Мертвої зони», тобто відстань від підлоги ємності, нижче за яке опускання вимірювального грузила вимірювача рівня заборонено або не бажано. Також у цьому меню задається інтервал циклічних замірів

Також в даній панелі знаходиться «Сервіс-режим». Даний режим є необхідним при обслуговуванні силосу людьми. При натисканні на кнопку вимірювальне грузило опускається на висоту 1,7м від каліброваної нижньої точки.

12 – в цьому розділі «Загальне» через чек-бокси виставляються певні налаштування.

Наприклад, чек-бокс «Вимір зверху» дозволяє вибрати формат подання вимірювання та отримати значення «Рівень зверху» або «Рівень знизу».

Чек-бокс «Лог пристрою» та «Лог системи» необхідні для того, щоб в архів записувалися ті чи інші дії вимірювача. У разі зняття чек-боксу, архівні записи не будуть виконуватися.

Після встановлення чек-боксу «Пошук по списку» відкриється додаткове вікно, в якому можна буде ввести номери пристроїв, які необхідні для роботи в даний момент та, відповідно, не будуть запропоновані пристрої на вибір поза цим списком.

Клієнтська версія ПЗ «Вимірювач рівня ЛТВК» може бути встановлена на декількох АРМ, які знаходяться в одній ТСР/ІР мережі з комп'ютером із попередньо встановленою серверною версією ПЗ «Вимірювач рівня ЛТВК». Для початку роботи необхідно у вкладці «Налаштування» обрати зі списку комп'ютер, на якому встановлена серверна версія (рис.3.14) у розділі

«Налаштування» -> «Зв'язок та ін.». Після вибору імені комп'ютера, на якому встановлено сервер вимірювача рівня, індикатори «Зв'язок з сервером» та «Зв'язок з пристроєм» повинні стати зеленими (Рис.23). У випадку, якщо клієнтська та серверна станції це один і той самий комп'ютер, у клієнтській програмі необхідно вибрати пункт **localhost** або вписати його вручну. Після виконаних налаштувань зв'язку з клієнтського робочого місця можна здійснювати вимірювання.

Вимірювання може виконуватися лише із одного робочого клієнтського місця в даний момент часу. У випадку, якщо вимірювання необхідно виконати з іншого клієнтського місця, оператор може затребувати управління вимірювачем рівня (у клієнтського місця, на якому в даний момент знаходиться управління). Для цього у головному вікні клієнтської версії необхідно натиснути кнопку «Запросити керування» (рис. 3.16). У цей час на станції, на якій зараз знаходиться управління, з'явиться повідомлення із запитом передати або не передавати управління іншому комп'ютеру. (Рис. 3.17)

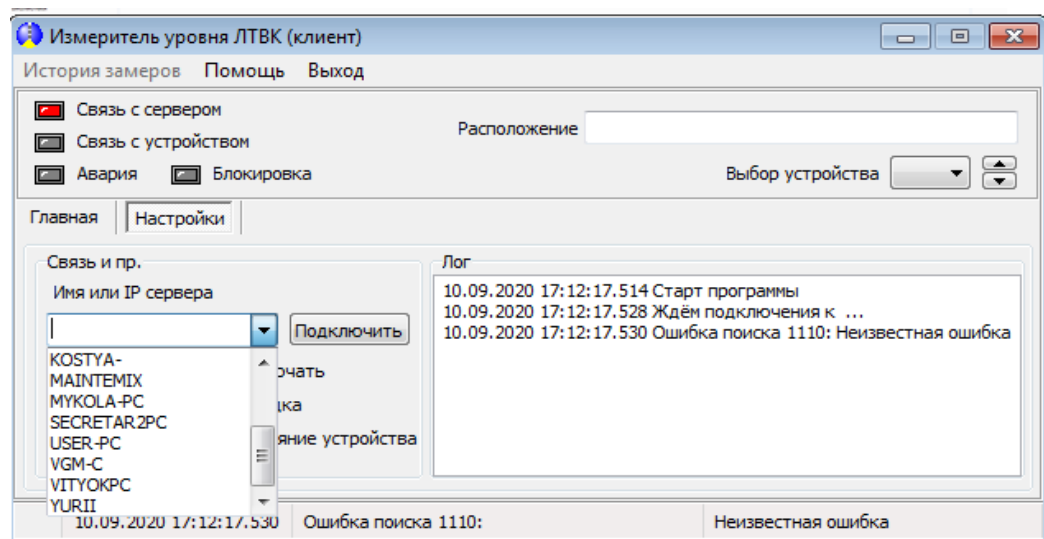


Рисунок 3.14 - Вибір імені або IP сервера

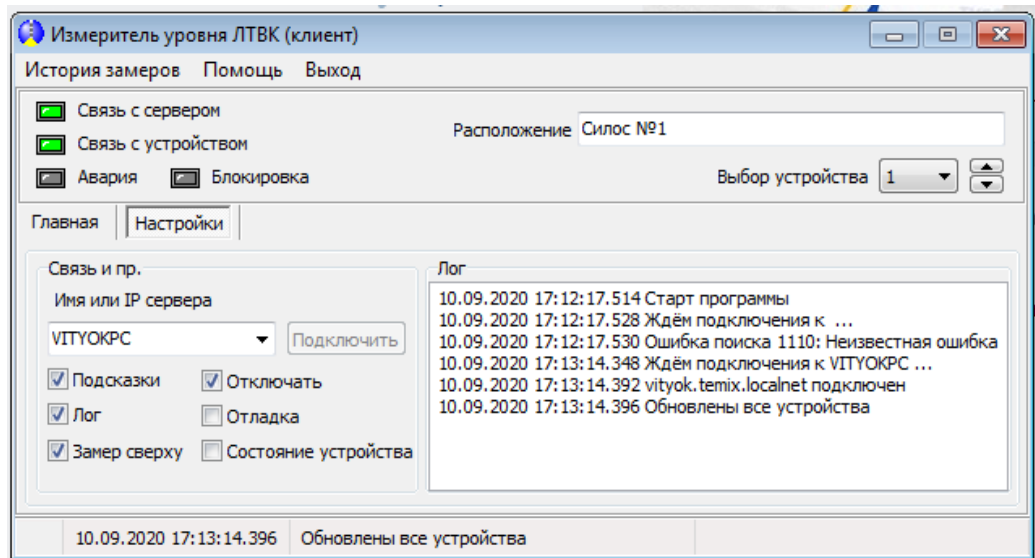


Рис 3.15 - Підключена до сервера клієнтська версія

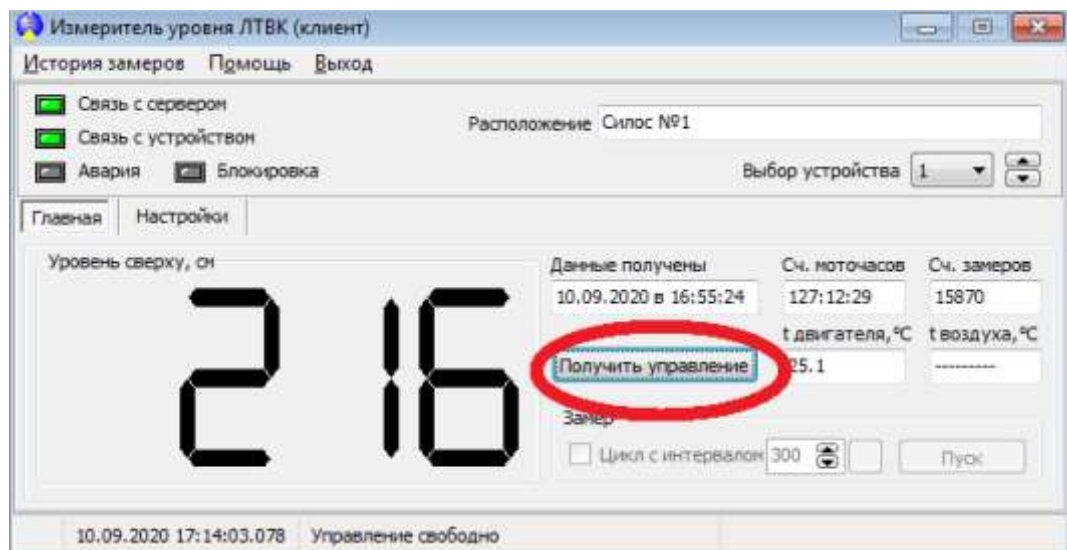


Рис 3.16 - Отримання управління

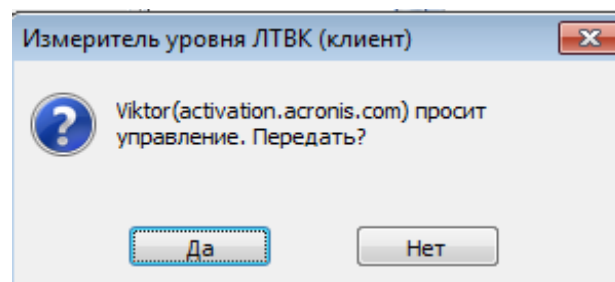


Рисунок 3.17 - Передача управління іншому клієнту

Нижче наведені основні вкладки інтерфейса ПЗ «Вимірювача рівня «Головна» (рис.3.18) та «Налаштування» (рис.3.19) з описом елементів інтерфейса.

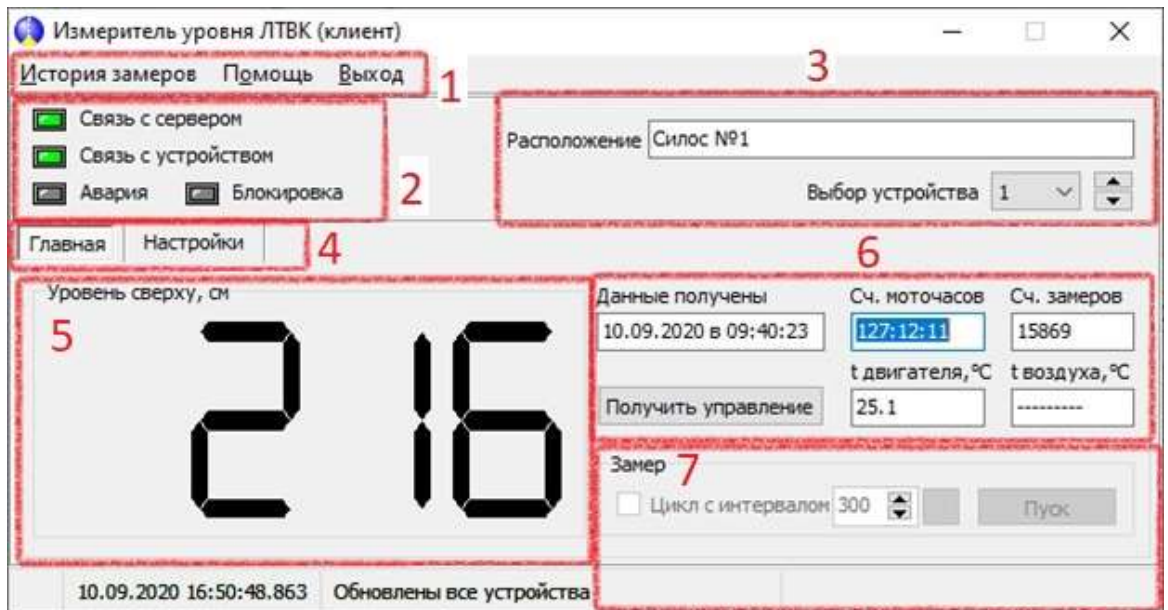


Рисунок 3.18 - Головне вікно (Клієнт)

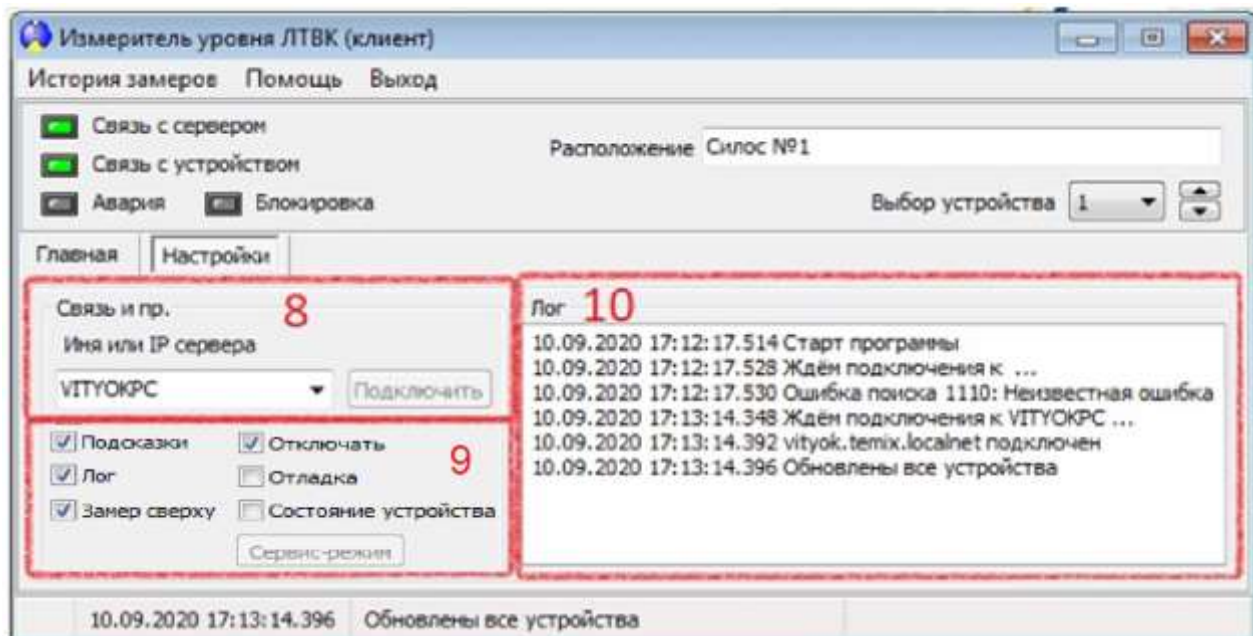


Рисунок 3.19 - Меню «Налаштування» (Клієнт)

На рис.26 та рис. 27 ми бачимо наступні елементи інтерфейса:

1 – рядок меню, в якому розташована кнопка «Історія вимірювання», через яку можливо викликати в графічному та текстовому видах архів замірів рівня (рис. 28).

2 – панель індикації, яка показує чи налаштований зв'язок із сервером та вимірювачем рівня. Крім того, показується статус вимірювача рівня, чи він справний, або електрично заблокований (за допомогою опціональних дискретних входів).

3 – панель, на якій обирається вимірювач рівня (згідно з виставленою DIP-перемикачем адресою). Максимально в одній інформаційній мережі може бути до 63 пристроїв з адресами від 1 до 64. Крім того, є можливість підписати де розташований пристрій. Інформація зберігається на сервері та буде відображена на інших клієнтських місцях.

4 – панель перемикачів між вкладками «Головна» та «Налаштування».

5- панель «Рівень» показує вимірне значення рівня в сантиметрах. За замовчуванням виставлено налаштування «Рівень зверху» - відстань від вимірювального грузила до продукту, але в меню налаштувань можна змінити показання на «Рівень знизу» - відстань від дна ємності до продукту, інакше кажучи висота насипу.

6 – в панелі вказана загальна інформація про вимірювання та вимірювач рівня, а також кнопка «Запросити керування». Перед тим, як дати команду на вимірювання, на клієнтському комп'ютері необхідно натиснути кнопку «Запросити керування». Це необхідно зробити, якщо вимірювання не проводилось тривалий період, або управління зараз віддано іншому клієнтському місцю.

7 – панель «Вимір» дозволяє виконувати оператору негайне вимірювання рівня при натисканні кнопки «Пуск», або переводити вимірювання в циклічний режим при натисканні чек-боксу «Цикл с інтервалом N с.» і завдання у вікні інтервалу вимірювання в секундах.

Для того, щоб увійти в меню «Налаштування», необхідно натиснути на неї, і далі необхідно ввести пароль для доступу до налаштувань у вікні, яке відкриється (рис.3.17). За замовчуванням встановлено пароль “manager”, який потрібно ввести до текстового рядка.

8 – у цьому розділі необхідно вибрати ім'я комп'ютера на якому встановлена серверна версія програмного забезпечення та натиснути кнопку «Під'єднати». Всі налаштування та журнал вимірювань які проводяться з клієнтських комп'ютерів, зберігаються на сервері.

Також у цій панелі знаходиться «Сервіс-режим». Цей режим необхідний під час обслуговування силосу людьми. При натисканні на кнопку вимірвальне грузило опускається на висоту 1,7 м від каліброваної нижньої точки. Після опускання грузила допускається робота персоналу всередині ємності.

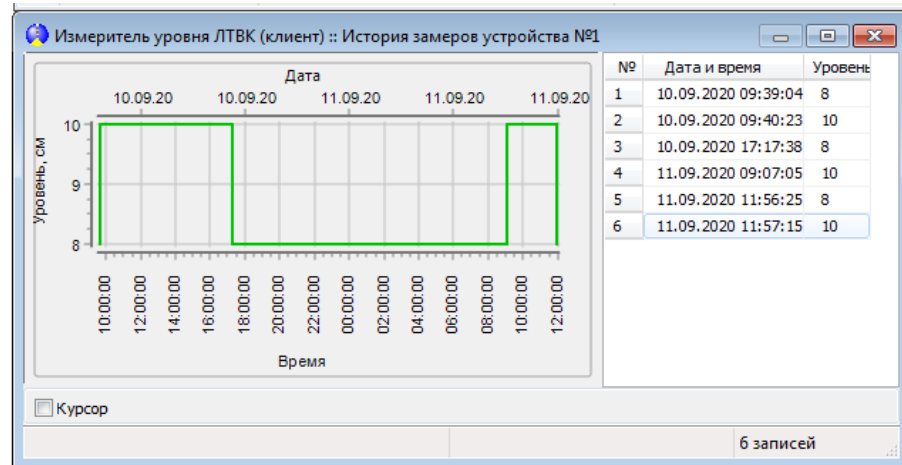


Рисунок 3.20 - История замерів

The screenshot shows a software window titled 'Измеритель уровня ЛТВК (сервер) :: Лог событий устройств'. It displays a log of events in a text-based format. The log entries are as follows:

```

16:49:31.339: Устройство не найдено:
16:49:41.058: Начат поиск...
16:49:41.326: + D001 35 LOTLVL-01
16:49:48.940: Устройств: 1
16:49:48.942: Начат опрос устройств
16:49:49.184: Опрос завершен
16:50:37.700: Открыт порт COM1
16:50:37.741: Начат поиск...
16:50:38.008: + D001 35 LOTLVL-01
16:50:45.610: Устройств: 1
16:50:45.612: Начат опрос устройств
16:50:45.852: Опрос завершен
16:52:39.824: Открыт порт COM1
16:52:39.909: Начат поиск...
16:52:40.176: + D001 35 LOTLVL-01
16:52:47.780: Устройств: 1
16:52:47.781: Начат опрос устройств
16:52:48.023: Опрос завершен
  
```

Рисунок 3.21 - Журнал подій

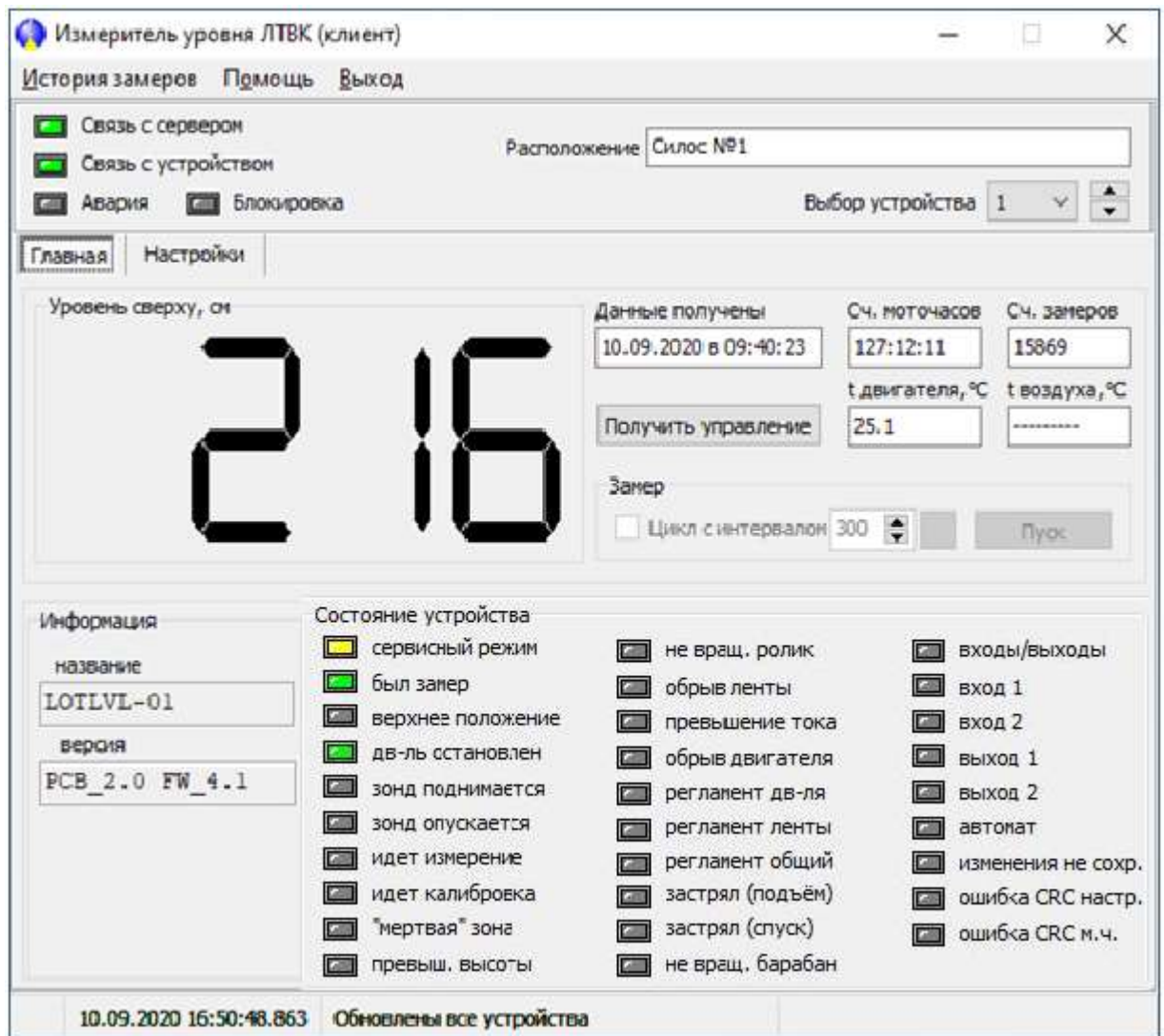


Рисунок 3.22 - Розгорнута панель «Стан пристрою»

На панелі «Стан пристрою» можна побачити багато індикаторів. Дані індикатори можуть свідчити як про стан під час штатної роботи вимірювача (був замір, верхнє положення, зонд піднімається тощо) так і про несправність вимірювача, проблеми з вимірюванням (обрив стрічки, перевищення струму, застряг (спуск) тощо), чи необхідності сервісного обслуговування (регламент двигуна, регламент стрічки). Наприклад, після проходження 40 00 циклів вимірювальною стрічкою, ПЗ «Вимірювач рівня ЛТВК» видає аварійне повідомлення необхідності регламентної заміни вимірювальної стрічки.

Крім того, присутня індикація стану налаштувань вимірювання та помилок зв'язку з пристроєм (входи, автомат, помилка CRC).

ВИСНОВКИ ДО РОЗДІЛУ 3

У розділі 3 подано порівняння двох методів налаштування PID-регулятора: PSO та GA алгоритми крім традиційного методу КМ. Ці методи використовуються для отримання кращих параметрів каскадного P-PI-регулятора для керування швидкістю та положенням двигуна PMDC для досягнення бажаної позиції. Результати моделювання доведено ефективність алгоритму PSO з погляду відсутності перерегулювання, оскільки порівняно з методами КМ та GA, які мають перерегулювання близько 7,558% та 3,763% відповідно. Також, при використанні алгоритму PSO відхилення за положенням відсутнє, тоді як відхилення близько 12,03 градуса спостерігається під час використання алгоритму GA. Таким чином, алгоритм PSO має перевагу у покращенні загальної ефективності двигуна PMDC шляхом отримання кращих параметрів для досягнення каскадним P-PI-регулятором бажаного положення в порівнянні з двома іншими методами.

РОЗДІЛ 4
Охорона праці та безпека у надзвичайних ситуаціях

Студент _____ **М. Д. Курков**

«__» червня 2023 р.

Консультант _____ **Л. І. Григор'єва**

д. б. н., професор

«__» червня 2023 р.

Розділ 4 Урахування вимог охорони праці та безпеки у надзвичайних ситуаціях при створенні системи автоматизації керування рівнем сипучих продуктів.

4.1 Санітарно-гігієнічні норми до виробничого приміщення інженерних розробок

Проектування і створення системи відбувалось у кабінеті на підприємстві ТОВ ІВК «ТЭМИКС». Дане підприємство розташовано за адресом: м. Миколаїв, вул. Чкалова 20/3.

Є доречним зробити аналіз умов праці на робочому місці проектанта маніпулятора.

Перш за все необхідно врахувати техніку безпеки.

На підприємстві забороняється:

- на робочому місці залишати без нагляду всі можливі нагрівальні прилади, до яких належать: паяльники, газові горілки, фен, пальники.

- застосовувати та зберігати речовини властивості яких не досліджені - заборонено, тим самим ви ризикуєте своїм здоров'ям, і наражаєте на небезпеку життя інших осіб;

- виливати в каналізаційну трубу будь – якої якості легкозаймисті та горючі рідини, або речовини походження яких вам не відомо;

- згідно правил пожежної безпеки (пункт 1 розділу VII Правил пожежної безпеки) – відкритий вогонь, зварювальні роботи зазначені в навчальних планах, та передбачені в програмах навчання дозволяється проводити у спеціалізованих майстернях з дотриманням вимог пожежної безпеки;

- виконувати перепланування приміщень ігноруючи будівельні норми і правила;

- заставляти будь – чим евакуаційні шляхи, наприклад встановлювати: пороги, виступи, турнікети, розсувні, підйомні двері, тощо; [41]

Засоби оповіщення про пожежу:

- внутрішня телефонна та радіотрансляційна мережі;

- спеціально змонтовані мережі мовлення;

– дзвінки та інші звукові сигнали.

Загальні вимоги щодо використання електричних пристроїв та систем з підведеним, до них електроживленням:

– провести обов'язковий інструктаж працівників з питань охорони праці, та основних правил пожежної безпеки;

– заборонено залишати без нагляду ввімкнені в мережу електроприлади;

Охорона праці під час експлуатації електронно-обчислювальних машин (ЕОМ), та персональних комп'ютерів (ПК) пов'язана з дотриманням важливих вимог :

– вимогою у разі одночасної роботи п'яти і більше комп'ютерів в одному приміщенні є встановлення аварійного (резервного) вимикача, функцією якого є одночасне знеструмлення підключених персональних комп'ютерів, без вимкнення освітлення в приміщенні;

– обов'язково в момент виникнення аварійної ситуації вимкнути ЕОМ від електричної мережі;

При роботі з ЕОМ забороняється:

– заставляти робоче місце: листами паперу, носіями інформації, папками з документацією, тощо;

– самостійно відключати системи захисту, та проводити ремонт, або заміну існуючих складових ПК;

– працювати на ПК виявивши несправності: підозрілий запах, блимання екрану, наявність нехарактерного звуку під час роботи, наприклад легке тріщання, або пицання будь – якого пристрою (елемента) всієї системи [42].

Автоматизація виробничих процесів – це шлях, яким рухається кожна галузь в світі. Головною перевагою автоматизації є інтенсифікація виробництва, усунення робочих місць пов'язаних з діяльністю шкідливою для здоров'я та небезпечною для життя людей без втрати в якості кінцевого продукту.

Під час виконання дипломної роботи, а саме: проектування маніпулятора використовувались ЕОМ. Для створення функціональної схеми,

для порівняння компонентів та вибору оптимальних варіантів, для створення, розрахунку та моделювання електричних-принципових схем та для реалізації алгоритму робот.

Для конструювання маніпулятора повинні використовуватись нагрівальні прилади, до яких належать: паяльники, газові горілки, фен, пальники.

Кабінет в розпорядженні має: 3 столи, та 4 стільця – забезпечуючи два робочих місця. На кожному робочому місці встановлено осцилограф, генератор сигналу, 1 ПК, та паяльну станцію з феном. Також в окремому місці встановлено серверний ПК.

Природнього освітлення в кабінеті вистачає через великі вікна які розташовані напроти входу до кабінету та які виходять прямо до двору. Розташування вікон зображено на рисунку 4.1.



Рисунок 4.1 – Розташування вікон в приміщенні.

Проте для покращення рівня освітленості на стелі розташовано 6 лампочок денного світла.



Рисунок 4.2 – Робоче місце інженера

Окрім освітлення на стелі, на кожному робочому місці встановлено лампу яка об'єднана разом зі збільшувальним склом для дрібної роботи. На рисунку 4.2 зображено робоче місце проєктанта.

Для більш дрібної роботи в кабінеті встановлено мікроскоп AmScore SW-3B24.

Опалення кабінету в холодну погоду проводиться завдяки трубам, які проходять вздовж стелі, понизу вікна.

Стіни приміщення зашпакльовані, та обклеєні шпалерами. Підлога, бетонна – вкрита темно коричневим лінолеумом. Вхід в кабінет можливий через коричневі двері. Стенди, електричні прилади, плакати, електричні елементи розфасовані в коробки складені в шафи, всього в кабінеті – 3 шафи.

Пожежна безпека. Проаналізуємо стан пожежної безпеки в приміщенні, де здійснюється проєктування та розробка автоматизованої системи.

Відповідно до ДБН В.1.1.7-2002 [43] та НАПБ Б.03.002-2007 [44] за вибухопожежною і пожежною небезпекою, досліджуване приміщення відноситься до категорії Д, оскільки в приміщенні знаходяться негорючі речовини, можливі класи пожежі – А, Е, оскільки в приміщенні знаходиться папір, текстиль, деревина та обчислювальна техніка.

Система забезпечення пожежної безпеки об'єкта захисту включає в себе:

1. Систему запобігання пожежі;

2. Система протипожежного захисту;
3. Комплекс організаційно-технічних заходів щодо забезпечення пожежної безпеки.

Запобігання виникненню в займистою середовищі джерел запалювання досягається наступними методами:

- відповідна експлуатація обладнання;
- застосування безпечного електрообладнання;
- регламентація максимального нагріву поверхонь, горючих засобів;
- застосування неіскристого інструменту;
- блискавкозахист;
- усунення контакту з повітрям і ін.

Система протипожежного захисту

Пожежі, тобто процесу горіння, можна запобігти шляхом припинення доступу повітря до палаючого предмету, видаленням палаючої речовини із зони горіння або зниження температури. У засобах гасіння пожеж зазвичай використовують ці методи спільно.

Найбільш поширеним засобом гасіння пожеж є вода. Однак є випадки, коли вода непридатна для гасіння пожежі:

- коли вода може вступити в хімічні реакції;
- коли горять рідини з меншою питомою щільністю ніж у води і не змішуються з нею (бензин, масло і ін.);
- при можливості ураження електрострумом;
- якщо збиток від води більше, ніж від вогню.

Замість води використовуються пісок, хімічні вогнегасники, що діють піною, сухим хімічним порошком, вуглекислою.

Устаткування, що застосовується при пожежогасінні, дуже різноманітне. Найчастіше використовують порошкові і вуглекислотні вогнегасники, так як в приміщенні найчастіше пожеж виникає від поганого поводження електроенергії.

Комплекс організаційно-технічних заходів щодо забезпечення пожежної безпеки.

На підприємстві проводять організаційно-технічні заходи щодо інструктажу пожежної безпеки, проводять навчальні евакуації при пожежі, навчають поводитися з вогнегасником, тушити вогонь [45].

Забезпечення якості повітряного середовища. На якість повітряного середовища в приміщенні, де виконується спайка радіо-електронних компонентів впливає випари різних типів флюсів, від простих на основі каніфолі та до складних які можуть призводити до раку легенів.

Зазначене вимагає за необхідне обладнати обране виробниче приміщення системою вентиляції.

Розрахунок системи вентиляції починається з визначення продуктивності по повітрю (повітрообміну), яка вимірюється в кубометрах на годину. Для виконання розрахунків необхідно наявність плану приміщення, необхідними розмірами.

Подавати свіже повітря потрібно тільки в те приміщення, де люди можуть перебувати тривалий час. Повітрообмін йде від чистішого приміщення к забрудненому. Таким чином, схема руху повітряних потоків буде виглядати наступним чином: свіже повітря подається в коридор та від коридору буде рухатись до приміщення, в якому виконується спаювання радіо-електронних компонентів, а потім забруднене повітря буде виходити на вулицю, через фільтр. Після розрахунку повітрообміну за кількістю працюючих людей, необхідно розрахувати повітрообмін по кратності (цей параметр показує, скільки разів протягом однієї години в приміщенні відбувається повна зміна повітря). Щоб повітря в приміщенні не застоювалося, потрібно забезпечити хоча б одноразовий повітрообмін .

Таким чином, для визначення необхідної витрати повітря нам потрібно розрахувати два значення повітрообміну: за кількістю людей та по кратності і, після чого вибрати більше з цих двох значень:

1. Розрахунок повітрообміну за кількістю людей:

$$L = N \cdot L_{\text{norm}} \quad (4.1)$$

де L – необхідна продуктивність припливної вентиляції, $\text{м}^3 / \text{год}$;

N – кількість людей;

L_{norm} – норма витрати повітря на одну людину, $60 \text{ м}^3/\text{год}$;

Тоді:

$$L = 2 \cdot 60 = 120 \text{ м}^3/\text{год} \quad (4.2)$$

2. Розрахунок повітрообміну по кратності:

$$L = n \cdot S \cdot H \quad (4.3)$$

де L – необхідна продуктивність припливної вентиляції, $\text{м}^3 / \text{год}$;

n – нормована кратність повітрообміну: (для офісів $n=2$, для підприємств $n=4$).

S – площа приміщення, м^2 ;

H – висота приміщення, м ;

Тоді:

$$L = 4 \cdot 10 \cdot 3 = 120 \text{ м}^3/\text{год} \quad (4.4)$$

Розрахувавши необхідний повітрообмін для приміщення, що обслуговується, визначаємо загальну продуктивність системи вентиляції.

Розрахунок повітророзподільної мережі

Після визначення продуктивності вентиляції можна переходити до проектування повітророзподільної мережі, яка складається з повітропроводів, фасонних виробів (перехідників, розгалужувачів, поворотів), дросель-клапанів і розподільників повітря (решіток або дифузорів). Розрахунок повітророзподільних мережі починають із складання схеми повітропроводів. Схему складають таким чином, щоб при мінімальній загальній довжині траси система вентиляції могла подавати розрахункову кількість повітря в усі обслуговувані приміщення. Далі по цій схемі розраховують розміри повітропроводів і підбирають розподільників повітря.

Розрахунок розмірів повітропроводів

Для розрахунку розмірів (площі перерізу) повітропроводів нам потрібно знати обсяг повітря, що проходить через повітропровід в одиницю часу, а

також максимально допустиму швидкість повітря в каналі. При збільшенні швидкості повітря розміри повітропроводів зменшуються, але рівень шуму і опір мережі зростають. На практиці швидкість повітря в повітроводах обмежують на рівні 3-4 м / с, оскільки при більш високих швидкостях повітря шум від його руху в повітроводах і розподільниках може стати дуже помітним [46].

Слід також враховувати, що використовувати «тихі» низькошвидкісні повітроводи великого перерізу не завжди можливо, оскільки їх складно розмістити в застельовому просторі. Знизити висоту застельового простору дозволяє застосування прямокутних повітропроводів, які при однаковій площі перетину мають меншу висоту, ніж круглі (наприклад, круглий воздуховод діаметром 160 мм має таку ж площу перетину, як і прямокутний розміром 200 × 100 мм). У той же час монтувати мережу з круглих гнучких повітропроводів простіше і швидше. Отже, розрахункова площа перерізу повітровіда визначається за формулою:

$$S_c = L \cdot 2,778 / V \quad (4.5)$$

де S_c – розрахункова площа перерізу повітровід, см^2 ;

L – витрата повітря через повітровід, $\text{м}^3 / \text{год}$;

V – швидкість повітря в повітроводі, $\text{м} / \text{с}$;

2,778 – коефіцієнт для узгодження різних розмірностей (годинника і секунди, метри й сантиметри).

Тоді:

$$S_c = 300 \cdot 2,778 / 4 = 208 \text{ см}^2. \quad (4.6)$$

Підсумковий результат ми отримуємо в квадратних сантиметрах, оскільки в таких одиницях виміру він більш зручний для сприйняття.

Фактична площа перетину повітропроводу визначається за формулою:

$$S = \pi \cdot D^2 / 400 \quad (4.7)$$

– для круглих повітропроводів,

$$S = A \cdot B / 100 \quad (4.8)$$

– для прямокутних повітропроводів

S – фактична площа перетину повітропроводу, см^2 ;;

D – діаметр круглого повітропроводу, мм;

A і B – ширина і висота прямокутного повітропроводу, мм.

Тоді

$$S = 100\text{мм} \cdot 200\text{мм} / 100 = 200 \text{ см}^2 \quad (4.9)$$

У таблиці наведено дані по витраті повітря в круглих і прямокутних повітро-проводах при різних швидкостях руху повітря.

Таблиця 4.1 – Витрати повітря в повітропроводах

| Параметри повітропроводів | | | Витрата повітря ($\text{м}^3 /$ год) при швидкості повітря: | | | | |
|--|--|--|--|--------------|--------------|--------------|--------------|
| Діаметр круглого повітропроводу \varnothing | Розміри прямокутного повітропроводу u | Площа перетину повітропроводу S | 2 м/ с | 3 м/ с | 4 м/ с | 5 м/ с | 6 м/ с |
| $\varnothing 100 \text{ мм}$ | 80×90 мм | 72 см^2 | 52 | 78 | 10 4 | 13 0 | 15 6 |
| | 63×125 мм | 79 см^2 | 57 | 85 | 11 3 | 14 2 | 17 0 |
| | 63×140 мм | 88 см^2 | 63 | 95 | 12 7 | 15 9 | 19 0 |
| $\varnothing 110 \text{ мм}$ | 90×100 мм | 90 см^2 | 65 | 97 | 13 0 | 16 2 | 19 4 |
| | 80×140 мм | 112 см^2 | 81 | 12 1 | 16 1 | 20 2 | 24 2 |
| $\varnothing 125 \text{ мм}$ | 100×125 мм | 125 см^2 | 90 | 13 5 | 18 0 | 22 5 | 27 0 |

| | | | | | | | |
|----------|------------|---------------------|---------|---------|---------|---------|---------|
| | 100×140 мм | 140 см ² | 10 1 | 15 1 | 20 2 | 25 2 | 30 2 |
| Ø 140 мм | 125×125 мм | 156 см ² | 11 2 | 16 9 | 22 5 | 28 1 | 33 7 |
| | 90×200 мм | 180 см ² | 13 0 | 19 4 | 25 9 | 32 4 | 38 9 |
| Ø 160 мм | 100×200 мм | 200 см ² | 14 4 | 21 6 | 28 8 | 36 0 | 43 2 |
| Ø 180 мм | 90×250 мм | 225 см ² | 16 2 | 24 3 | 32 4 | 40 5 | 48 6 |
| | 160×160 мм | 256 см ² | 18 4 | 27 6 | 36 9 | 46 1 | 55 3 |
| Ø 200 мм | 90×315 мм | 283 см ² | 20 4 | 30 6 | 40 8 | 51 0 | 61 2 |
| | 100×315 мм | 315 см ² | 22 7 | 34 0 | 45 4 | 56 7 | 68 0 |

Розрахунок розмірів повітропроводу проводиться окремо для кожної гілки, починаючи з магістрального каналу, до якого підключається вентилювання. Відзначимо, що швидкість повітря на її виході може досягати 6-8 м / с, оскільки розміри приєднувального фланця вентилювання обмежені розміром її корпусу (шум, що виникає всередині неї, гаситься шумоглушників). Для зменшення швидкості повітря і зниження рівня шуму розміри магістрального повітропроводу часто вибирають більше розмірів фланця вентилювання. У цьому випадку підключення магістрального повітропроводу до вентилювання проводиться через перехідник.

У побутових системах вентиляції зазвичай використовуються круглі повітроводи діаметром від 160×160 мм або прямокутні еквівалентного перерізу.

Для того, щоб фактичні параметри решітки відповідали тим, що зазначені в каталозі, необхідно забезпечити рівномірний розподіл повітря по всій її площі. Для цього бажано використовувати камеру статичного тиску або адаптер з боковим підключенням, в якому потік повітря перед попаданням на решітку повертає під прямим кутом.

Розрахунок витяжного вентилятора

Почнемо з того, що завданням витяжного вентилятора для приміщення певного обсягу є ефективне видалення забрудненого повітря з нормативної кратності, тобто за одиницю часу весь об'єм повітря повинен кілька разів оновитися. Цим сумарним об'ємом визначається витрата повітря в м³ / год - основна характеристика вентилятора.

$$L = S \cdot h \cdot k \quad (4.10)$$

де L – продуктивність вентилятора, м³ / год;

S – площа приміщення, м²;

h – висота стелі;

k – кратність повітрообміну.

Тоді:

$$L = 4 \cdot 10 \cdot 3 = 120 \text{ м}^3/\text{год}. \quad (4.11)$$

Для приміщення необхідний витяжний вентилятор з продуктивністю 120 м³/год. Тому було вирішено вибрати відцентровий вентилятор Maico ECA 100 ipro H з серії ECA ipro, так як він підходить під всі критерії.

4.2 Заходи з безпеки в надзвичайних ситуаціях

Надійна робота підприємств в умовах воєнного часу нерозривно пов'язана із захистом працюючих, службовців і членів їх сімей від зброї масового ураження, для забезпечення якої в мирний час проводяться наступні основні заходи: підтримання в постійній готовності системи повідомлення; забезпечення фонду сховищ на об'єкті для працюючої зміни і протирадіаційних сховищ в заміській зоні для відпочиваючої зміни і членів сімей працюючих і службовців; планування і виконання підготовчих робіт по

будівництву на об'єкті швидко споруджуваних сховищ і ПРУ в заміській зоні; підтримання в готовності захисних споруд і організація обслуговування сховищ; навчання працюючих і службовців способам захисту від ЗМУ і діям за сигналами повідомлення ЦО; планування і підготовка до розосередження і евакуації в заміську зону виробничого персоналу і членів сімей; накопичення, зберігання і підтримання у готовності засобів індивідуального захисту.

Основні заходи: приведення захисних споруд в готовність для використання по прямому призначенню; розосередження і евакуація працюючих, службовців і членів їх сімей в заміську зону; видача працюючим і службовцям засобів індивідуального захисту; будова швидкоспоруджуваних сховищ на об'єкті і ПРУ в заміській зоні, пристосування під ПРУ підвалів, шахт заглиблених споруд.[45]

Захисні споруди призначені для захисту людей від наслідків аварій (катастроф), стихійних лих, а також від уражаючих факторів ЗМЗ та звичайних засобів нападу дії вторинних уражаючих факторів. Захисні споруди поділяються за:

місткістю:

- малої місткості (150—600 осіб);
- середньої місткості (600—2000 осіб);
- великої місткості (більше 2000 осіб);

призначенням:

- для захисту населення;
- для розміщення органів управління (КП, ПУ, ВЗ) і медичних установ;

місцем розташуванням:

- вбудовані;
- окремо стоячі;
- метрополітени;
- у гірських виробках. термінами будівництва:
- збудовані завчасно;
- швидкозбудовані.

захисними властивостями:

- сховища;
- протирадіаційні укриття (ПРУ);
- найпростіші укриття - щілини (відкриті та перекриті).

Сховища забезпечують надійний захист людей від уражаючих факторів (високих температур, шкідливих газів у зонах пожеж, вибухонебезпечних, радіоактивних і сильнодіючих отруйних речовин, обвалів та уламків зруйнованих будівель і споруд та інше), а також ЗМЗ і звичайних засобів нападу.

4.2.2 Протирадіаційні укриття

Протирадіаційні укриття, в основному, забезпечують захист людей від радіоактивного зараження, світлового опромінення, а також зменшують дію ударної хвилі і проникаючої радіації. Крім того, вони захищають від крапельнорідинних отруйних речовин і частково від хімічних та біологічних аерозолей.

Найпростіші укриття зменшують радіуси ураження людей ударною хвилею, послаблюють дію радіоактивних випромінювань та ураження світловим випромінюванням. Сховища за своїми захисними властивостями поділяються на чотири класи:

Таблиця 4.2 - Класи сховищ

| Тип | A-I | A-II | A-III | A-IV |
|---------------------------------------|----------------|------|-------|------|
| $\Delta P\Phi$ (кг\с м ²) | 5 та більше | 3 | 2 | 1 |
| Кз (осл.) | 5000 та більше | 3000 | 2000 | 1000 |

При класифікації враховуються дві характеристики:

- ступінь захисту від надлишкового тиску (P , кг/см²), який залежить від міцності будівельних конструкцій;
- коефіцієнт захисту (ослаблення) за радіоактивним випромінюванням K_z (Косл.) показує в скільки разів рівень радіації у захисній споруді менший,

ніж ззовні. Він залежить від шару і властивостей матеріалу, що вкриває захисну споруду.

Здатність будівельного матеріалу ослаблювати потік радіоактивних випромінювань характеризується товщиною шару половинного послаблення матеріалу - тобто такого, що зменшує інтенсивність радіоактивних випромінювань у два рази. Для різних матеріалів ця характеристика різна.

Таблиця 4.2 - Товщина шару половинного послаблення будівельних матеріалів

| Матеріал | Свинець | Сталь | Бетон | Грунт | Цегла | Деревина |
|-----------------------------|---------|---------|-------|-------|-------|----------|
| Шар половинного послаблення | 1.3—1.8 | 1,8—3,0 | 5—6 | 8—14 | 12—13 | 20—40 |

За шаром половинного ослаблення можна визначити коефіцієнт ослаблення для будь-якої споруди.

$$k_{\text{осл}} = 2^{h/d_{\text{пол}}}$$

де h — товщина захисного шару матеріалу (см);

$d_{\text{пол}}$ — шар половинного ослаблення (см).

ПРУ оцінюються за коефіцієнтом захисту поділяються на групи, що представлені в табл. 4.3.

Таблиця 4.3 - Види протирадіоаційних укриттів за захисними властивостями

| Тип | П-1 | П-2 | П-3 | П-4 | П-5 | П-6 | П-7 | Зона АЕС | | |
|----------|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|----------|-----|------|
| | | | | | | | | П-8 | П-9 | П-10 |
| ДРФ | 0,2 | — | 0,2 | — | — | — | — | 0,2 | 0,2 | — |
| Кз (осл) | 200 | 200 | 100 | 100 | 50 | 20 | 10 | 1000 | 500 | 500 |

Сховища повинні будуватися з урахуванням наступних основних вимог:

- забезпечувати безперервне перебування в них людей не менше 2 діб;
- будуватися на ділянках, які не можуть бути затоплені;
- бути на відстані від мереж водостоку і каналізації;
- не дозволяється прокладання транзитних інженерних комунікацій через сховище (стислого повітря, гарячого водопостачання, газо- та паропроводів);

— прокладання трубопроводів каналізації та водопостачання допускається при наявності вимикаючих пристроїв;

— мати входи і виходи з тим ступенем захисту, що й основні приміщення, а на випадок завалу

— мати аварійний вихід.

Сховище має основні та допоміжні приміщення.

До основних відносяться:

— приміщення для захищених;

— пункти управління;

— медичні кімнати.

До допоміжних відносяться:

— тамбур-шлюзи; — фільтровентиляційні приміщення;

— санітарні вузли;

— приміщення для зберігання води та продуктів харчування та інші.

Приміщення обладнується місцями для сидіння та спання згідно з наступними нормами.

Таблиця 4.4 - Норми обладнання місцями для сидіння.

| Кількість ярусів | Норми площі, м ² | Висота приміщення | | Кількість ліжок | Висота яруса, м |
|------------------|-----------------------------|-------------------|---------|-----------------|-----------------|
| | | сховища | ПУ | | |
| 1 | 0,6 | 1,85—2,15 | 1,7—1,9 | 15 | 0,45 |
| 2 | 0,5 | 2,15—2,8 | 2,2—2,4 | 20 | 1,4 |
| 3 | 0,4 | 2,8—3,5 | 2,8—3,0 | 30 | 2,15 |

Розмір місця для сидіння 0,45x0,45 м, для лежання —0,55x1,8 м. Відстань до стелі від верхнього ярусу на менше — 0,75 м.

Пункт управління (ПУ). Передбачається на ОГД з найбільшою працюючою зміною (НПЗ) не менше 600 осіб. Обладнується він в одному зі сховищ. Кількість працюючих на ПУ не перевищує 10 осіб, при цьому на одного працюючого передбачається $S_n = 2 \text{ м}^2$.

На об'єктах, де НПЗ менше 600 осіб, окреме приміщення для ПУ не передбачається. У приміщенні для захищених, в одному зі сховищ, встановлюється телефон для зв'язку з місцевим штабом ЦО.

Медичний пункт. У сховищах місткістю 800—1200 осіб передбачається кімната $S_n=9 \text{ м}^2$ і додатково 1 м^2 на кожні 100 осіб. У захисних спорудах, де медична кімната не передбачається, на кожні 500 захищених обладнується 1 санітарний пост $S_n=2 \text{ м}^2$, але не менше одного на сховище. В сховищах у необхідній кількості розміщуються обладнання, меблі, прилади, інструменти, ремонтні матеріали, протипожежне і медичне майно.

Входи повинні забезпечувати можливість швидкого та безпечного заповнення сховища. Кожне сховище повинно мати не менше двох входів, один з яких обладнується як аварійний. У сховищах місткістю більше 300 осіб передбачається тамбур-шлюз, з місткістю більше 600 осіб — двокамерний тамбур-шлюз. Площа тамбур-шлюза $8—10 \text{ м}^2$.

Аварійний вихід для вбудованих укрить обладнується підземною галереєю (0,5x1,3) яка виходить на територію, що потенційно не завалюється уламками будівель ($R=0,5h_{\text{буд}}+3 \text{ м}$) та обладнується оголовками.

Система постачання повітря забезпечує вентиляцію приміщень захисної споруди та очистку зовнішнього повітря від радіоактивних, отруйних речовин і бактеріальних засобів. До її складу входять: оголовки, повітрозабірні та противибухові пристрої, а також предфільтри, фільтри, вентилятори, гермоклапани, і пристрої регенерації кондиціонування повітря.

Фільтро-вентиляційні пристрої (ФВП) розміщують у окремому приміщенні. В невеликих сховищах (до 300 осіб) ФВП можуть розміщуватися безпосередньо у приміщенні для захищених.

Постачання повітря у сховища за допомогою фільтровентиляційних систем може здійснюватися за режимом чистої вентиляції (режим 1), коли повітря очищується тільки від пилу за допомогою протипилових фільтрів, при цьому кількість наданого у сховище повітря (Q) приймається $8—13 \text{ м}^3$

/год./чол. – 40год. (для лікарняних закладів $K=1,5$), або в режимі фільтровентиляції (режим 2), але при цьому:

- для захищених $Q = 2 \text{ м}^3 / \text{год.}/\text{чол.} - 12 \text{ год.}$
- для ПУ $Q = 5 \text{ м}^3 / \text{год.}/\text{чол.}$
- для хворих, яких не можна перевозити $Q=10 \text{ м}^3 / \text{год.}/\text{чол.}$

У місцях сховищ, де можлива загазованість приземного шару повітря СДОР і продуктами горіння, слід передбачити режим ізоляції і регенерації внутрішнього повітря (режим 3) з утворенням підпору. Для цього використовуються регенераційна установка для поглинення СО і балони з киснем.

Швидкоспоруджувані укриття.

При недостатній місткості завчасно побудованих укрить будуються швидкоспоруджувані. У них теж передбачаються приміщення для захисту, простіше фільтровентиляційне обладнання, санвузли, запаси води. Для будівлі швидкоспоруджуваних укрить використовується залізо-бетон, елементи підземних колекторів. Будівлю таких споруд планують завчасно стосовно до умов того чи іншого об'єкта. Для цього необхідно мати відповідну документацію. Типове швидкоспоруджуване сховище будується за 24 години.

ВИСНОВКИ ДО РОЗДІЛУ 4

Оцінено умови праці у виробничому приміщенні інженерних розробок підприємства ТОВ ІВК «ТЭМИКС». Розглянуто основні положення техніки безпеки в виробничому приміщенні, загальні вимоги щодо використання електричних пристроїв та систем з підведеним до них електроживленням та стан пожежної безпеки.

Розрахована витяжна система вентиляція та підібрано технічне обладнання. Розрахунковими параметрами системи вентиляції та аеродинамічний опір $\Delta p = 80$ мм водяного стовпчика; в якості вентилятора підібрано відцентровий вентилятор Maico ECA 100 ipro H з серії ECA ipro.

Також, за результати розглядання нормативних документів, було визначено: В надзвичайних ситуаціях впливають наступні фактори: надійність захисту працюючих і службовців від наслідків стихійних бід, аварій (катастроф), а також впливу первинних і вторинних уражаючих факторів ядерного вибуху та інших сучасних засобів нападу; здатність інженерно-технічного комплексу протистояти в певній мірі цим взаємодіям; стійкість і безперервність керування виробництвом і ЦО. Перераховані фактори визначають і основні величини до стійкого функціонування системи автоматизації в умовах надзвичайних ситуацій і шляхи його підвищення [48].

ВИСНОВКИ

В результаті магістерської роботи були вирішені наступні питання:

1. Виконано огляд існуючих систем управління рівнем сипучих продуктів та принципів їх роботи. На основі дослідження літератури та технічної документації, основою для вимірювання рівня було обрано електромеханічний вимірювач рівня, який дозволяє вимірювати рівень різноманітних сипучих продуктів, таких як: порошки, гранули, дрібнозернисті та крупнозернисті продукти. Процес вимірювання не залежить від таких властивостей як:

- діелектричні властивості та провідність матеріалу;
- пилоутворення у ємності;
- змінна вологість матеріалу;
- налипання матеріалу

2. Виконано огляд інтерфейсів сполучення датчиків з обчислювальними системами. За результатами було обрано протокол Modbus RTU, як один з найпопулярніших протоколів M2M-взаємодії.

3. Розроблено математичну модель системи автоматизації, яка є точною для задач дослідження роботи каскадного P-PI-регулятора.

4. Обрано алгоритми керування вимірювачем та на основі отриманої математичної роботи, проведено порівняння двох методів налаштування PID-регулятора: PSO та GA алгоритми крім традиційного методу КМ. Так, результатами дослідження було доведено ефективність алгоритму PSO (практично відсутнє перерегулювання) в порівнянні з методами КМ та GA, які мають перерегулювання близько 7,558% та 3,763% відповідно. Також, при використанні алгоритму PSO відхилення за положенням відсутнє, тоді як відхилення близько 12,03 градуса спостерігається під час використання алгоритму GA.

5. Було розроблено програмне забезпечення оператора, яке забезпечує зручне та зрозуміле відображення рівня в ємності. Має зрозумілий

та зручний інтерфейс, що в свою чергу значно зменшить затрати часу та відповідно грошей на навчання оператора програмно-апаратного комплексу.

б. В спеціальній частині «Охорона праці та безпека у надзвичайних ситуаціях» було оцінено умови праці у виробничому приміщенні інженерних розробок підприємства ТОВ ІВК «ТЭМИКС». Розрахована витяжна система вентиляція та підібрано технічне обладнання. Також розглянуто робота підприємства в надзвичайних умовах.

Основним результатом даної роботи є розроблена ефективна система автоматизації керування рівнем сипучих продуктів, яка задовольняє сучасним вимогам та використовує алгоритми функціонування, ефективність яких було підтверджено результатами дослідження.

Проектована система автоматизації керування рівнем продукту має потенціал для застосування в різних сферах, включаючи промисловість та сільське господарство. Вона може забезпечити підвищення продуктивності, зниження витрат та зменшення ризиків виникнення аварійних ситуацій.

Результати роботи апробовані на XXV Всеукраїнській науково-практичній конференції «Могилянські читання – 2022» та XVII Міжнародній науковій конференції «Ольвійський форум-2023».

Магістерська робота рекомендована до впровадження у практику діяльності ТОВ ІВК «ТЭМИКС» (Акт впровадження від 15.06.2023).

ПЕРЕЛІК ДЖЕРЕЛ ПОСИЛАННЯ

1. Ротаційний сигналізатор рівня ОВЕН РСУ80 [Електронний ресурс] // АКУТЕК в Україні. – 2018. – Режим доступу до ресурсу: https://owen.ua/uploads/124/re_oven_rsu80_2-uk-79829-1.3_a4.pdf.
(дата звернення: 04.12.2022)
2. LEVEL LIMIT SWITCH ILVA01EA31 [Електронний ресурс] // Torex. – 2012. – Режим доступу до ресурсу: https://electrokom.kiev.ua/content/files/opisanie_38124267.pdf. (дата звернення: 04.12.2022)
3. Finetek SA Manual [Електронний ресурс] // FineТек. – 2014. – Режим доступу до ресурсу: <https://simpletech.com.ua/images/downloads/finetek-sa-manual.pdf>.
(дата звернення: 04.12.2022)
4. Аркуш технічних даних Rosemount™ 5408 [Електронний ресурс] // Emerson. – 2018. – Режим доступу до ресурсу: <https://www.emerson.com/documents/automation/product-data-sheet-rosemount-5408-5408-sis-level-transmitters-en-202468.pdf>. (дата звернення: 04.12.2022)
5. Frequency-Modulated Continuous-Wave Radar (FMCW Radar) [Електронний ресурс] // Christian Wolf. – 2005. – Режим доступу до ресурсу: <https://www.radartutorial.eu/02.basics/Frequency%20Modulated%20Continuous%20Wave%20Radar.en.html>. (дата звернення: 04.12.2022)
6. Time Domain Reflectometry (TDR) [Електронний ресурс] // Georgia Institute of Technology NEETRAC. – 2016. – Режим доступу до ресурсу: https://www.neetrac.gatech.edu/publications/CDFI/5-TDR_17_with-Copyright.pdf. (дата звернення: 10.12.2022)
7. Radar level meters GRLM–70 "Miranda" [Електронний ресурс] // Dinel. – 2019. – Режим доступу до ресурсу: http://www.dinel.cz/_file/AMIfv966PzK4bH5LW42Thi1TDsARD9Z5Ar

[7r7Z_RE3YZUoEWXjxK6i0tVxxfa_sWAjzYOZ2TWGMaBOeKwtZxM-bK8TO8BQuDYn04UJXZtxa7g040Crc7aWaty4gaoDI11In25fBa7-D3WjhOwpm4H-300tcAk9EvNw/grlm-70_dat_en_n6_04_2019.pdf](https://old.nivelco.com/download/pdf/sea3802o0600q_12.pdf).

(дата звернення: 10.12.2022)

8. EchoTREK 2-провідні компактні ультразвукові датчики рівня серії S/S-300 [Електронний ресурс] // NIVELCO Process Control Co. – 2013. – Режим доступу до ресурсу: https://old.nivelco.com/download/pdf/sea3802o0600q_12.pdf. (дата звернення: 11.12.2022)
9. Fundamentals, System Design, and Setup for the 4 to 20 mA Current Loop [Електронний ресурс] // NATIONAL INSTRUMENTS CORP. – 2023. – Режим доступу до ресурсу: <https://www.ni.com/en-us/shop/data-acquisition/fundamentals--system-design--and-setup-for-the-4-to-20-ma-curren.html>. (дата звернення: 11.12.2022)
10. Electronic Industries Association (EIA) RS-232-C Interface Standard [Електронний ресурс] // McGraw-Hill. – 1991. – Режим доступу до ресурсу: http://duinorasp.hansotten.com/uploads/2740_EIA_RS-232-C.pdf. (дата звернення: 15.12.2022)
11. RS-485 (EIA/TIA-485) Differential Data Transmission System Basics [Електронний ресурс] // Maxim Integrated Products. – 2001. – Режим доступу до ресурсу: <https://pdfserv.maximintegrated.com/en/an/AN736.pdf>. (дата звернення: 15.12.2022)
12. CiA 301 CANopen Communication Manual [Електронний ресурс] // Chieftek Precision Co., Ltd.. – 2010. – Режим доступу до ресурсу: http://www.chieftek.com/download/cpc%20TC1&TC1-B%20-%20CiA%20301%20Communication%20Manual_Rev%201.0.pdf. (дата звернення: 15.12.2022)
13. MODBUS APPLICATION PROTOCOL SPECIFICATION V1.1b [Електронний ресурс] // Modbus-IDA. – 2006. – Режим доступу до

ресурсу:

https://modbus.org/docs/Modbus_Application_Protocol_V1_1b.pdf.

(дата звернення: 16.12.2022)

14. T. A. Bigelow, "Electric circuits, systems, and motors," Springer, 2020
15. J. A. Momoh, "Energy Processing and Smart Grid," John Wiley & Sons, 2018.
16. P. Krause, O. Wasynczuk, S. D. Sudhoff, and S. D. Pekarek, "Analysis of electric machinery and drive systems," vol. 75, John Wiley & Sons, 2013.
17. B. L. Theraja, "A textbook of electrical technology," S. Chand Publishing, 2008.
18. W. H. Ali, M. N. O. Sadiku, and S. Abood, "Fundamentals of electric machines: a primer with MATLAB: A primer with MATLAB," CRC Press, 2019.
19. J. Bae, K. Cho, and D.-H. Lee, "Parallel position control scheme of permanent magnet DC motors with a low-resolution sensor," in 2020 IEEE International Conference on Industrial Technology (ICIT), 2020, pp. 199–204, doi: 10.1109/ICIT45562.2020.9067269
20. Z. Adel, A. A. Hamou, and S. Abdellatif, "Design of Real-time PID tracking controller using Arduino Mega 2560 for a permanent magnet DC motor under real disturbances," in 2018 International Conference on Electrical Sciences and Technologies in Maghreb (CISTEM), 2018, pp. 1–5, doi: 10.1109/CISTEM.2018.8613560
21. M. F. Cankurtaran and A. E. Kocamis, "Sensorless speed control of PMDC motor with cascade PI controller," in 2019 International Symposium ELMAR, 2019, pp. 203–206, doi: 10.1109/ELMAR.2019.8918654
22. T. N. Gücin, M. Biberoglu, B. Fincan, and M. O. Gulbahce, "Tuning cascade PI (D) controllers in PMDC motor drives: A performance comparison for different types of tuning methods," in 2015 9th International Conference on Electrical and Electronics Engineering (ELECO), 2015, pp. 1061–1066, doi: 10.1109/ELECO.2015.7394556.

23. L. Wang, "PID Control System Design and Automatic Tuning Using MATLAB/Simulink," John Wiley & Sons, 2020.
24. G. L. Raja and A. Ali, "Series cascade control: An outline survey," in 2017 Indian Control Conference (ICC), 2017, pp. 409–414, doi: 10.1109/INDIANCC.2017.7846509.
25. Y. Xie, J. Jin, X. Tang, B. Ye, and J. Tao, "Robust cascade path-tracking control of networked industrial robot using constrained iterative feedback tuning," *IEEE Access*, vol. 7, pp. 8470–8482, 2018, doi: 10.1109/ACCESS.2018.2889702.
26. S. Kumar, D. Roy, and M. Singh, "A fuzzy logic controller based brushless DC motor using PFC cuk converter," *International Journal of Power Electronics and Drive Systems (IJPEDS)*, vol. 10, no. 4, pp. 1894-1905, 2019, doi: 10.11591/ijpeds.v10.i4.pp1894-1905.
27. A. H. Ahmed, B. Abd El Samie, and A. M. Ali, "Comparison between fuzzy logic and PI control for the speed of BLDC motor," *International Journal of Power Electronics and Drive Systems (IJPEDS)*, vol. 9, no. 3, pp. 1116-1123, 2018, doi: 10.11591/ijpeds.v9.i3.pp1116-1123.
28. A. A. Obed, A. L. Saleh, and A. K. Kadhim, "Speed performance evaluation of BLDC motor based on dynamic wavelet neural network and PSO algorithm," *International Journal of Power Electronics and Drive Systems (IJPEDS)*, vol. 10, no. 4, pp. 1742-1750, 2019, doi: 10.11591/ijpeds.v10.i4.1742-1750.
29. Y. Ahmed and A. Hoballah, "Adaptive filter-FLC integration for torque ripples minimization in PMSM using PSO," *International Journal of Power Electronics and Drive Systems (IJPEDS)*, vol. 10, no. 1, pp. 48-57, 2019, doi: 10.11591/ijpeds.v10.i1.pp48-57.
30. M. S. Amiri, M. F. Ibrahim, and R. Ramli, "Optimal parameter estimation for a DC motor using genetic algorithm," *International Journal of Power Electronics and Drive Systems (IJPEDS)*, vol. 11, no. 2, pp. 1047-1054, 2020, doi: 10.11591/ijpeds.v11.i2.pp1047-1054.

31. M. M. Kamal, L. Mathew, and S. Chatterji, "Speed control of brushless DC motor using intelligent controllers," in 2014 Students Conference on Engineering and Systems, 2014, pp. 1–5, doi: 10.1109/SCES.2014.6880121.
32. W. N. A.-D. Abed, A. H. Saleh, and A. S. Hameed, "Speed Control of PMDCM Based GA and DS Techniques," *International Journal of Power Electronics and Drive Systems (IJPEDS)*, vol. 9, no. 4, pp. 1467-1475, 2018, doi: 10.11591/ijpeds.v9.i4.pp1467-1475.
33. F. A. Hasan and L. J. Rashad, "Fractional-order PID controller for permanent magnet DC motor based on PSO algorithm," *International Journal of Power Electronics and Drive Systems (IJPEDS)*, vol. 10, no. 4, pp. 1724-1733, 2019, doi: 10.11591/ijpeds.v10.i4.1724-1733.
34. A. R. Ajel, H. M. A. Abbas, and M. J. Mnati, "Position and speed optimization of servo motor control through FPGA.," *International Journal of Electrical and Computer Engineering (IJECE)*, vol. 11, no. 1, pp. 319-327, 2021, doi: 10.11591/ijece.v11i1.pp319-327.
35. M. Namazov and O. Basturk, "DC motor position control using fuzzy proportional-derivative controllers with different defuzzification methods," *TJFS: Turkish Journal of Fuzzy Systems*, pp. 36-54, 2010
36. N. Mohan, "Electric drives," CRC press, 2003.
37. M. A. Arasomwan and A. O. Adewumi, "On the performance of linear decreasing inertia weight particle swarm optimization for global optimization," *Sci. World J.*, vol. 2013, 2013, doi: 10.1155/2013/860289.
38. H. R. Yazgan, F. Yener, S. Soysal, and A. E. Gür, "Comparison Performances of PSO and GA to Tuning PID Controller for the DC Motor," *Sak. Univ. J. Sci.*, vol. 23, no. 2, pp. 162–174, 2019.
39. E. Flores-Morán, W. Yáñez-Pazmiño, and J. Barzola-Monteses, "Genetic algorithm and fuzzy self-tuning PID for DC motor position controllers," in 2018 19th International Carpathian Control Conference (ICCC), 2018, pp. 162–168, doi: 10.1109/CarpathianCC.2018.8399621.

40. I. J. Hasan, M. R. Ab Ghani, and C. K. Gan, "Optimum distributed generation allocation using PSO in order to reduce losses and voltage improvement," 3rd IET International Conference on Clean Energy and Technology (CEAT), 2014, doi: 10.1049/cp.2014.1476.
41. Про затвердження Правил пожежної безпеки для навчальних закладів та установ системи освіти України [Електронний ресурс] – Режим доступу до ресурсу: – <https://zakon2.rada.gov.ua/laws/show/z1229-16>. (дата звернення: 12.05. 2023)
42. НПА ОП 0.00-1.28-10 «Правила охорони праці під час експлуатації електронно-обчислюваних машин»
43. Про затвердження Правил пожежної безпеки в Україні [Електронний ресурс] – Режим доступу до ресурсу: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/z0252-15#n917>. (дата звернення: 12.05. 2023)
44. Про затвердження Правил охорони праці під час експлуатації електронно-обчислювальних машин [Електронний ресурс] – Режим доступу до ресурсу: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/z0293-1.103> (дата звернення: 12.05. 2023)
45. Про затвердження Правил безпечної експлуатації електроустановок споживачів (ДНАОП 0.00-1.21-98) [Електронний ресурс] – Режим доступу до ресурсу: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/z0093-98.52>. ДСН 3.3.6-042-99 «Санітарні норми мікроклімату виробничих приміщень». (дата звернення: 12.05. 2023)

ДОДАТОК А РЕЗУЛЬТАТИ МОДЕЛЮВАННЯ

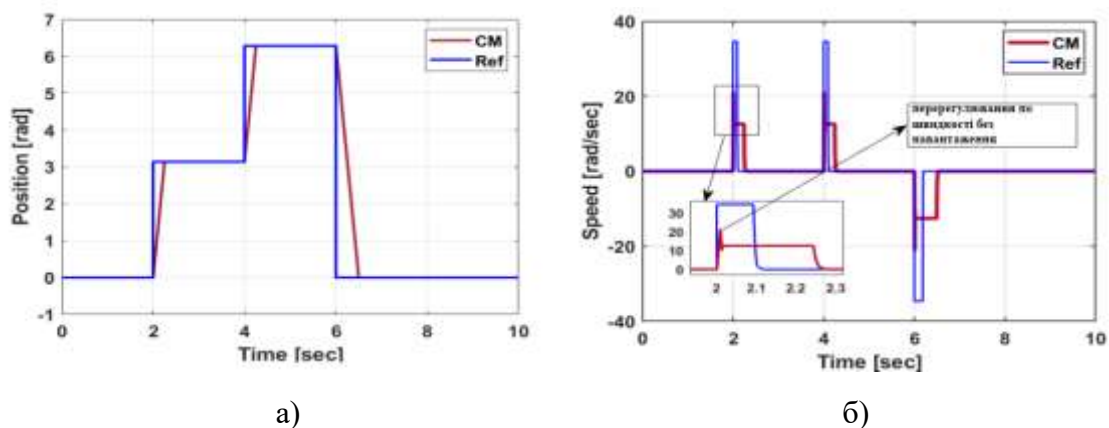


Рисунок А.1 - (а) керування положенням у випадку холостого ходу та (б) керування швидкістю у випадку холостого ходу

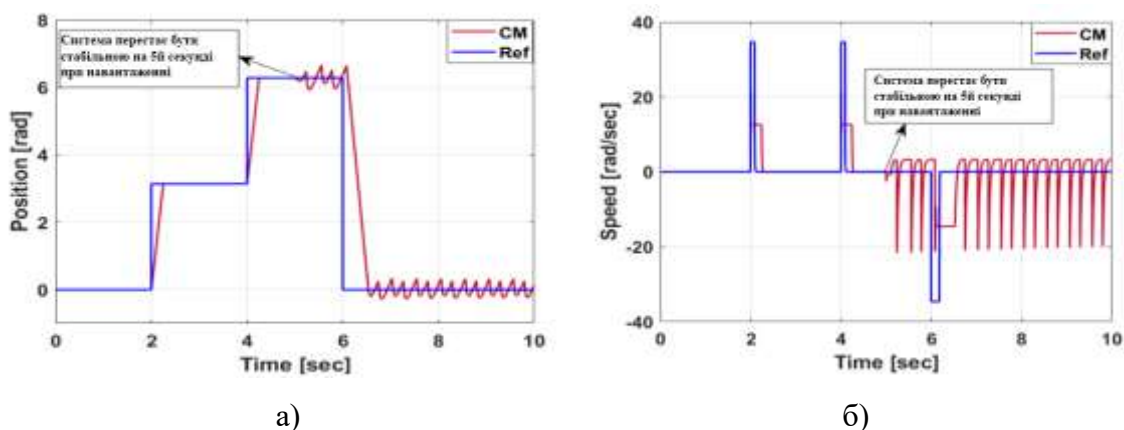


Рисунок А.2 - (а) керування положенням у випадку навантаження та (б) керування швидкістю у випадку навантаження

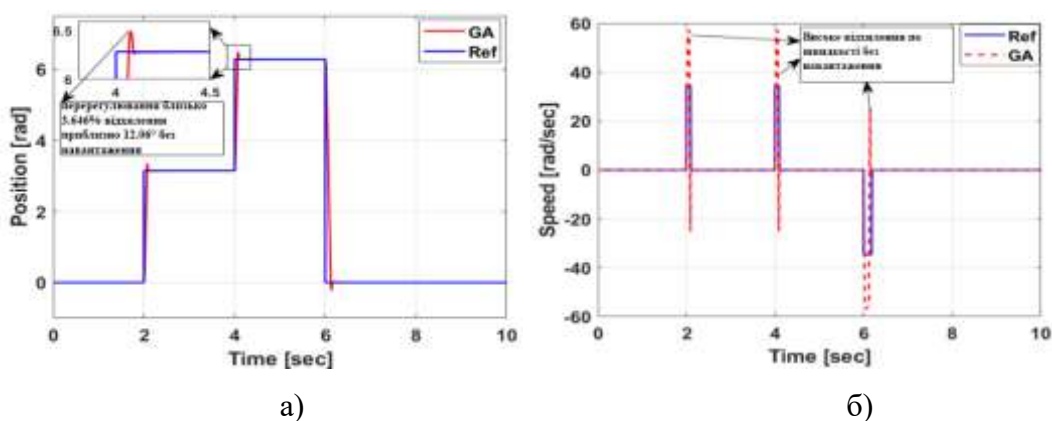
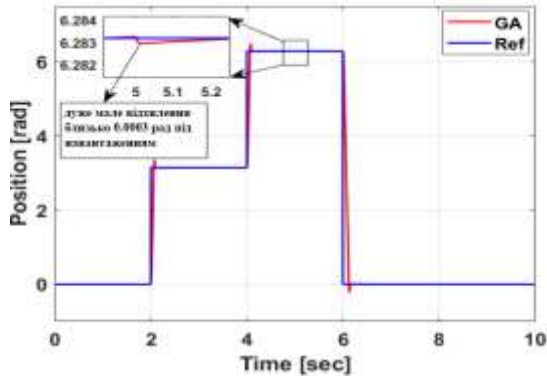
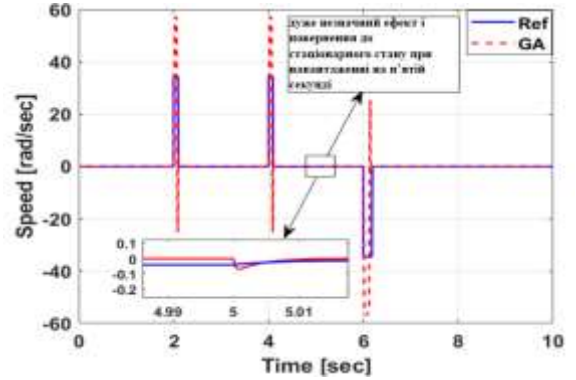


Рисунок А.3 - (а) керування положенням у випадку холостого ходу та (б) керування швидкістю без навантаження

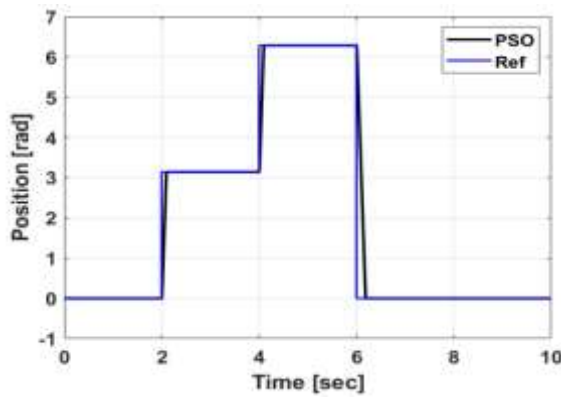


а)

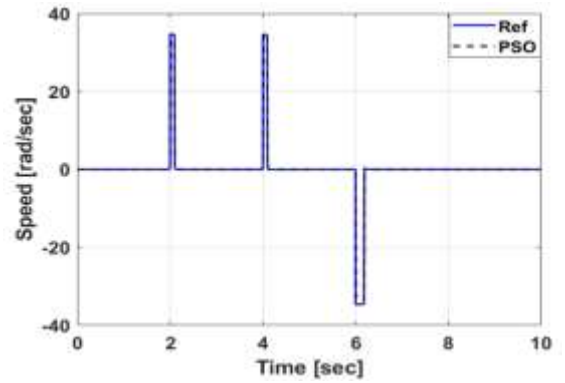


б)

Рисунок А.4 - (а) керування положенням у випадку навантаження та (б) керування швидкістю у випадку навантаження

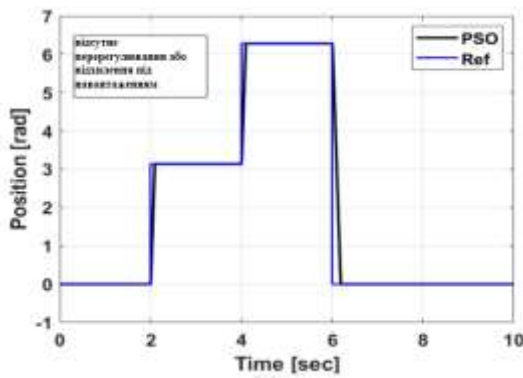


а)

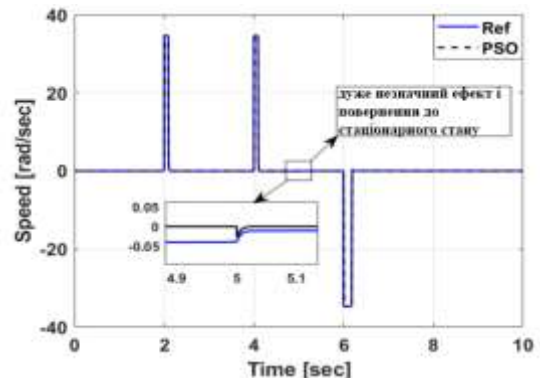


б)

Рисунок А.5 - (а) керування положенням у випадку холостого ходу та (б) керування швидкістю у випадку відсутності навантаження



а)



б)

Рисунок А.6 - (а) керування положенням у випадку навантаження та (б) керування швидкістю у випадку навантаження