

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
ХАРКІВСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ МІСЬКОГО
ГОСПОДАРСТВА імені О.М. БЕКЕТОВА

**Навчально-науковий Інститут енергетичної, інформаційної та
транспортної інфраструктури**

Кафедра автоматизації та комп'ютерно-інтегрованих технологій

РОЗРАХУНКОВО-ПОЯСНЮВАЛЬНА ЗАПИСКА
ДО ВИПУСКНОЇ КВАЛІФІКАЦІЙНОЇ РОБОТИ БАКАЛАВРА

на тему «Розподілена система керування технологічними процесами на базі
контролера WebHMI»

Виконав: здобувач вищої освіти
4 курсу , групи Сінж 2022-1
спеціальності 151 «Автоматизація та
комп'ютерно-інтегровані технології»

Семерульник І.В.

(прізвище та ініціали)

Керівник Арсеньєва О.П., д.т.н., проф.

(прізвище та ініціали, наук. ступ., вч. звання)

Рецензент Тимофєєв О.В.

(прізвище та ініціали, наук. ступ., вч. звання)

Харків – 2026 рік

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
ХАРКІВСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ МІСЬКОГО
ГОСПОДАРСТВА імені О.М. БЕКЕТОВА

Навчально-науковий Інститут енергетичної, інформаційної та транспортної
інфраструктури

Кафедра автоматизації та комп'ютерно-інтегрованих технологій

Освітньо-кваліфікаційний рівень бакалавр

Галузі знань 17 «Електроніка, автоматизація та електронні комунікації»

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

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри АКІТ

 БАРАНОВ О.О.

«19» червня 2026 року

**ЗАВДАННЯ
НА ВИПУСКНУ КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ БАКАЛАВРА**

Семерульник Іван Володимирович

(прізвище, ім'я, по батькові здобувача вищої освіти)

1. Тема проєкту (роботи) «Розподілена система керування технологічними процесами на базі контролера WebHMI»

керівник проєкту (роботи) Арсеньєва Ольга Петрівна, д-р. техн. наук, професор
(прізвище, ім'я, по батькові, науковий ступінь, вчене звання)

затверджена наказом університету від «22» травня 2026 року № 440-03

2. Строк подання роботи здобувачем вищої освіти «23» червня 2026 р.

3. Вихідні дані до проєкту (роботи) Об'єкт автоматизації – технологічний процес із декількома віддаленими ділянками керування; базовий технічний засіб – контролер WebHMI; тип системи – розподілена система диспетчерського контролю та керування; контрольовані параметри: температура, тиск, рівень, витрата, стан обладнання та аварійні сигнали; виконавчі механізми – електроприводи, канали обміну даними – Ethernet, RS-485; функції системи – збір і передавання даних, візуалізація параметрів на мнемосхемах, дистанційне керування обладнанням, реєстрація аварійних подій, формування повідомлень тривоги та організація віддаленого доступу через WEB-інтерфейс.











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

Розділ 1. Інформаційно-аналітичний огляд. Розділ 2. Розробка структури системи керування. Розділ 3. Стендові випробування. Розділ 4. Реалізація диспетчерської системи на базі інтеграційного контролера WebHMI Pro. Розділ 5. Охорона праці.

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

Презентація

6. Консультанти розділів проекту (роботи)


Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	завдання прийняв
Розділ I	Арсеньєва О.П., професор	 26.05.2026 р.	 02.06.2026 р.
Розділ II	Арсеньєва О.П., професор	 26.05.2026 р.	 09.06.2026 р.
Розділ III	Арсеньєва О.П., професор	 26.05.2026 р.	 11.06.2026 р.
Розділ IV	Арсеньєва О.П., професор	 26.05.2026 р.	 12.06.2026 р.
Розділ V	Малишева В.В., доц.	 27.05.2026 р.	 15.06.2026 р.

7. Дата видачі завдання «25» _____ травня _____ 2026 р.

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва етапів кваліфікаційної роботи	Строк виконання етапів роботи	Примітка
1	Розробка 1-го розділу роботи	02.06.2026 р.	виконав
2	Розробка 2-го розділу роботи	09.06.2026 р.	виконав
3	Розробка 3-го розділу роботи	11.06.2026 р.	виконав
4	Розробка 4-го розділу роботи	12.06.2026 р.	виконав
5	Розробка 5-го розділу роботи	15.06.2026 р.	виконав
6	Нормоконтроль	16.06.2026 р.	виконав
7	Рецензування роботи та перевірка на антиплагіат	17.06.2026 р.	виконав
8	Попередній захист роботи	19.06.2026 р.	виконав

Здобувач вищої освіти




(підпис)

Семерульник І.В.

(прізвище та ініціали)

Керівник



(підпис)

Арсеньєва О.П.

(прізвище та ініціали)

РЕФЕРАТ

Випускна кваліфікаційна робота присвячена розробленню розподілених систем керування технологічними процесами. Розроблений апаратно-програмний комплекс призначено для практичного дослідження взаємодії польового, контролерного, мережевого та операторського рівнів автоматизованої системи, а також для набуття навичок підключення технічних засобів автоматизації, налаштування промислового обміну та створення НМІ-інтерфейсу. Апаратна частина реалізована на базі інтеграційного контролера WebHMI PRO та модулів введення-виведення ОВЕН серії Mx110. Виконано практичну реалізацію диспетчерської системи на базі WebHMI PRO для повітродувного агрегату Next Turbo GTH-T50XY.

Структура роботи представлена вступом, п'ятьма розділами, висновками і переліком посилань.

Випускна кваліфікаційна робота бакалавра містить 5 розділів загальним обсягом 105 сторінки, на яких розміщено 49 ілюстрацій, 5 таблиць. При написанні роботи було використано 31 джерело інформації.

Ключові слова: розподілена система керування, WebHMI PRO, Modbus RTU, RS-485, HMI, SCADA, модулі введення-виведення, диспетчеризація, технологічний процес.

ABSTRACT

The final qualification work is devoted to the development of distributed control systems for technological processes. The developed hardware and software complex is intended for practical research of the interaction of the field, controller, network and operator levels of an automated system, as well as for acquiring skills in connecting technical automation equipment, configuring industrial exchange and creating an HMI interface. The hardware part is implemented on the basis of the WebHMI PRO integration controller and the OVEN MX110 series input-output modules. A practical implementation of the dispatching system based on WebHMI PRO for the Next Turbo GTH-T50XY blower unit has been carried out.

The structure of the work is presented by an introduction, five chapters, conclusions, and a list of references.

The bachelor's final qualification work contains 5 sections with a total of 105 pages, which include 49 illustrations and 5 tables. 31 sources of information were used when writing the work.

Keywords: distributed control system, WebHMI PRO, Modbus RTU, RS-485, HMI, SCADA, input-output modules, dispatching, technological process.

ЗМІСТ

ВСТУП	8
РОЗДІЛ 1 ІНФОРМАЦІЙНО-АНАЛІТИЧНИЙ ОГЛЯД.....	11
1.1 Актуальність розподілених систем керування у сучасній промисловій автоматизації.....	11
1.2 Сутність і структура розподіленої системи керування технологічним процесом	12
1.3 Технічні засоби розподілених систем керування.....	14
1.4 Промислові мережі та протоколи обміну даними	17
1.5 НМІ та SCADA як засоби операторського керування і диспетчеризації.....	18
Висновки до розділу 1	21
РОЗДІЛ 2. РОЗРОБКА ЛАБОРАТОРНОГО ВИПРОБУВАЛЬНОГО СТЕНДУ	23
2.1 Постановка задачі стендових випробувань	23
2.2 Вимоги до апаратної частини лабораторного стенду.....	25
2.3 Розробка конструкції лабораторного стенду	27
2.4 Монтаж лабораторного стенду	31
2.5 Монтування обладнання та проведення електромонтажних робіт	33
2.6 Паспортизація лабораторного стенду	37
2.7 Схеми електричних підключень	43
Висновки до розділу 2	48
РОЗДІЛ 3 НАЛАШТУВАННЯ ПРОГРАМНОГО СЕРЕДОВИЩА.	51
3.1 Опис програмного середовища.....	51
3.2 Створення реєстрів та підключень	52
3.3 Розробка НМІ.....	53
3.4 Мережеві налаштування.....	55
3.5 Налаштування модулів вводу/виводу.....	55
3.5.1 Модуль дискретного вводу-виводу ОВЕН МК110-4ДН.4Р	55
3.5.2 Модуль аналогового вводу ОВЕН МВ110-220.8АС	56

3.5.3 Модуль аналогового виводу ОВЕН МУ110-6У	57
Висновки до розділу 3	58
РОЗДІЛ 4 РЕАЛІЗАЦІЯ ДИСПЕТЧЕРСЬКОЇ СИСТЕМИ НА БАЗІ ІНТЕГРАЦІЙНОГО КОНТРОЛЕРА WebHMI PRO.	61
4.1 Технічне завдання на розробку диспетчерського веб-інтерфейсу	61
4.2 Повітродувний агрегат Next Turbo GTH-T50XY та його штатна система керування	65
4.3 Реалізація диспетчерської системи на базі WebHMI PRO	67
4.3.1 Загальна архітектура рішення.....	67
4.3.2 Налаштування мережевого підключення WebHMI PRO.....	69
4.3.3 Прив'язування реєстрів до блоку DB2000 контролера LCP та внутрішні (розрахункові) реєстри WebHMI	70
4.3.4 Скрипти автоматизації мовою Lua: обчислення станів, гістерезис та керуючі команди.....	73
4.3.5 Система подій (Events), аварійних повідомлень та сповіщень ...	76
4.3.6 Мнемосхеми оператора: головний екран та картка агрегату.....	77
4.3.7 Диспетчерська панель Dashboard: P&ID, тренди та діагностика ПЛК.....	82
4.3.8 Суміжна задача: участь у розробці технічного завдання для системи обліку КП «Жовтоводський водоканал»	85
Висновки до розділу 4	86
РОЗДІЛ 5. ОХОРОНА ПРАЦІ	88
5.1 Організаційно-правові основи забезпечення безпеки праці.....	88
5.2 Характеристика об'єкта та виявлення потенційних небезпек.....	89
5.3 Дослідження ризику реалізації потенційних небезпек на об'єкті проектування та розробка заходів щодо їх попередження.....	92
5.3.1 Оцінювання ризику	92
5.3.2 Побудова спрощених дерев відмов	94
5.3.3 Заходи щодо зниження ризиків	95
Висновки до розділу 5	97

ВИСНОВКИ	99
ПЕРЕЛІК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ	102

ВСТУП

Сучасні технологічні процеси у промисловості дедалі частіше реалізуються як багаторівневі автоматизовані системи, у яких датчики, виконавчі механізми, програмовані контролери, модулі введення-виведення, промислові мережі, HMI/SCADA-засоби та системи архівування даних працюють як єдиний інформаційно-керуючий комплекс. У таких умовах керування вже не обмежується одним локальним пристроєм або окремою релейною схемою. Воно передбачає розподіл функцій між польовим, контролерним, мережевим, операторським та інформаційним рівнями, що дозволяє підвищити гнучкість, масштабованість, надійність і діагностичну прозорість систем автоматизації.

Актуальність теми дипломної роботи зумовлена необхідністю практичного вивчення принципів побудови розподілених систем керування технологічними процесами. Такі системи мають складну структуру, тому їх неможливо повноцінно опанувати лише за допомогою теоретичного матеріалу або програмного моделювання. Для розуміння реальної взаємодії апаратних і програмних компонентів потрібне навчальне середовище, у якому можна простежити проходження сигналу від датчика до контролера, перетворення його у програмну змінну, передавання даних через промислову мережу, відображення стану на операторському інтерфейсі та формування керувальної дії на виконавчий механізм.

Важливим напрямом такої підготовки є створення лабораторного випробувального стенду, що відтворює типову структуру розподіленої системи збору даних і керування. Використання стенду дає змогу безпечно перевіряти алгоритми роботи, електричні підключення, налаштування промислових протоколів, функціонування модулів введення-виведення, роботу HMI-інтерфейсу та реакцію системи на типові несправності. Це наближує виконання лабораторно-практичних завдань до реальних інженерних умов і формує навички, необхідні для подальшої роботи з промисловими системами автоматизації.

У дипломній роботі розглянуто розробку лабораторного стенду на базі інтеграційного контролера WebHMI PRO та периферійних модулів ОВЕН серії Mx110. Такий склад обладнання дозволяє реалізувати обмін даними через інтерфейс RS-485, працювати з дискретними й аналоговими сигналами, організувати веб-орієнтовану операторську візуалізацію, створити карту внутрішніх тегів, налаштувати реєстри Modbus RTU та забезпечити дистанційний доступ до параметрів системи через браузер. Завдяки цьому WebHMI PRO виступає не лише як комунікаційний шлюз, а й як центральний програмно-апаратний вузол стенду.

Метою дипломної роботи є розробка розподіленої системи керування технологічними процесами, а також програмне налаштування інтеграційного контролера WebHMI PRO для збору даних, візуалізації параметрів, організації мережевої взаємодії та реалізації елементів диспетчерського керування.

Для досягнення поставленої мети було вирішено такі завдання: проаналізували принципи побудови розподілених систем керування; обґрунтували необхідність стендових досліджень; визначили вимоги до апаратної частини лабораторного стенду; розробили його конструкцію та виконали монтаж обладнання; провели паспортизацію основних технічних засобів; розробили електричні схеми підключень; виконали програмне налаштування WebHMI PRO; створили внутрішню карту тегів і реєстрів; налаштували модулі введення-виведення; розробили веб-мнемосхему HMI; перевірили можливість використання WebHMI PRO для реалізації диспетчерських функцій на прикладі промислового об'єкта.

Об'єктом дослідження є процес побудови та налагодження розподілених систем керування технологічними процесами. **Предметом дослідження** є апаратні та програмні засоби лабораторного стенду, зокрема інтеграційний контролер WebHMI PRO, модулі введення-виведення ОВЕН, мережевий обмін RS-485/Modbus RTU, веб-інтерфейс оператора та засоби диспетчеризації технологічних параметрів.

Практичне значення роботи полягає у створенні лабораторного стенду, який може бути використаний для вивчення принципів промислової автоматизації, програмного налаштування контролерів, роботи з модулями введення-виведення, побудови HMI/SCADA-інтерфейсів і перевірки мережевої взаємодії між пристроями. Особливу цінність має розгляд практичної реалізації диспетчерської системи на базі WebHMI PRO для повітродувного агрегату Next Turbo GTH-T50XY, що демонструє можливість застосування отриманих рішень у реальних умовах експлуатації.

Дипломна робота складається з чотирьох розділів. У першому розділі виконано інформаційно-аналітичний огляд розподілених систем керування. У другому розділі розглянуто розробку лабораторного випробувального стенду, його конструкцію, монтаж, паспортизацію обладнання та схеми електричних підключень. У третьому розділі описано налаштування програмного середовища WebHMI PRO, створення реєстрів, підключень, HMI та конфігурування модулів введення-виведення. У четвертому розділі наведено реалізацію диспетчерської системи на базі WebHMI PRO для промислового повітродувного агрегату.

1 ІНФОРМАЦІЙНО-АНАЛІТИЧНИЙ ОГЛЯД

1.1 Актуальність розподілених систем керування у сучасній промисловій автоматизації

Сучасне промислове виробництво дедалі рідше будується як проста сукупність окремих машин, що працюють ізольовано одна від одної. Навіть відносно невелика технологічна дільниця сьогодні містить датчики, виконавчі механізми, локальні контролери, панелі оператора, мережеве обладнання, програмне забезпечення верхнього рівня та засоби архівування даних. Усе це створює технічну основу для розподіленої системи керування, у якій функції збирання інформації, оброблення сигналів, формування керувальних дій та візуалізації процесу не зосереджені в одному пристрої, а розміщені на декількох взаємопов'язаних рівнях.

Потреба у розподіленій архітектурі зумовлена ускладненням технологічних процесів і зростанням вимог до гнучкості виробництва. Якщо раніше автоматизація часто обмежувалася локальним регулятором або релейною схемою, то нині система керування повинна працювати з великою кількістю сигналів, підтримувати обмін між вузлами, накопичувати історичні дані, передавати інформацію оператору та забезпечувати діагностику обладнання. Саме тому розподілене керування розглядається не як додаткова можливість, а як один із базових принципів побудови сучасних систем автоматизації.

Розподілена архітектура дає змогу розміщувати засоби введення-виведення ближче до об'єкта керування, зменшувати довжину кабельних трас, спрощувати монтаж і підвищувати ремонтпридатність системи. До наявної мережі можна додати новий вузол, модуль або контролер без повної перебудови всієї структури. Крім того, розподіленість полегшує діагностику: несправність окремого пристрою часто не призводить до повної втрати керуваності, оскільки частина функцій може залишатися на локальному рівні.

Важливою особливістю сучасної автоматизації є поєднання операційного керування з інформаційними задачами. Дані, що виникають на

рівні датчиків і контролерів, використовуються не лише для безпосереднього керування, а й для аналізу продуктивності, обліку простоїв, оцінювання якості, планування технічного обслуговування та формування звітів. Тому розподілена система керування повинна забезпечувати не тільки стабільне виконання алгоритмів, а й надійний інформаційний обмін між нижнім, операторським та виробничим рівнями.

1.2 Сутність і структура розподіленої системи керування технологічним процесом

Розподілена система керування технологічним процесом – це сукупність апаратних і програмних засобів, у якій функції керування, збору даних, обміну інформацією та взаємодії з оператором виконуються кількома взаємопов'язаними вузлами. На відміну від централізованої системи, де основні рішення приймає один керувальний пристрій, у розподіленій системі частина задач виконується локально. Наприклад, один контролер може відповідати за насосну групу, другий – за транспортну лінію, третій – за вузол дозування або підсистему сигналізації. Верхній рівень при цьому забезпечує спостереження, налаштування параметрів, реєстрацію подій і координацію роботи окремих частин об'єкта.

У літературних джерелах з промислової автоматизації DCS розглядають як систему, де керувальні функції розміщуються поблизу відповідних частин технологічного об'єкта, а операторський нагляд і візуалізація виконуються з центрального або декількох робочих місць [18]. У широкому значенні така архітектура охоплює польові пристрої, контролери, віддалені модулі введення-виведення, промислові мережі, операторські панелі, SCADA-сервери, архіви даних і засоби інтеграції з іншими інформаційними системами.

Типова розподілена система містить кілька рівнів. На польовому рівні розташовуються датчики, кінцеві вимикачі, кнопки, сигнальні лампи, клапани, електроприводи, перетворювачі частоти та інші елементи, які безпосередньо пов'язані з технологічним процесом. На рівні керування

працюють PLC, віддалені модулі I/O, регулятори та локальні пристрої оброблення сигналів. На операторському рівні застосовуються НМІ та SCADA, які дають змогу контролювати процес, змінювати уставки, переглядати тривоги і аналізувати тренди. Вище можуть розташовуватися інформаційні системи підприємства, бази даних, аналітичні сервіси та засоби виробничої звітності.

Розподіленість не означає хаотичне з'єднання пристроїв. Навпаки, вона потребує чіткої структуризації: кожен вузол повинен мати визначену роль, адресу, набір вхідних і вихідних сигналів, правила обміну та реакцію на втрату зв'язку. Якщо така структура не описана заздалегідь, система швидко стає складною для супроводу. Тому на етапі аналізу необхідно визначати межі технологічних ділянок, функції кожного контролера, маршрути передавання даних, формат тегів, принципи аварійного реагування та порядок діагностики.

Для розуміння місця розподілених систем у загальній промисловій архітектурі доцільно звернутися до моделі ISA-95. Стандарт ISA-95, відомий також як IEC 62264, описує інтеграцію виробничого керування з логістичними та корпоративними системами підприємства [13]. У поданні рівнів ISA-95 виділяють фізичний процес, датчики й виконавчі елементи, системи керування, виробничі операції та бізнес-рівень підприємства [14]. Такий підхід допомагає пояснити, чому дані з контролерів мають бути придатними не лише для локального керування, а й для подальшого журналювання, аналізу та прийняття управлінських рішень.

На нижньому рівні формується первинна інформація про стан об'єкта: положення механізмів, наявність виробу, температуру, тиск, рівень, витрату, частоту обертання або інші технологічні параметри. Ця інформація перетворюється на електричні або цифрові сигнали та надходить до контролера. Далі PLC або інший пристрій керування виконує алгоритм, формує вихідні команди і передає частину даних на верхній рівень. НМІ або

SCADA забезпечують людинно-машинну взаємодію, а також накопичення подій і аварійних повідомлень.

Верхній рівень не повинен підміняти собою локальне керування. Критичні блокування, реакція на аварійні сигнали та швидкі цикли регулювання мають виконуватися поблизу технологічного об'єкта, оскільки затримка в мережі або відмова серверного компонента не повинні призводити до небезпечного стану. Водночас саме верхній рівень робить систему прозорою для оператора: він відображає поточний стан обладнання, дозволяє переглядати історію, формує тривоги, тренди та звіти.

Загальну ієрархію розподіленої системи керування подано на рисунку 1.1. Вона відображає перехід від фізичного процесу до польових пристроїв, контролерного рівня, операторської візуалізації та інформаційного рівня підприємства.

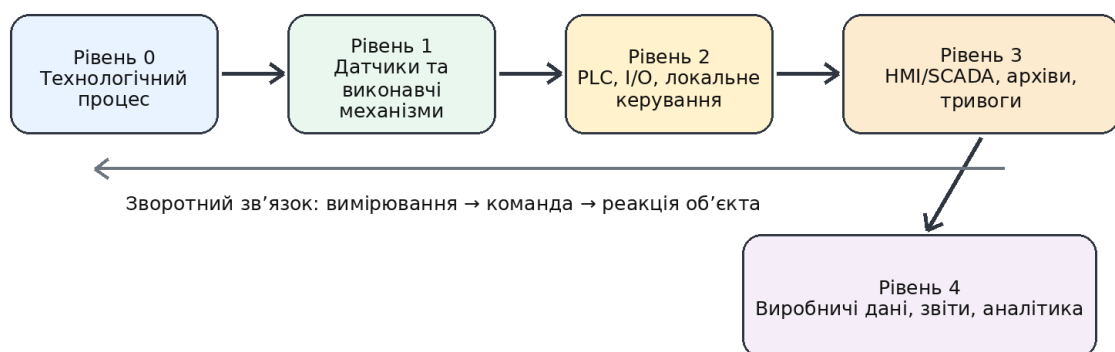


Рисунок 1.1 – Ієрархічна структура розподіленої системи керування

1.3 Технічні засоби розподілених систем керування

Програмований логічний контролер є базовим елементом більшості сучасних систем автоматизації. У технічній літературі PLC описують як промисловий комп'ютер, що має апаратну частину, програмне забезпечення і призначений для виконання функцій керування машинами та технологічними процесами [4]. На відміну від персонального комп'ютера, контролер розрахований на роботу в умовах промислового середовища: з підвищеним рівнем електричних завад, необхідністю безперервної роботи, простотою

підключення дискретних і аналогових сигналів, а також передбачуваною циклічною логікою виконання програми.

Контролер виконує програму за принципом циклу сканування: зчитує входи, обробляє логіку користувача, формує вихідні сигнали та виконує службові операції. У розподіленій системі роль PLC розширюється. Він може бути ведучим пристроєм для віддалених модулів введення-виведення, сервером даних для SCADA, клієнтом іншого контролера або шлюзом між різними протоколами. Компактні контролери сімейства SIMATIC S7-1200 призначені для широкого кола задач автоматизації і можуть застосовуватися у невеликих системах із локальним та мережевим керуванням [3].

Стандартизація програмування PLC суттєво вплинула на розвиток промислової автоматизації. IEC 61131-3 визначає синтаксис і семантику мов програмування промислових контролерів [1]. У межах цього стандарту використовуються графічні й текстові підходи до опису алгоритмів, зокрема LD, FBD, ST та SFC [2]. Завдяки цьому одна й та сама технологічна задача може бути реалізована різними способами: логіка пуску двигуна з блокуваннями – у LD, оброблення аналогового сигналу – у FBD, складні умови або математичні перетворення – у ST, послідовність операцій – у SFC.

Віддалені модулі введення-виведення дають змогу рознести фізичні точки підключення і центральну логіку керування. Такий підхід особливо корисний для протяжних об'єктів, де встановлення всіх кабелів до одного щита є незручним або економічно недоцільним. Віддалений модуль приймає сигнали від локальних датчиків і передає їх контролеру через мережу. У зворотному напрямку він отримує команди для виконавчих механізмів. У результаті система стає гнучкішою, а розширення кількості сигналів не потребує повної зміни основної апаратної структури.

Польовий рівень є основою будь-якої системи керування, оскільки саме на ньому інформація про технологічний процес перетворюється на електричні сигнали, а керувальні команди – на фізичну дію. До польового рівня належать датчики, кнопки, перемикачі, кінцеві вимикачі, реле, пускачі,

електроприводи, клапани, індикатори та інші елементи. У розподіленій системі цей рівень повинен бути максимально наочним з погляду структури сигналів: кожен вхід і вихід має зрозуміле призначення, тип сигналу та умови спрацювання.

Датчики у розподіленій системі виконують роль джерел первинної інформації. Дискретні датчики застосовуються для фіксації наявності об'єкта, положення механізму, натискання кнопки, досягнення крайнього положення або виникнення аварійної умови. Аналогові датчики вимірюють неперервні параметри: температуру, тиск, рівень, витрату, швидкість, вологість або інші величини. Перетворення фізичного параметра на значення у програмі контролера є важливим етапом, оскільки саме на цьому рівні виникають питання масштабування, фільтрації, обмеження діапазону та виявлення несправностей.

Виконавчі механізми реалізують рішення, сформовані алгоритмом керування. До них належать електромагнітні клапани, контактори, реле, електродвигуни, частотні перетворювачі, сервоприводи, нагрівачі, сигнальні лампи та звукові оповіщувачі. У промислових системах вихідний сигнал контролера часто не керує навантаженням безпосередньо, а проходить через проміжні пристрої: реле, пускачі, модулі захисту або драйвери. Це забезпечує електричне розділення, захист обладнання і зручність обслуговування.

Окрему роль відіграють системи збору даних. У технічних матеріалах ІІ підкреслюється, що вимірювальні системи поєднують датчики, пристрої введення-виведення та програмне забезпечення для перетворення фізичних параметрів у дані, придатні для аналізу й оброблення [17]. Для промислової автоматизації це означає, що якість керування залежить не тільки від алгоритму, а й від правильного вибору датчика, діапазону вимірювання, типу сигналу, захисту від завад і способу передавання даних до контролера.

1.4 Промислові мережі та протоколи обміну даними

Промислова мережа є тим середовищем, яке перетворює набір окремих пристроїв на єдину систему. Без обміну даними контролер, віддалений модуль введення-виведення, HMI, SCADA, частотний перетворювач або інший пристрій залишаються автономними елементами. Мережевий рівень забезпечує передачу команд, вимірних значень, аварійних повідомлень, службової інформації та параметрів налаштування. Саме тому вибір протоколу і структура мережі мають безпосередній вплив на надійність, швидкодію та зручність супроводу системи.

Одним із поширених протоколів промислового обміну є Modbus. Специфікація Modbus Application Protocol описує модель обміну, у якій дані подаються через адресовані регістри та функції читання або запису [10]. Перевагою Modbus є простота, відкритість і велика кількість сумісних пристроїв. Водночас інженер має уважно працювати з адресацією, типами даних, порядком байтів, частотою опитування і реакцією на відсутність відповіді. Помилка у будь-якому з цих параметрів може призвести до некоректного відображення даних або втрати керування.

Для задач, де потрібна швидка інтеграція пристроїв у мережу Ethernet, застосовуються промислові протоколи EtherNet/IP та PROFINET. EtherNet/IP використовує стандартний Ethernet і загальний промисловий протокол CIP для обміну даними між контролерами, приводами та іншими пристроями [11]. PROFINET також належить до провідних промислових Ethernet-технологій і призначений для автоматизації з різними вимогами до швидкодії та синхронізації [12]. Такі протоколи дають змогу будувати системи з високою продуктивністю, але потребують правильного проєктування топології, адресації та діагностики мережі.

У розподіленій системі важливо враховувати не лише факт з'єднання пристроїв, а й характер передавання даних. Одні сигнали потребують циклічного обміну з фіксованим періодом, інші можуть передаватися подієво або за запитом. Для аварійних станів важлива гарантована реакція та

коректне відновлення після втрати зв'язку. Тому мережевий обмін повинен супроводжуватися механізмами контролю часу відповіді, перевірки доступності вузлів, виявлення помилок і фіксації подій.

1.5 НМІ та SCADA як засоби операторського керування і диспетчеризації

Операторський рівень забезпечує взаємодію людини з технологічним процесом. Якщо основний алгоритм виконується автоматично, то оператор має бачити стан процесу, змінювати допустимі параметри, реагувати на аварії, аналізувати тренди та переглядати історію подій. Для цього застосовуються НМІ-панелі та SCADA-системи. НМІ зазвичай орієнтована на локальну взаємодію з машиною або дільницею, тоді як SCADA виконує ширші функції диспетчеризації, збору даних, архівування та віддаленого нагляду.

SCADA, тобто Supervisory Control and Data Acquisition, у сучасному розумінні поєднує програмні й апаратні засоби для контролю промислових процесів і збору даних [5]. У термінах NIST SCADA визначається як комп'ютеризована система, здатна збирати і обробляти дані, а також застосовувати оперативне керування на рівні виробничого процесу [6]. Для розподіленої системи це означає, що SCADA не повинна розглядатися лише як красивий екран. Вона є інформаційним вузлом, який зв'язує контролери, оператора, журнали подій, архіви та аналітичні інструменти.

Основою SCADA-проєкту є система тегів. Тег пов'язує змінну контролера або мережевого пристрою з елементом мнемосхеми, архівом, тривогою чи трендом. Якщо тег описаний некоректно, оператор може бачити неправильне значення або помилковий стан механізму. Тому проєктування SCADA потребує узгодження адресації, назв змінних, одиниць вимірювання, меж аварій, прав доступу та логіки підтвердження повідомлень.

Крім поточного відображення стану процесу, SCADA виконує функції історизації. Архіви дають змогу відстежувати зміни параметрів у часі, аналізувати причини аварій, оцінювати стабільність процесу та формувати

звіти. У розподілених системах це особливо важливо, оскільки подія в одному вузлі може бути наслідком зміни в іншому. Наприклад, зупинка приводу може виникнути через втрату зв'язку з віддаленим модулем, спрацювання кінцевого вимикача або помилку в таблиці тегів. Без журналу подій такі взаємозв'язки складно встановити.

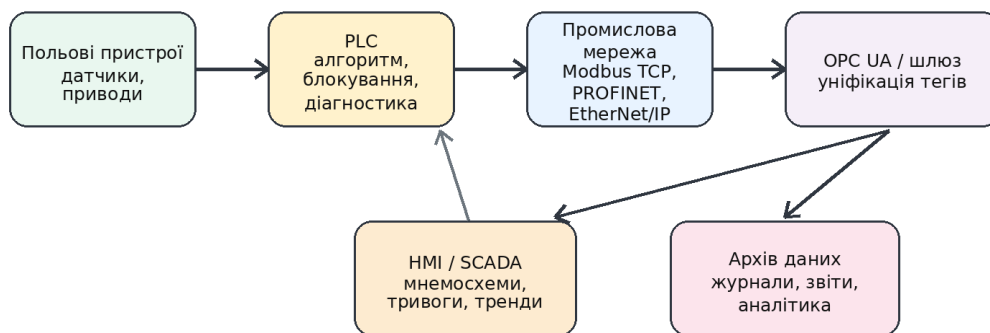
У розподілених системах керування часто виникає потреба об'єднати обладнання різних виробників і різних поколінь. Один контролер може передавати дані через Modbus TCP, інший – через PROFINET, SCADA може використовувати OPC UA, а окремий вимірювальний пристрій підтримувати лише послідовний інтерфейс. У такій ситуації важливою стає не тільки фізична сумісність, а й правильне приведення даних до зрозумілої структури: імен, типів, одиниць вимірювання та правил доступу.

OPC у промисловій автоматизації виник як підхід до стандартизованого обміну даними між програмним забезпеченням і обладнанням [7]. OPC UA є сучасною технологією, яка поєднує передавання даних, інформаційну модель, механізми безпеки та можливість незалежної від платформи інтеграції [8]. Це робить OPC UA важливим інструментом для зв'язку між контролерами, SCADA, базами даних, аналітичними сервісами та іншими компонентами верхнього рівня.

Суттєвою перевагою OPC UA є не лише обмін значеннями, а й опис даних у вигляді інформаційної моделі. Стандарт IEC 62541-5 описує частину інформаційної моделі OPC UA [19]. Завдяки цьому змінна може мати не просто числове значення, а назву, тип, одиниці вимірювання, атрибути доступу і зв'язки з іншими об'єктами. Для складних систем це значно полегшує супровід, оскільки дані стають самодокументованими і зрозумілішими для різних програмних компонентів.

Приклад обміну даними між нижнім і верхнім рівнями через мережеві протоколи та OPC UA наведено на рисунку 1.2. Він показує, що фізичний сигнал проходить кілька етапів перетворення: від датчика до змінної

контролера, від змінної до мережевого тегу, від тегу до елемента SCADA та запису в архів.



Фізичний сигнал перетворюється на змінну контролера, мережевий тег, елемент SCADA та запис в архіві.

Рисунок 1.2 – Схема обміну даними між нижнім і верхнім рівнями

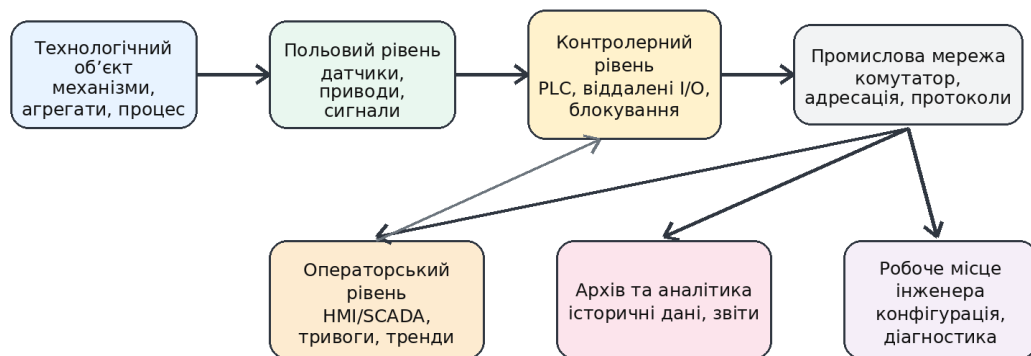
Проектування розподіленої системи керування доцільно починати не з вибору конкретного контролера або протоколу, а з аналізу технологічного процесу. Спочатку визначаються основні технологічні операції, параметри, що підлягають контролю, виконавчі механізми, аварійні умови, режими роботи та вимоги до безпечного стану. Лише після цього можна обґрунтовано розподіляти функції між польовим рівнем, контролерами, мережевою інфраструктурою та операторським рівнем.

Першим принципом є функціональна декомпозиція. Кожна частина об'єкта повинна мати зрозумілу зону відповідальності: збір сигналів, локальне керування, обмін даними, візуалізацію, архівування або діагностику. Такий поділ спрощує програмування, налагодження та подальший супровід. Якщо вся логіка зосереджена в одному великому блоці, система стає складною для аналізу, а пошук помилки займає багато часу.

Другим принципом є модульність. Розподілена система повинна допускати розширення без повної перебудови. Для цього важливо використовувати узгоджену адресацію, зрозумілі правила іменування тегів, резерв у кількості входів і виходів, а також мережеву структуру, здатну прийняти нові пристрої. Модульність має стосуватися не тільки апаратної частини, а й програмного забезпечення: окремі функціональні блоки повинні виконувати конкретні задачі і мати чітко описані інтерфейси.

Третім принципом є документованість. У розподіленій системі помилка в IP-адресі, номері регістра, назві тегу або типі даних може порушити роботу цілої технологічної дільниці. Тому таблиці адресації, карти I/O, описи змінних, схеми мережі, параметри протоколів, структура аварій і права доступу повинні бути зафіксовані у проєктній документації. Документованість є не формальною вимогою, а умовою стабільної експлуатації.

Орієнтовну архітектуру розподіленої системи керування технологічним процесом подано на рисунку 1.3. Схема відображає взаємодію технологічного об'єкта, польових пристроїв, контролерів, промислової мережі, операторського рівня, архіву даних і робочого місця інженера.



Архітектура має забезпечувати локальне керування, мережевий обмін, операторський контроль і фіксацію подій

Рисунок 1.3 – Типова архітектура розподіленої системи керування

Висновки по розділу 1

У першому розділі розглянуто основні поняття, принципи та технічні засоби, пов'язані з побудовою розподілених систем керування технологічними процесами. Встановлено, що сучасна система автоматизації є багаторівневою структурою, у якій польові пристрої, модулі введення-виведення, програмовані контролери, промислові мережі, HMI/SCADA та засоби інтеграції даних працюють як єдиний комплекс. Така структура відповідає вимогам виробництва, де важливими є гнучкість, масштабованість, діагностика, надійність і можливість обміну інформацією між різними рівнями керування.

Показано, що програмований логічний контролер є базовим елементом локального керування, але в розподіленій системі його роль розширюється: він виконує алгоритм, взаємодіє з віддаленими вузлами, передає дані на верхній рівень і формує діагностичну інформацію. Важливе значення має стандартизація програмування відповідно до ІЕС 61131-3, оскільки вона забезпечує структурований опис логіки та можливість використання різних мов для різних типів задач.

Проаналізовано роль промислових мереж і протоколів, зокрема Modbus, EtherNet/IP, PROFINET та OPC UA. Визначено, що для розподіленої системи важливо не лише забезпечити обмін даними, а й правильно описати адресацію, типи даних, клієнт-серверну взаємодію, діагностику та типові помилки конфігурування. Окремо підкреслено значення HMI/SCADA як засобів операторського керування, візуалізації, архівування і аварійної сигналізації.

Узагальнено, що ефективна розподілена система керування повинна будуватися на принципах функціональної декомпозиції, модульності, документованості, діагностичної прозорості та кіберзахисту. Саме поєднання цих принципів дає змогу створювати системи, здатні стабільно працювати в умовах складного технологічного процесу, підтримувати розширення, забезпечувати операторський контроль і надавати достовірні дані для подальшого аналізу.

2 РОЗРОБКА ЛАБОРАТОРНОГО ВИПРОБУВАЛЬНОГО СТЕНДУ

2.1 Постановка задачі стендових випробувань

Розробка розподілених систем керування технологічними процесами потребує не лише теоретичного обґрунтування структури системи, вибору технічних засобів і складання алгоритмів роботи, а й практичної перевірки їхньої взаємодії в умовах, наближених до реальної експлуатації. Особливістю таких систем є те, що вони складаються з декількох взаємопов'язаних рівнів: польового, контролерного, мережевого, операторського та діагностичного. Кожен із цих рівнів виконує окремі функції, але працездатність усієї системи визначається не лише якістю окремих пристроїв, а й правильністю їхнього об'єднання в єдину структуру. Саме тому проведення стендових досліджень є важливим етапом під час розробки та налагодження розподілених систем керування.

Стендові дослідження дають змогу перевірити роботу системи до її впровадження на реальному технологічному об'єкті. Це особливо важливо, оскільки помилки в алгоритмі керування, схемі підключення, адресації пристроїв або налаштуванні мережевого обміну можуть призвести до зупинки обладнання, порушення технологічного режиму, аварійних ситуацій або пошкодження виконавчих механізмів. На стенді можна безпечно відтворити основні режими роботи системи, перевірити реакцію контролера на зміну вхідних сигналів, оцінити правильність формування вихідних команд, проаналізувати роботу аварійних блокувань і перевірити взаємодію між контролером, модулями введення-виведення, НМІ або SCADA-системою.

Важливою перевагою стендових досліджень є можливість поетапного налагодження системи. На першому етапі можна перевірити правильність підключення дискретних та аналогових сигналів, відповідність входів і виходів їхньому функціональному призначенню, роботу індикації та органів керування. На наступному етапі виконується перевірка програмної логіки контролера: режимів пуску та зупинки, умов блокування, оброблення

аварійних сигналів, перемикання ручного й автоматичного режимів. Після цього доцільно перевірити мережевий обмін між вузлами системи, коректність адресації, передачу даних на операторський рівень, роботу мнемосхем, тривог, трендів та журналів подій. Така послідовність дозволяє виявляти помилки не загалом у всій системі, а на конкретному рівні її побудови.

Розподілені системи керування значною мірою залежать від правильності інформаційного обміну. Навіть якщо окремі елементи системи справні, некоректно задана IP-адреса, помилка в таблиці тегів, неправильний номер реєстра або невідповідність типу даних можуть зробити систему непридатною. Стендові дослідження дають змогу перевірити ці аспекти в контрольованих умовах. При цьому можна не лише підтвердити правильність штатної роботи, а й змодельовати типові несправності: втрату зв'язку з віддаленим модулем, відсутність відповіді пристрою, помилку обміну, некоректне значення аналогового сигналу або відмову окремого датчика. Аналіз таких ситуацій дозволяє оцінити стійкість системи до порушень і визначити, чи передбачені в ній необхідні діагностичні та захисні функції.

Необхідність розробки лабораторного стенду також обумовлена тим, що розподілена система керування є складним об'єктом для вивчення лише за допомогою схем, описів або програмного моделювання. Теоретичний матеріал дозволяє зрозуміти принципи побудови системи, однак не завжди формує повне уявлення про реальну взаємодію апаратних і програмних компонентів. Лабораторний стенд забезпечує можливість безпосередньо спостерігати проходження сигналу від датчика до контролера, перетворення цього сигналу у програмну змінну, передавання даних через мережу, відображення стану на операторському інтерфейсі та формування керувальної дії на виконавчий механізм. Завдяки цьому складна структура розподіленої системи стає наочною і зрозумілою.

Розробка такого стенду має також методичне значення. Він може використовуватися для формування практичних умінь з підключення

технічних засобів автоматизації, програмування PLC, налаштування промислових протоколів, створення HMI/SCADA-інтерфейсів, організації аварійної сигналізації та діагностики. На відміну від суто програмного моделювання, лабораторний стенд поєднує роботу з реальними електричними сигналами, мережевим обміном і програмною логікою. Це дозволяє наблизити навчальні завдання до реальних інженерних ситуацій, у яких необхідно враховувати не тільки алгоритм керування, а й фізичне підключення обладнання, особливості сигналів, параметри мережі, затримки обміну та безпечну реакцію системи на несправності.

Отже, проведення стендових досліджень є необхідним етапом при розробці розподілених систем керування технологічними процесами, оскільки воно забезпечує практичну перевірку структури системи, алгоритмів керування, мережевої взаємодії, засобів операторського контролю та діагностики. Розробка лабораторного стенду дозволяє створити безпечне й наочне середовище для дослідження принципів побудови таких систем, перевірки типових режимів роботи та аналізу можливих відмов. Це підвищує якість проєктних рішень, зменшує ризик помилок під час впровадження системи на реальному об'єкті та сприяє формуванню практичних навичок, необхідних майбутнім фахівцям з автоматизації.

2.2 Вимоги до апаратної частини лабораторного стенду

Під час розробки лабораторного стенду важливу роль відіграє не лише вибір програмних засобів диспетчеризації, а й правильна організація апаратної складової. В дипломній роботі пропонується розробити стенд на базі інтеграційного контролера WebHMI PRO та модулі введення/виведення (польові модулі). Саме від вибору польових модулів, способу їх розміщення та якості електричного монтажу залежать зручність експлуатації стенду, надійність роботи обладнання, а також можливість його подальшого вдосконалення. Апаратна частина повинна забезпечувати безпечні умови роботи як для студентів, так і для самого обладнання, а також підтримувати

виконання широкого спектру задач з промислової автоматизації та диспетчеризації.

Оскільки в основу стенду закладено принцип побудови розподіленої системи збору даних, ключовою вимогою до апаратної частини є наявність промислової шини передавання даних. Для цього потрібно передбачити використання інтерфейсу RS-485 у режимі «Multi-protocol», до якого послідовно підключаються периферійні модулі введення/виведення ОВЕН серії Mx110. Така архітектура дає змогу наочно продемонструвати принцип «master-slave», характерний для більшості промислових мереж, а також відпрацювати на практиці адресацію приладів і налаштування протоколів обміну.

Не менш важливою вимогою є електробезпека стенду. Апаратна частина повинна мати чіткий поділ на низьковольтне коло живлення 24 В постійного струму, від якого живляться контролер та модулі введення/виведення, та коло змінного струму 230 В, призначене для силового навантаження. Кожне з кіл має бути захищене окремими автоматичними вимикачами, що відповідає вимогам охорони праці під час виконання студентами лабораторних робіт з реальним промисловим обладнанням під напругою.

Конструкція розроблюваного стенду повинна забезпечувати максимально зручне і наочне просторове розміщення всіх елементів автоматики з можливістю вільного та безпечного доступу до комутаційних клемних колодок під час проведення лабораторно-практичних занять. Наочність розташування приладів на відкритій монтажній панелі є критично важливою педагогічною вимогою, оскільки це не просто спрощує процес збирання схем студентами, а й дозволяє їм візуально простежити шлях проходження сигналів та базові принципи архітектурної побудови промислових розподілених мереж керування. Відкрите виконання дозволяє позбутися обмежень стандартних закритих металевих шаф автоматики,

полегшуючи демонстрацію внутрішньої структури приладів та комутаційних вузлів.

Не менш суттєвою інженерною вимогою під час розробки є висока механічна міцність та експлуатаційна надійність електричних кіл. Усі провідники та клемні з'єднання повинні витримувати багаторазову комутацію та надійно фіксувати дроти, повністю виключаючи ймовірність випадкового короткого замикання, іскріння, обриву ліній зв'язку або теплового пошкодження апаратури під час тривалої роботи. Важливим фактором проектування виступає гнучкість системи, яка полягає у можливості подальшої модернізації, масштабування та оперативного розширення функціональних можливостей стенду шляхом додавання нових модулів розширення без необхідності повної зміни каркаса.

2.3 Розробка конструкції лабораторного стенду

Для забезпечення високої геометричної точності, жорсткості та довговічності настільного лабораторного стенду було проведено детальний інженерний аналіз існуючих конструкційних матеріалів для побудови тримального каркаса рами. Традиційні листові металеві конструкції або зварні каркаси з чорного металу мають значну вагу, піддаються корозійним процесам та повністю позбавлені гнучкості при необхідності зміни просторової орієнтації елементів. Враховуючи специфіку настільного використання тренажера в навчальних лабораторіях, як базовий конструкційний матеріал було обрано промисловий конструкційний анодований алюмінієвий профіль перерізом двадцять на двадцять міліметрів із шириною центрального паза шість міліметрів.

Вибір конструкційного алюмінієвого профілю обґрунтований його унікальними фізико-механічними властивостями, серед яких виділяються висока питома міцність при мінімальній власній вазі, стійкість до тривалих статичних навантажень та наявність захисного гальванічного покриття, яке захищає метал від окислення і надає виробу естетичного вигляду. Головною ж перевагою використання такого профілю є наявність поздовжніх пазів по всій

довжині заготовки, що дозволяє виконувати швидко беззварну збірку рами під будь-якими кутами за допомогою спеціальних внутрішніх кутових з'єднувачів, Т-подібних кронштейнів та закладних пазових гайок типу «Сухар», які можна вільно переміщувати вздовж паза для точного налаштування положення елементів.

Для створення рами на основі конструкторських розрахунків та ергономічних вимог до настільного лабораторного обладнання було розроблено оптимальну схему лінійного розкрою матеріалу, загальна сумарна довжина якого для одного стенду становить шість метрів. Даний об'єм профілю розподіляється на три функціональні групи заготовок, кожна з яких виконує свою роль у забезпеченні жорсткості просторової конструкції. Перша група складається з семи профілів завдовжки п'ятсот міліметрів, які використовуються як горизонтальні балки для формування ярусів монтажної панелі, тримачів приладових коробок оператора та елементів жорсткості основи.

Друга функціональна група містить чотири профілі завдовжки чотириста міліметрів, які утворюють вертикальні бічні стійки та внутрішні ребра, що сприймають основні механічні навантаження від встановленого залізничного обладнання автоматики на DIN-рейках. Третя група включає чотири допоміжні заготовки завдовжки сто міліметрів, призначені для конструювання стійких опорних ніжок у нижній площині каркаса, які забезпечують надійне зчеплення з поверхнею лабораторного столу та запобігають ковзанню чи випадковому перекиданню стенду під час інтенсивного ручного натискання кнопок на пульті оператора.

Загальні розміри всіх компонентів:

- 1) Ніжки – 4 шт. по 100мм.
- 2) Опорні частини – 6 шт. по 500 мм.
- 3) Опорні частини меншого розміру – 4 шт. по 400 мм.

Також були використані розміри профілю 30x30 від якого вже куплялись всі інші компоненти по типу Т-кріплення, кутове кріплення, сухарі та пластмасові заглушки (рисунок 2.1).

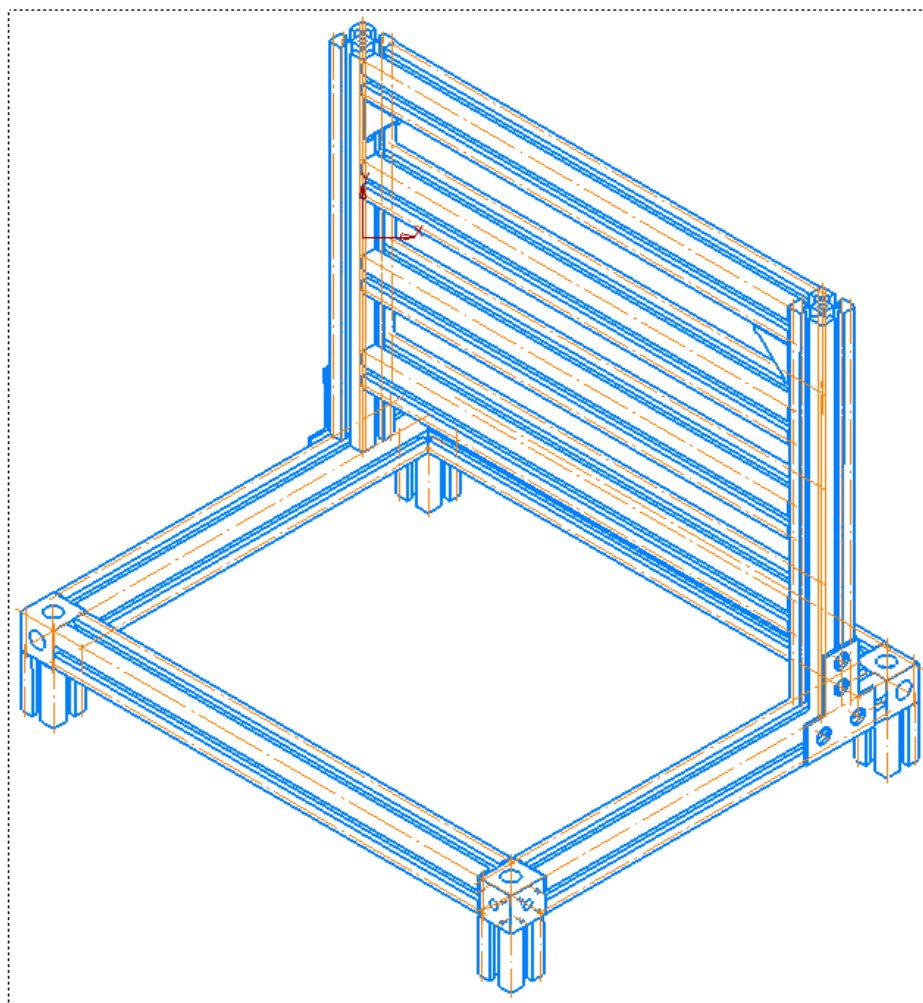


Рисунок 2.1 – 3D-модель конструкції стенду

Розміри були використані для кожного окремого компонента та всі компоненти було об'єднано в один загальний стенд після чого вийшла загальна структура всього стенду (рисунок 2.2-2.3).

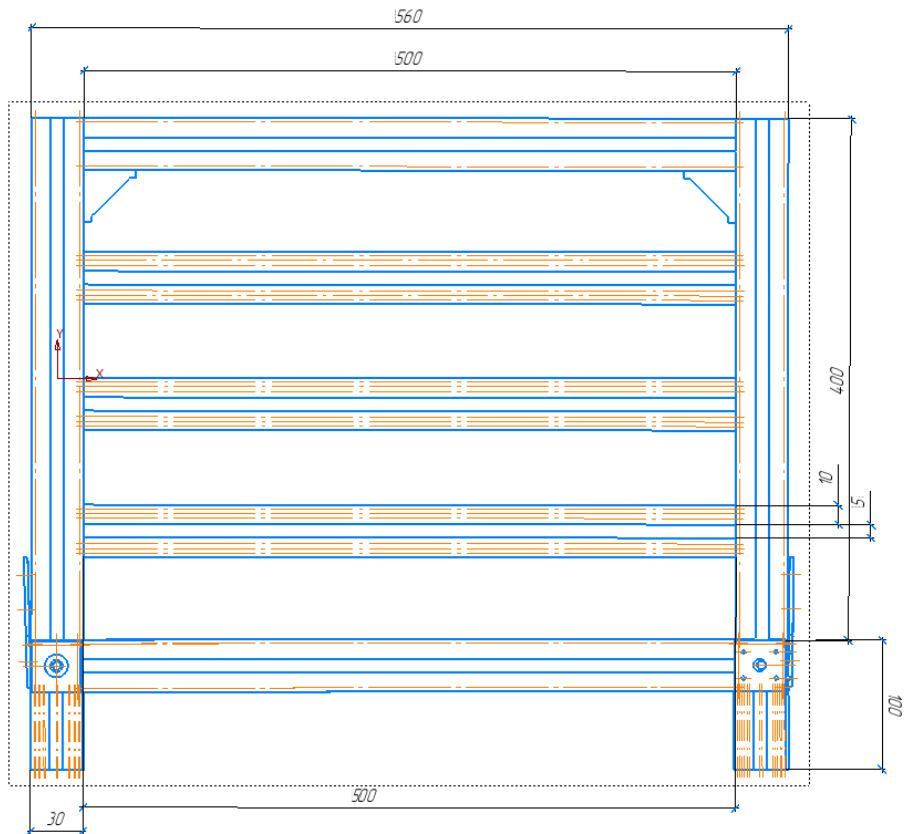


Рисунок 2.2 – Вид з переду

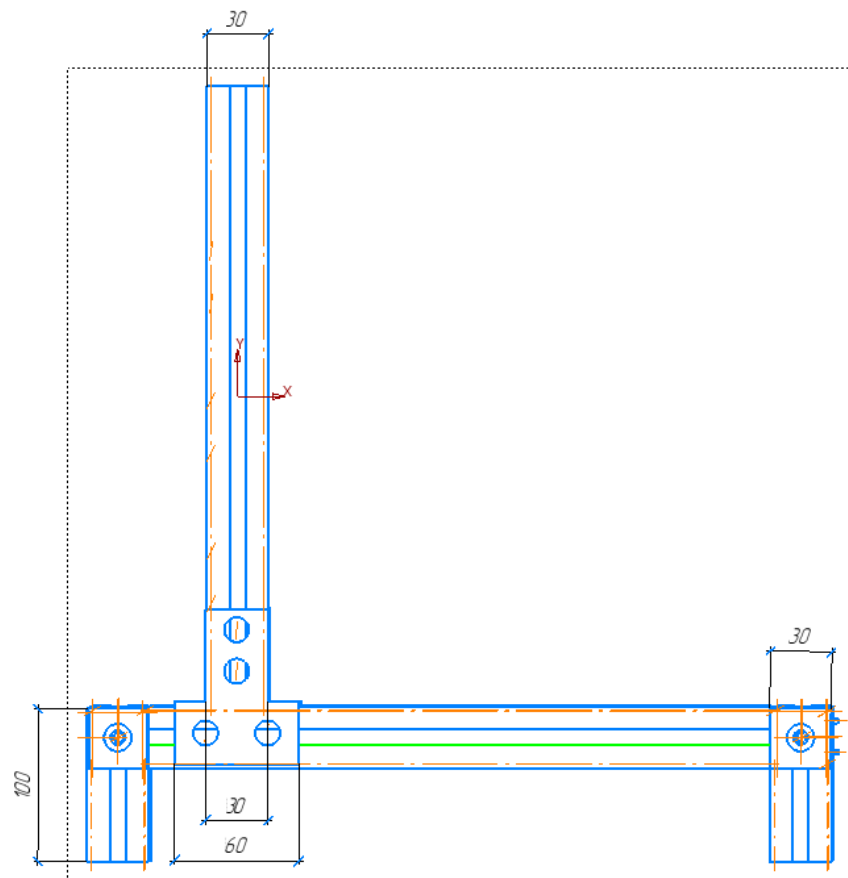


Рисунок 2.3 – Вид з боку

Вздовж утворених профілями горизонтальних монтажних ліній за допомогою закладних пазових гайок закріплюються сталеві перфоровані DIN-рейки, що дозволяє реалізувати уніфікований блочно-модульний принцип монтажу промислового обладнання автоматизації. Просторова організація внутрішніх провідників забезпечується встановленням пластикових перфорованих кабельних коробів із кришками, які фіксуються паралельно монтажним рейкам, що гарантує приховане прокладання дротів та захищає їх ізоляційні оболонки від випадкових механічних зачіпань та пошкоджень руками користувачів.

2.4 Монтаж лабораторного стенду

Монтаж стенду було проведено у два етапи. На першому етапі проводилось складання конструкції майбутнього стенду, а на другому – електромонтажні роботи.

На початку монтажу каркаса стенду було підготовлено всі необхідні деталі для збирання, інструмент і кріпильні елементи (рисунок 2.4).

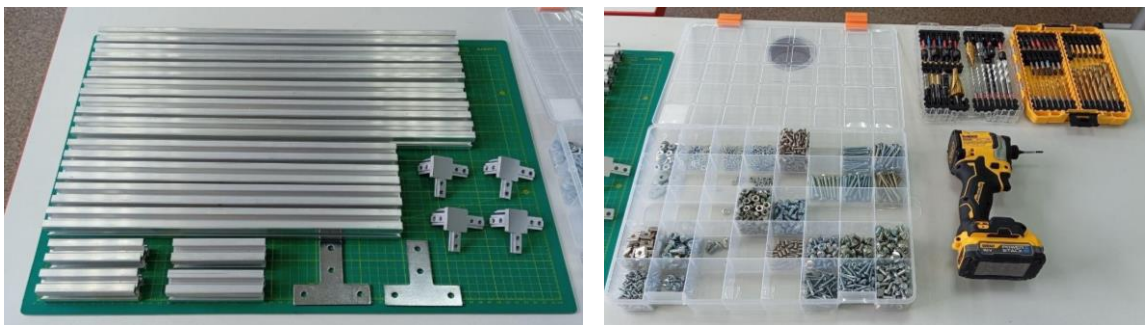


Рисунок 2.4 – Підготовка до монтажних робіт

Каркас стенду виконано з верстатного алюмінієвого профілю перерізом 45×45 мм. Збирання розпочинається з нижньої частини стенду, на яку надалі встановлюється верхня частина конструкції. Прямокутна основа з'єднується кутовими з'єднувачами для верстатного профілю та відповідними гвинтами. В основі передбачено «плаваючу» ділянку профілю, закріплену знизу Т-кріпленням. Це кріплення встановлюється на профіль за допомогою закладних гайок «Сухар» і гвинтів М6 DIN 912. Ніжки стенду монтується на

ті самі кутові з'єднувачі, що утримують основу. Етапи збирання основи наведено на рисунку 2.5.

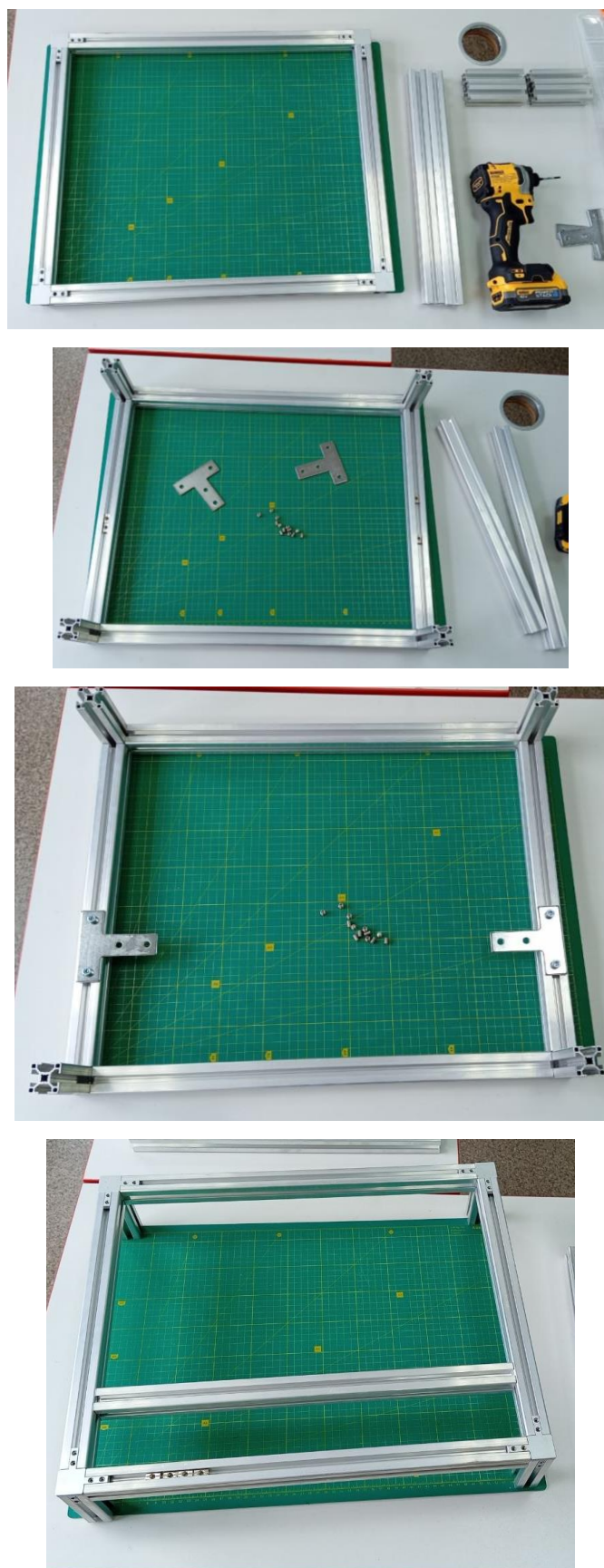


Рисунок 2.5 – Етапи збирання основи каркасу

На другому етапі проведено монтаж верхньої частини стенду – вертикальної рамки, на яку надалі встановлюється електрообладнання. Між двома вертикальними планками профілю за допомогою кутових з'єднувачів під гвинт М6 закріплено горизонтальні планки: одну вгорі та дві знизу. У бокові та горизонтальні планки заздалегідь встановлено необхідну кількість закладних гайок «Сухар», після чого конструкцію з'єднано гвинтами М6. На передні закладні гайки закріплено DIN-рейку TH35, на якій надалі розміщено обладнання стенду. Із тильного боку на решті закладних гайок встановлено перфорований кабельний канал. У місцях стиків було видалено окремі сегменти стінок каналу, які могли б перешкоджати прокладанню кабелів. Етапи монтажу вертикальної частини конструкції наведено на рисунку 2.6.

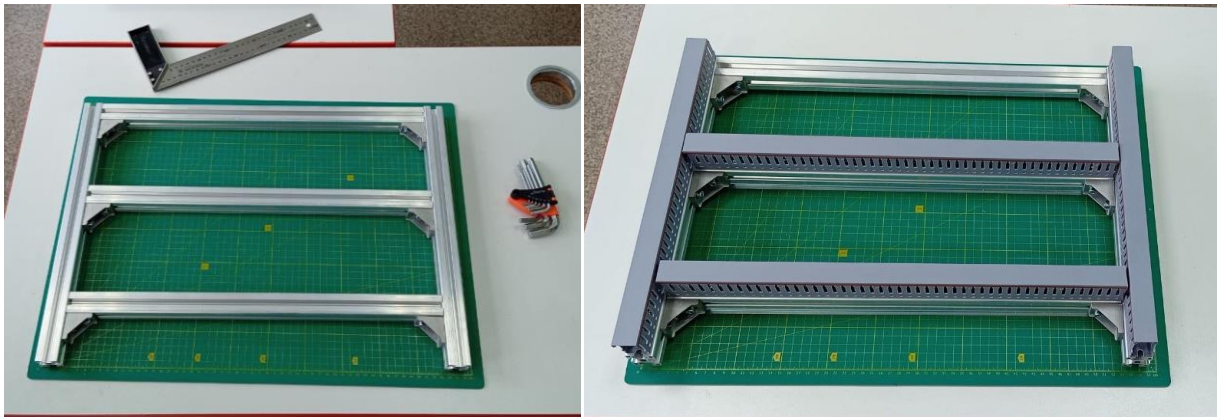


Рисунок 2.6 – Вертикальна стійка

Завершальною стадією збирання каркаса стало з'єднання основи та верхньої рамки: у закладні гайки на бокових планках обох частин вкручено гвинти М6, після чого обидві частини об'єднано в одну конструкцію (рисунок 2.7). Для безпеки на відкриті торці профілю встановлено пластикові накладки.

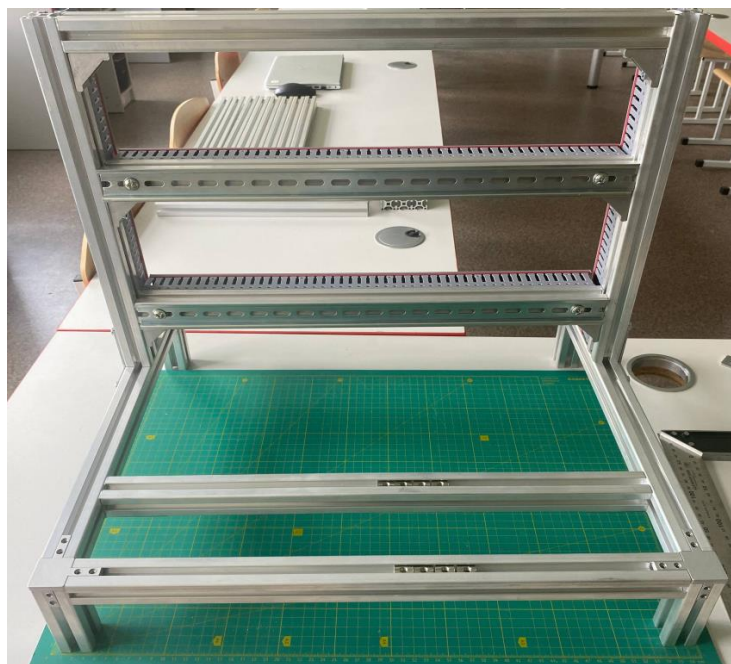


Рисунок 2.7 – Вигляд зібраного каркаса стенду

2.5 Монтування обладнання та проведення електромонтажних робіт

Після складання конструкції було виконано монтаж електричної частини стенду. Електричні з'єднання здійснено провідниками та гвинтовими

клемними колодками відповідно до попередньо складеної схеми підключень. Основна апаратура стенду, зокрема контролер WebHMI PRO та модулі ОВЕН Мх110, живиться постійною напругою 24 В від імпульсного блока живлення. Силове коло підключено до мережі змінного струму 230 В через апаратуру захисту.

Монтаж проводився з дотриманням вимог електробезпеки. Спочатку на DIN-рейку було встановлено обладнання: три однополюсні автоматичні вимикачі Eaton PL4-C16/1 16 А, двополюсний автоматичний вимикач Eaton PL6-C16/2 16 А, блок живлення MEAN WELL LRS-100-24, інтеграційний контролер WebHMI PRO, три модулі ОВЕН – МК110-220.4ДН.4Р, МВ110-220.8АС і МУ110-6У, а також перетворювач інтерфейсів AQteck AC4. У нижньому ряду рейки додатково розміщено клемні колодки, розетку для тестового навантаження та контактор Siemens SIRIUS 3RT1015-1AP01.

Монтаж провідників виконано з дотриманням правил безпеки, оскільки під час роботи застосовувалися різучі та обтискні інструменти.

Для кожного з'єднання спочатку відмірювалася потрібна довжина монтажного проводу ПВ-3 перерізом 1,5 мм². Далі автоматичним знімачем ізоляції зачищалися обидва кінці провідника, після чого обтискними кліщами напресовувалися втулкові наконечники відповідного перерізу. Кожен провідник з обох боків промарковано маркувальними трубками за прийнятою на схемі позиційною системою, що спрощує монтаж і пошук можливих помилок підключення. Провідники приєднувалися викрутками відповідного типорозміру залежно від типу клемника конкретного приладу.

Після виконання всіх під'єднань було перевірено потенційно вразливі ділянки кола на відсутність короткого замикання, а також правильність підключень і надійність контактних з'єднань.

Для перевірки роботи стенду на верхній панелі встановлено блок сигналізації та керування. Сигнальна колонка має чотири елементи індикації: зелену лампу нормального режиму роботи, червону лампу аварійного стану або зупинки та два цифрові індикатори. Зелений індикатор під'єднано до

аналогового виходу модуля МУ110-6У; він відображає поточне значення вихідної напруги в діапазоні 0...10 В. Червоний індикатор під'єднано до одного з аналогових каналів модуля МВ110-220.8АС і призначено для відображення поточного значення вимірюваного сигналу. Поруч встановлено кнопкову станцію з трьома кнопками: дві зелені кнопки «СТАРТ» під'єднано до окремих дискретних входів модуля МК110-220.4ДН.4Р, а червону кнопку «СТОП» до окремого дискретного входу для формування команди загальної зупинки. Отже, кнопки керування перевіряються через дискретні входи модуля МК110, а сигнальна арматура – через його дискретні виходи.

На рисунках 2.8-2.10 зображено зібраний і повністю змонтований стенд на робочому місці: вигляд ззаду, збоку та спереду відповідно.

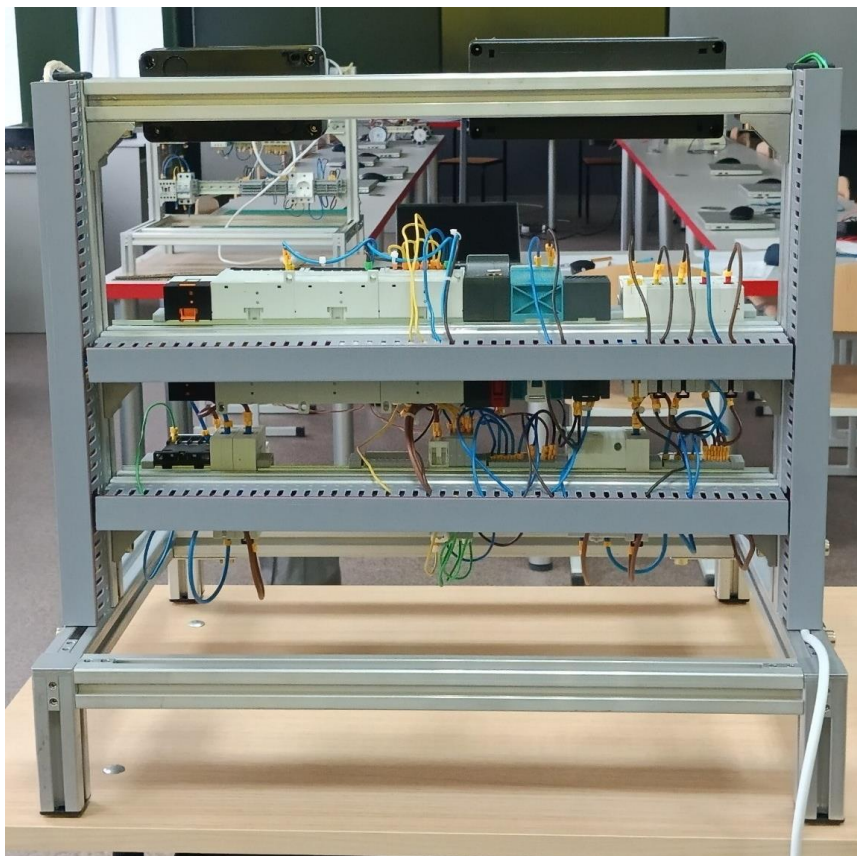


Рисунок 2.8 – Вигляд ззаду зібраного та змонтованого лабораторного стенду

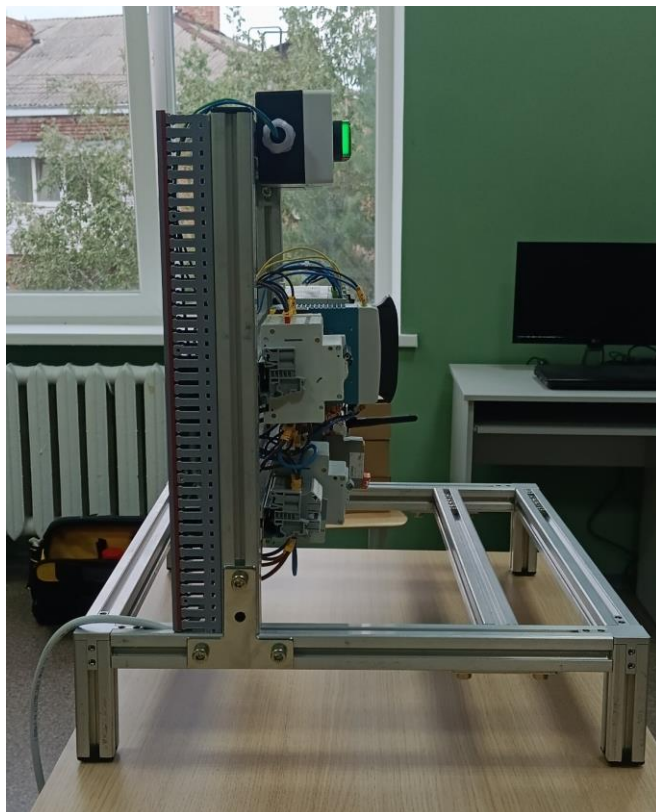


Рисунок 2.9 – Вигляд збоку зібраного та змонтованого лабораторного стенду

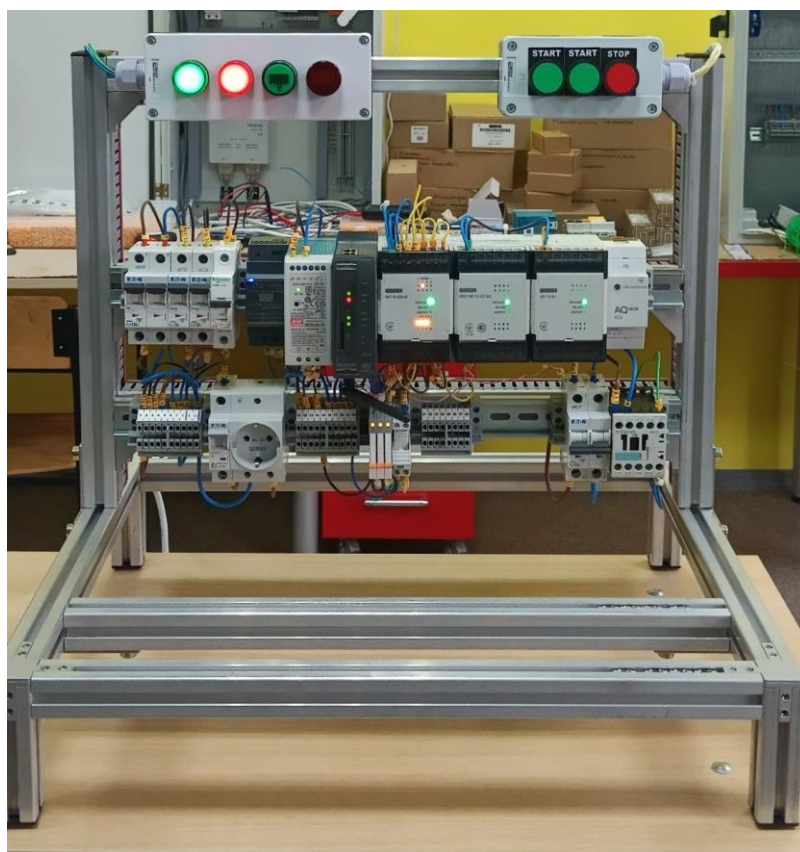


Рисунок 2.10 – Вигляд спереду зібраного та змонтованого лабораторного
стенду

Після цього монтаж і тестування стану було завершено. У процесі роботи виконано підготовку до збирання каркаса, складання основних частин конструкції, встановлення на DIN-рейку контролера WebHMI PRO, периферійних модулів ОВЕН та апаратури захисту й комутації, прокладання і маркування кабелів, монтаж органів сигналізації та керування, а також перевірку всіх електричних кіл стану.

2.6 Паспортизація лабораторного стану

Структурна схема лабораторного стану базується навколо інтеграційного контролера WebHMI PRO (рисунок 2.11).

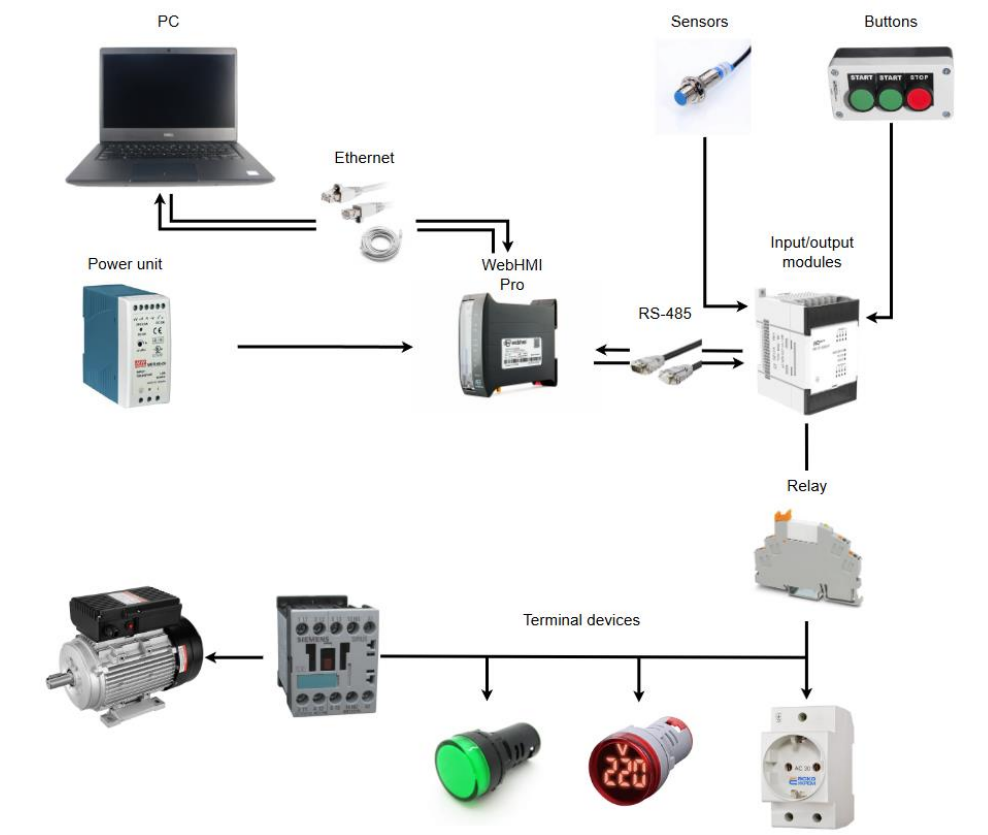


Рисунок 2.11 – Структурна схема лабораторного стану

Базовим елементом апаратної частини стану є інтеграційний контролер WebHMI PRO виробництва української компанії Distributed Data Systems (рисунок 2.10). Це компактний апаратно-програмний пристрій, що поєднує функції промислового шлюзу протоколів, сервера збору та зберігання даних і повноцінної SCADA-системи з доступом через

стандартний веб-браузер, без необхідності встановлення додаткового клієнтського програмного забезпечення.



Рисунок 2.10 – Інтеграційний контролер WebHMI PRO

Основні технічні характеристики контролера наведено в таблиці 2.1.

Таблиця 2.1 – Технічні характеристики WebHMI PRO

Параметр	Значення
Платформа / операційна система	MIPS-процесор, Embedded Linux
Мережеві інтерфейси	2×Ethernet 100BASE-T із гальванічною ізоляцією 3 кВ; Wi-Fi 802.11 b/g/n, 100 мВт
Послідовні інтерфейси	RS-485 у режимі Multi-protocol (ізоляція 2500 В); USB 2.0
Підтримувані протоколи	Modbus RTU/ASCII/TCP, Siemens S7/PPI, Mitsubishi MELSEC, Allen-Bradley DF1, Delta DVP, OVEN, Carel Easy, користувацькі протоколи мовою Lua
Швидкодія	опитування каналів - до 5 мс; оновлення веб-інтерфейсу - до 50 мс
Живлення	постійний струм 24 В (18...32 В), 100-500 мА
Резервне живлення (UPS)	Li-Po акумулятор 7,4 В / 650 мА·год; до 2 год автономної роботи
Носій даних	промислова SD-карта до 32 ГБ
Корпус / монтаж / ступінь захисту	ABS-пластик; DIN-рейка; IP40
Габарити (В × Ш × Г)	101 × 35 × 120 мм; маса 300 г
Робоча температура	0 ... +50 °С

Для підключення дискретних кнопок керування та сигнальної арматури стенду використано модуль ОВЕН МК110-220.4ДН.4Р (рисунок 2.11) – комбінований модуль дискретного введення/виведення, призначений для побудови розподілених систем збору даних на основі інтерфейсу RS-485.



Рисунок 2.11 – Модуль дискретного введення/виведення ОВЕН МК110-220.4ДН.4Р

Основні технічні характеристики модуля:

- 4 дискретних входи з груповою гальванічною ізоляцією; типи вхідних сигналів - ≈ 24 В, транзисторні ключі р-n-p / n-p-n типу;
- 4 дискретних виходи на основі електромагнітних реле; комутаційна здатність - до 4 А при ~ 250 В або ≈ 24 В;
- вбудоване джерело живлення датчиків ≈ 24 В, 180 мА;
- частота вимірювань дискретних входів – до 1 кГц;
- підтримка протоколів ОВЕН, Modbus RTU/ASCII, DCON по RS-485;
- конфігурування через адаптер RS-485/USB (AQteck AC4) за допомогою OWEN Configurator;
- ступінь захисту корпуса – IP20, монтаж на DIN-рейку.

У складі стенду модуль виконує функцію приймання сигналів від датчиків та органів управління.

Для вимірювання аналогових сигналів у складі стенду застосовано модуль ОВЕН МВ110-220.8АС (рисунок 2.12) – восьмиканальний модуль швидкісного введення аналогових сигналів з інтерфейсом RS-485.



Рисунок 2.12 – Модуль аналогового введення ОВЕН МВ110-220.8АС

Основні технічні характеристики модуля:

- 8 незалежних каналів аналогового введення;
- типи вхідних сигналів – уніфіковані сигнали струму (0...5, 0...20, 4...20 мА) та напруги (0...10 В);
- частота вимірювань – до 200 вибірок за секунду;
- похибка перетворення - не більше $\pm 0,25$ %;
- живлення модуля – змінний струм ~ 220 В; вбудоване джерело живлення давачів 24 В, 180 мА;
- гальванічна ізоляція кіл – до 3000 В відносно кіл живлення;
- підтримка протоколів ОВЕН, Modbus RTU/ASCII, DCON по RS-485.

На стенді модуль використовується для вимірювання значення аналогового сигналу, що відображається на цифровому індикаторі сигнальної колонки і передається до WebHMI PRO.

Для формування аналогових керувальних сигналів застосовано модуль ОВЕН МУ110-6У (рисунок 2.13), призначений для перетворення цифрових команд, що передаються мережею RS-485, в аналогові сигнали напругою 0...10 В.



Рисунок 2.13 – Модуль аналогового виведення ОВЕН МУ110-6У

Основні технічні характеристики модуля:

- 6 незалежних каналів аналогового виведення напругою 0...10 В;
- поканальна гальванічна розв'язка виходів;
- живлення – універсальне ~220 В або =24 В залежно від модифікації;
- переведення виходів у безпечний стан, визначений користувачем, у разі обриву інтерфейсної лінії;
 - максимальна швидкість обміну по RS-485 – до 115200 біт/с;
 - підтримка протоколів ОВЕН, Modbus RTU/ASCII, DCON.

У стенді один із каналів модуля формує аналоговий сигнал 0...10 В, що подається на зелений цифровий індикатор сигнальної колонки для відображення поточного вихідного значення.

Для підключення персонального комп'ютера до промислової мережі RS-485 під час конфігурування модулів ОВЕН серії Mx110 та за потреби безпосереднього моніторингу регістрів застосовано перетворювач інтерфейсів AQteck AC4 (рисунок 2.14).



Рисунок 2.14 – Перетворювач інтерфейсів AQteck AC4

Основні технічні характеристики перетворювача:

- взаємне перетворення сигналів інтерфейсів USB 2.0 та RS-485 (EIA/TIA-485);
- автоматичне визначення напрямку передавання даних без додаткового налаштування;
- гальванічна ізоляція кіл USB та RS-485; електрична міцність ізоляції – 1500 В;
- максимальна швидкість передавання даних по RS-485 – 115200 біт/с;
- максимальна довжина лінії зв'язку RS-485 – 1200 м; кількість приладів у мережі – до 32 (до 256 – з повторювачами інтерфейсу);
- живлення від шини USB (4,75...5,25 В), споживана потужність – 0,5 Вт;
- ступінь захисту корпусу – IP20, монтаж на DIN-рейку.

Перетворювач забезпечує створення віртуального COM-порту на комп'ютері інженера, що дозволяє використовувати стандартні конфігуратори ОВЕН без додаткової адаптації програмного забезпечення.

2.7 Схеми електричних підключень

Після вибору обладнання та розробки структурної схеми було виконано розробку електричних схем підключення елементів навчального стенду. Електричні схеми відображають порядок з'єднання контролера WebHMI PRO, модулів введення-виведення, органів керування та виконавчих пристроїв.

На рисунку 2.15 зображено організацію промислової інформаційної мережі за стандартом RS-485 та схему підключення живлення до базових пристроїв системи. Головним елементом збору даних та керування виступає мережевий шлюз WebHMI Pro (A1), який отримує живлення від джерела постійного струму напругою 24 В (клеми 24V та 0V). Інші компоненти мережі – модуль дискретного вводу-виводу ОВЕН МК110-4ДН.4Р (A2), модуль аналогового вводу ОВЕН МВ110-220.8АС (A3) та модуль аналогового виводу ОВЕН МУ110-6У (A4) – живляться від мережі змінного струму. Для цього їхні клеми живлення паралельно підключені до фазного (L) та нейтрального (N) провідників 220 В. Обмін даними між головним шлюзом та підлеглими модулями розширення реалізується через загальну двопровідну шину RS-485. Для формування мережі інформаційні клеми «А» всіх пристроїв об'єднані єдиною лінією зв'язку, аналогічно паралельно з'єднані всі комунікаційні клеми «В».

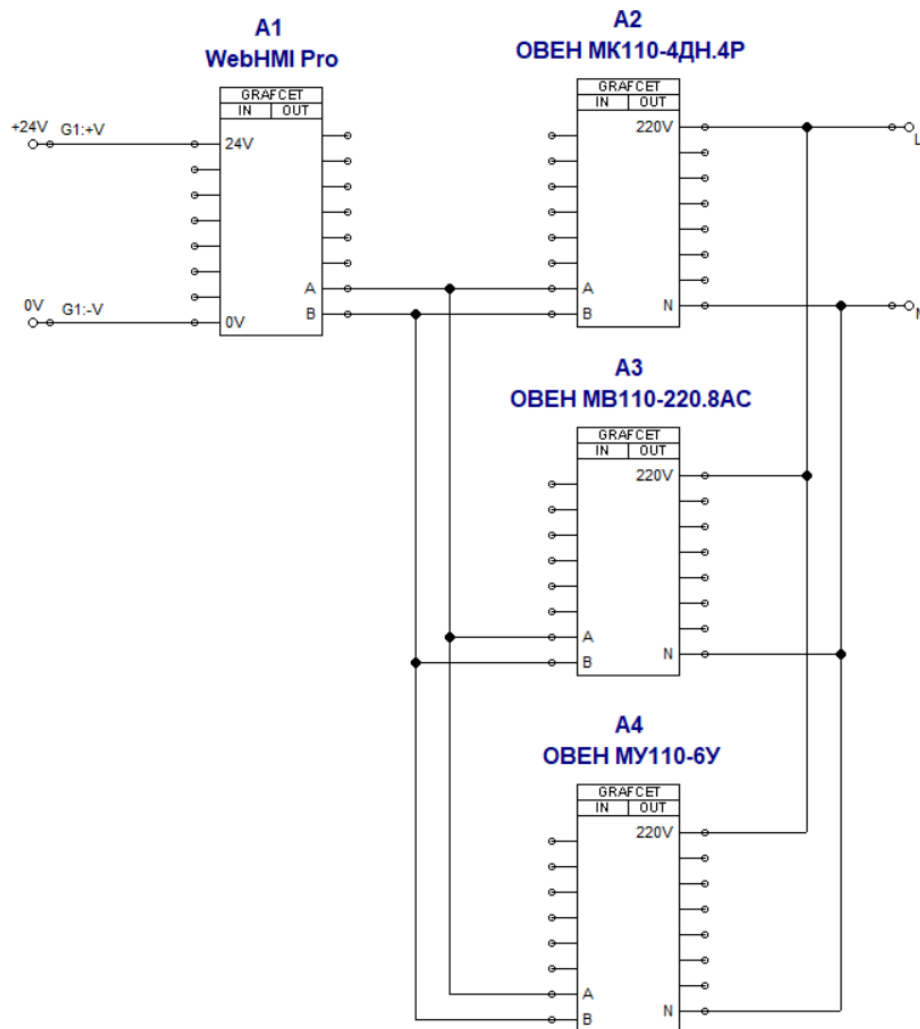


Рисунок 2.15 – Схема підключення обладнання по мережі RS-485

На рисунку 2.16 зображено підключення дискретних входів модуля розширення ОВЕН МК110-4ДН.4Р до органів керування та датчиків навчального стенду. Живлення самого модуля здійснюється від джерела постійного струму 24 В, де позитивний потенціал подається на клему «24V», а нульовий – на «0V». До першої групи входів підключено кнопки пульта керування: кнопка START заведена на вхід DI1A, а STOP – на DI2A, при чому їхні другі контакти комутують лінію 0 В. До другої групи входів за аналогічним принципом підключено кінцевий вимикач SQ1 (вхід DI3A) та нормально розімкнутий контакт проміжного реле K5 (вхід DI4A). Керування цим реле реалізовано за допомогою трьохпровідного безконтактного датчика SQ2, який живиться напругою 24 В і при спрацюванні замикає коло живлення

котушки K5, що призводить до замикання контакту K5 у колі відповідного входу.

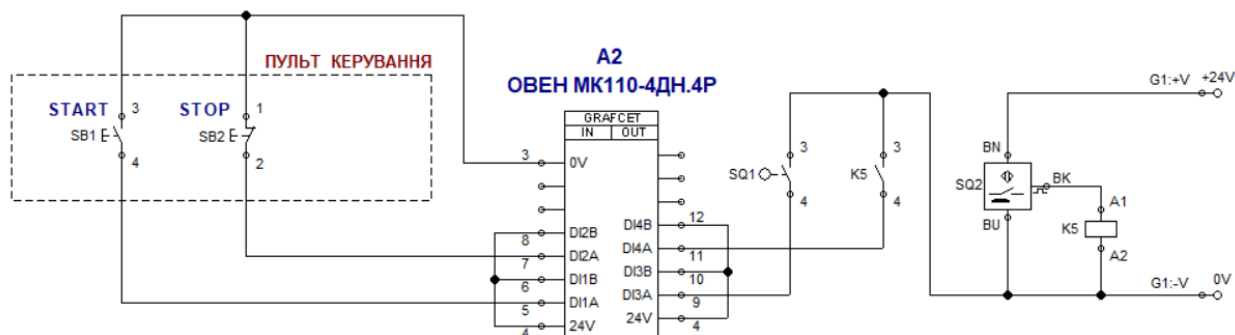


Рисунок 2.16 – Схема електричних підключень дискретних входів

Схема на рисунку 2.17 демонструє підключення релейних виходів модуля ОВЕН МК110-4ДН.4Р для керування проміжними реле. Оскільки виходи самого контролера є релейними, один із контактів кожного каналу (DO1B, DO2B, DO3B, DO4B) об'єднаний у спільну лінію та підключений до плюсового полюса джерела живлення +24 В. Другі контакти цих вихідних каналів підключені до контактів А1 котушок відповідних проміжних реле К1-К4. Усі контакти А2 котушок об'єднані на спільну шину 0 В, що забезпечує коректну роботу вихідних схем модуля і надійне замикання кіл живлення реле при появі керуючих логічних сигналів.

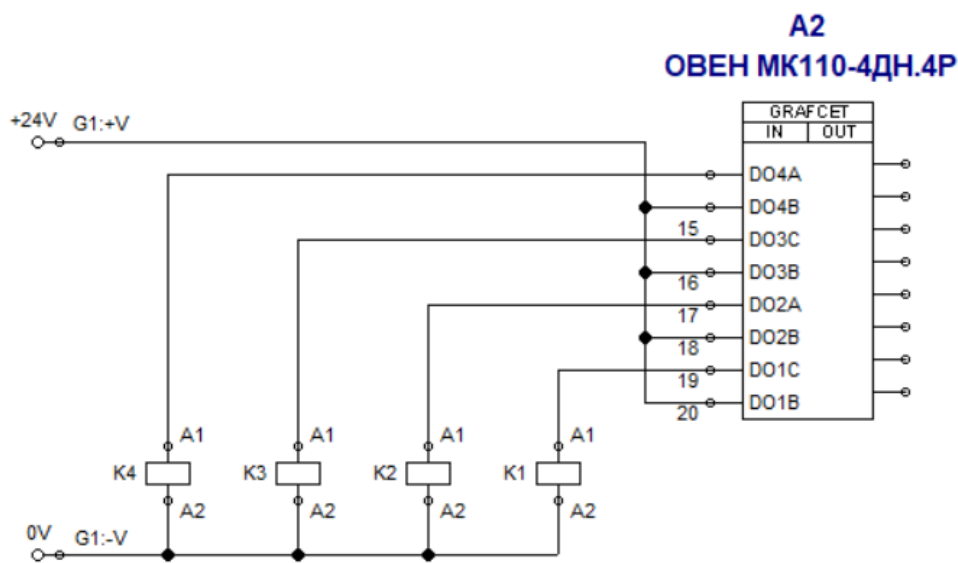


Рисунок 2.17 – Схема електричних підключень дискретних виходів

На схемі, що представлено на рисунку 2.18 зображено контур вимірювання технологічного параметра за допомогою модуля аналогового вводу ОВЕН МВ110-220.8АС. Первинний перетворювач (датчик) підключений до загального джерела живлення постійного струму через клеми «+» (+24 В) та «-» (0 В). Передача інформаційного аналогового сигналу від датчика до системи автоматизації здійснюється через його сигнальні виходи, які з'єднані безпосередньо з диференційними клемами першого аналогового вимірювального каналу модуля (AI1+ та AI1-).

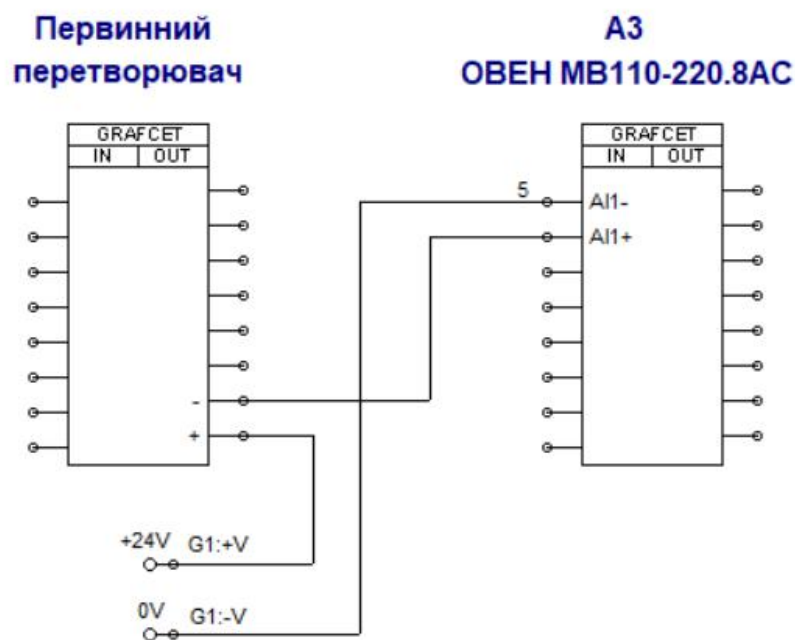


Рисунок 2.18 – Схема електричних підключень аналогових входів

На рисунку 2.19 представлено контур вимірювання технологічного параметра за допомогою модуля аналогового вводу ОВЕН МВ110-220.8АС. Первинний перетворювач (датчик) підключений до загального джерела живлення постійного струму через клеми «+» (+24 В) та «-» (0 В). Передача інформаційного аналогового сигналу від датчика до системи автоматизації здійснюється через його сигнальні виходи, які з'єднані безпосередньо з диференційними клемами першого аналогового вимірювального каналу модуля (AI1+ та AI1-).

A4 ОВЕН МУ110-6У

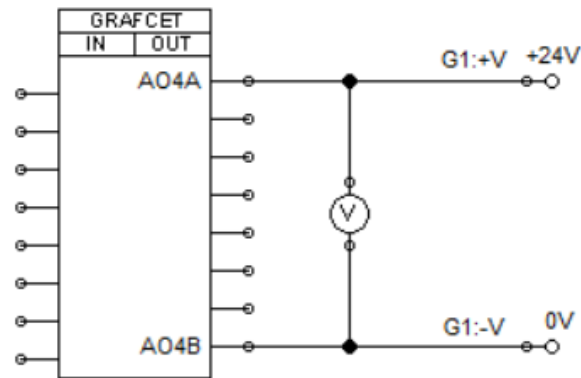
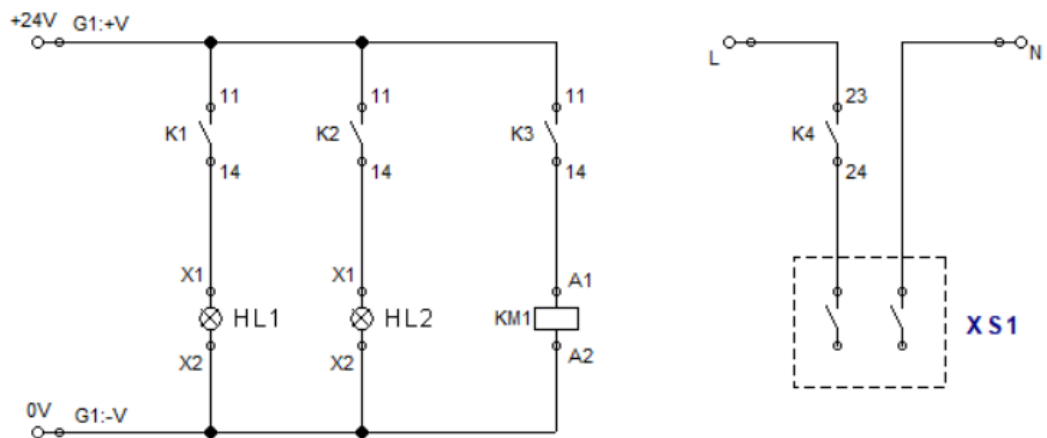


Рисунок 2.19 – Схема електричних підключень аналогових виходів

На рисунку 2.20 зображено підключення виконавчих елементів стенду, яке розділене на два ізолювані контури для роботи з різними рівнями напруги через контакти проміжних реле. У першому контурі напруга постійного струму 24 В подається на входні контакти 11 проміжних реле К1, К2 та К3. При їхньому спрацюванні живлення через виходи 14 надходить відповідно на світлосигнальні лампи HL1, HL2 або на котушку магнітного пускача КМ1, що дозволяє безпечно керувати більш потужним силовим обладнанням. Другий контур призначений для роботи з мережею змінного струму 220 В. Фазний провідник L підключений до контакту 23 реле К4, і при замиканні контактів 23-24 напруга подається на силову розетку XS1. Другий полюс розетки з'єднаний з нейтраллю N, що забезпечує безпечне та ізольоване керування зовнішніми пристроями.



Висновки до розділу 2

У другому розділі було розглянуто питання розробки лабораторного стенду для проведення випробувань під час розробки розподілених систем керування технологічними процесами. Обґрунтовано, що стендові дослідження є необхідним етапом перевірки працездатності системи, оскільки вони дозволяють до впровадження на реальному об'єкті оцінити правильність взаємодії апаратних засобів, програмної логіки, мережевого обміну, органів керування, індикації та засобів операторського контролю.

У процесі розробки визначено основні вимоги до апаратної частини лабораторного стенду. Встановлено, що стенд повинен забезпечувати наочність структури розподіленої системи, безпечне підключення електричних кіл, можливість роботи з дискретними та аналоговими сигналами, використання промислового інтерфейсу RS-485, а також подальше розширення функціональних можливостей за рахунок підключення додаткових модулів. Особливу увагу приділено електробезпеці, зручності доступу до клемних з'єднань, надійності монтажу та можливості багаторазового використання стенду під час виконання лабораторно-практичних робіт.

Розроблено конструкцію лабораторного стенду на основі алюмінієвого профілю, що забезпечує достатню жорсткість, невелику масу, зручність складання та можливість зміни розміщення окремих елементів. Використання DIN-рейок, кабельних каналів, клемних колодок і модульного принципу монтажу дозволило сформувати компактну та технологічну конструкцію, придатну для розміщення контролера, модулів введення-виведення, апаратури захисту, органів керування та сигнальної арматури.

У розділі описано процес монтажу лабораторного стенду, який включав складання каркаса, встановлення монтажних елементів, розміщення електрообладнання, прокладання та маркування провідників, підключення

органів керування, індикаторів, модулів введення-виведення та виконавчих елементів.

Виконано паспортизацію основних технічних засобів лабораторного стенду. Визначено призначення інтеграційного контролера WebHMI PRO, модулів ОВЕН МК110-220.4ДН.4Р, МВ110-220.8АС, МУ110-6У та перетворювача інтерфейсів AQteck АС4. Показано, що вибраний склад обладнання дає змогу реалізувати типову структуру розподіленої системи збору та оброблення даних, у якій контролер виконує функції центрального вузла, а периферійні модулі забезпечують роботу з дискретними й аналоговими сигналами через промислову мережу RS-485.

Також було розроблено схеми електричних підключень, які відображають організацію живлення, підключення модулів по мережі RS-485, з'єднання дискретних входів і виходів, аналогових каналів та виконавчих елементів. Наявність таких схем є важливою умовою правильного монтажу, налагодження, діагностики та подальшої експлуатації лабораторного стенду, оскільки вони дозволяють простежити взаємозв'язок між усіма апаратними компонентами системи.

Отже, у результаті виконання другого розділу було обґрунтовано необхідність стендових випробувань, визначено вимоги до лабораторного стенду, розроблено його конструкцію, виконано монтаж апаратної частини, проведено паспортизацію обладнання та підготовлено схеми електричних підключень. Розроблений стенд забезпечує можливість практичного дослідження принципів побудови розподілених систем керування, перевірки роботи промислових модулів введення-виведення, організації мережевого обміну, оброблення дискретних і аналогових сигналів, а також формування практичних навичок з монтажу, налагодження та діагностики систем автоматизації.

3 НАЛАШТУВАННЯ ПРОГРАМНОГО СЕРЕДОВИЩА

3.1 Опис програмного середовища

Для забезпечення дистанційного моніторингу, збору технологічних даних та оперативного керування лабораторним стендом було використано вбудоване програмне середовище комунікаційного веб-шлюзу WebHMI.

Дане програмне забезпечення працює на базі операційної системи Linux і функціонує як локальний веб-сервер. Основною перевагою вибору цього середовища є відсутність необхідності розгортання та ліцензування громіздких локальних SCADA-систем на окремих персональних комп'ютерах. Вся розробка, конфігурування мережі та створення графічних інтерфейсів виконується безпосередньо через будь-який сучасний веб-браузер.

Програмне середовище WebHMI в рамках даного роботи вирішує комплекс важливих завдань. Воно забезпечує безперервне циклічне опитування ведених модулів розширення по інтерфейсу RS-485 та створює єдину базу внутрішніх змінних для зберігання поточних значень сигналів. Крім того, середовище дозволяє обробляти логічні зв'язки, виконувати внутрішні сценарії автоматизації та візуалізувати отримані дані у вигляді інтерактивних елементів, графіків і систем сповіщення про аварії (рисунок 3.1).

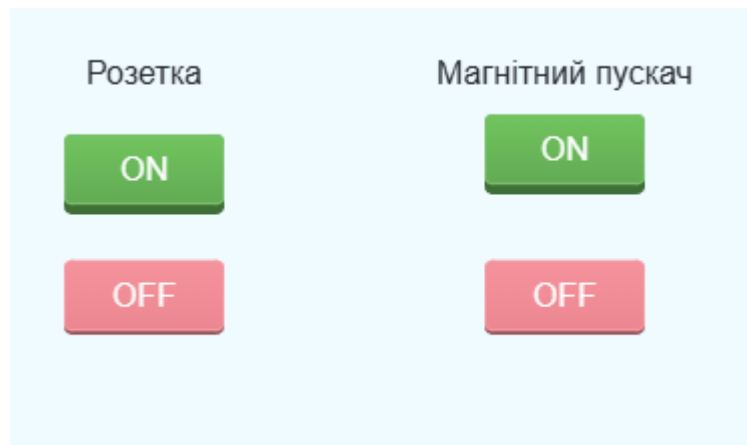


Рисунок 3.1 – Кнопки, лампочки які візуалізують всю діяльність на стенді

3.2 Створення реєстрів та підключень

Для забезпечення обміну інформацією між шлюзом WebHMI та фізичними входами або виходами модулів ОВЕН у середовищі було налаштовано карту внутрішніх реєстрів. Кожен створений тег є логічною змінною, яка безпосередньо прив'язана до конкретної Modbus-адреси фізичного пристрою автоматизації.

Відповідно до поточної програмної конфігурації, у системі створено три основні групи підключень. Для першого комбінованого модуля МК-110 4ДН.4Р з мережевою адресою 16 зконфігуровано чотири дискретні вхідні змінні від першої до четвертої та чотири дискретні вихідні змінні також від першої до четвертої. Опитування вхідних реєстрів типу HR51 та запис у вихідні реєстри типу MHR50 виконується з постійним періодом оновлення у 500 мілісекунд.

Для модуля аналогового вводу МК110-8АС із мережевою адресою 17 налаштовано чотири активні канали універсальних тегів від першого до четвертого. Тут застосовано адресацію реєстрів типу HR256 з періодом циклічного опитування шини у 500 мілісекунд.

Для модуля аналогового виводу МУ110-6У із мережевою адресою 18 створено канали керування вихідною напругою від першого до четвертого, які здійснюють циклічний запис значень у реєстри типу MHR3 (рисунок 3.2) з аналогічним часовим інтервалом.

Id	Назва	Адреса	Цив	Протокол	Статус	Значення	
2	МК-110 4ДН.4Р	16		ModBus RTU	500 мс W		
4	DI	HR51			500 мс W	2	
3	DO	MHR50			500 мс W	4	
21	Input_1	HR51			500 мс W	0	
22	Input_2	HR51			500 мс W	1	
23	Input_3	HR51			500 мс W	0	
24	Input_4	HR51			500 мс W	0	
9	Output_1	MHR50			500 мс W	0	
10	Output_2	MHR50			500 мс W	0	
11	Output_3	MHR50			500 мс W	0	
12	Output_4	MHR50			500 мс W	0	
3	МК110-ВАС	17		ModBus RTU	500 мс W		
5	Аналоговий канал 1	HR256			500 мс W	32768	
13	Analog_1	HR256			500 мс W	0	
14	Analog_2	HR256			500 мс W	0	
15	Analog_3	HR256			500 мс W	0	
16	Analog_4	HR256			500 мс W	0	
4	МУ110-6У	18		ModBus RTU	500 мс W		
6	Вихід 4	MHR3			500 мс W	12	
7	Вихід 4	IR3			500 мс W	12	
8	Вихід 4	MHR19			500 мс W	—	
17	Analog_^_1	MHR3			500 мс W	0	
18	Analog_^_2	MHR3			500 мс W	0	
19	Analog_^_3	MHR3			500 мс W	1	
20	Analog_^_4	MHR3			500 мс W	0	

Рисунок 3.2 – Сконфігурований список пристроїв та база внутрішніх тегів у WebHMI

3.3 Розробка HMI

Інтерфейс розробляється за допомогою вбудованого графічного редактора WebHMI. Головна мета створення графічної сторінки полягає в наданні користувачеві зручного веб-інструменту для віддаленого контролю параметрів лабораторного стенда та безпосередньої видачі команд керування з будь-якого підключеного пристрою. Дизайн розробленої веб-мнемосхеми орієнтований на функціональність та миттєве сприйняття поточної інформації оператором системи автоматизації.

У верхній частині розробленого інтерфейсу зосереджено органи оперативного керування та базової світлодіодної індикації. Ліворуч розташовано блок керування інтегрованою модульною розеткою, який складається з двох окремих віртуальних кнопок зеленого кольору для активації живлення та червоного кольору для його вимкнення. Поруч змонтовано аналогічний блок керування магнітним пускачем, що також має відповідні кнопки увімкнення та вимкнення силових контактів контактора Siemens Sirius. По центру верхньої зони виведено елементи індикації світла на стенді, які представлені двома прямокутними динамічними маркерами

блакитного кольору для першої та другої лампи, які змінюють свій стан залежно від сигналів. Праворуч розташовано великий візуальний показчик потенціометра, виконаний у вигляді кругової стрілочної шкали від 0 до 100 відсотків, що дозволяє наочно відслідковувати плавне обертання ручки регулятора та зміну аналогової напруги.

Нижня частина інтерфейсу відведена під комплексний моніторинг датчиків та відображення вимірювальних величин. Зліва реалізовано графічну модель резервуара з водою, де за допомогою круглих кольорових маркерів відображається спрацьовування датчиків верхнього та нижнього рівнів рідини. По центру розміщено блок контролю індукційного та контактного датчиків, які сигналізують про знаходження об'єкта дослідження в зоні їх дії за допомогою динамічної зміни кольору круглих індикаторів з сірого на зелений. Праву частину мнемосхеми займають три вертикальні графічні слайдери-індикатори для відображення фізичних параметрів. Перший слайдер виконує роль цифрового вольтметра, другий працює як амперметр для контролю струму навантаження, а третій відображає поточну температуру системи у градусах за шкалою від 0 до 100. Всі ці елементи працюють у реальному часі, безперервно зчитуючи дані з карти Modbus-регістрів модулів вводу та виводу (рисунок 3.3).

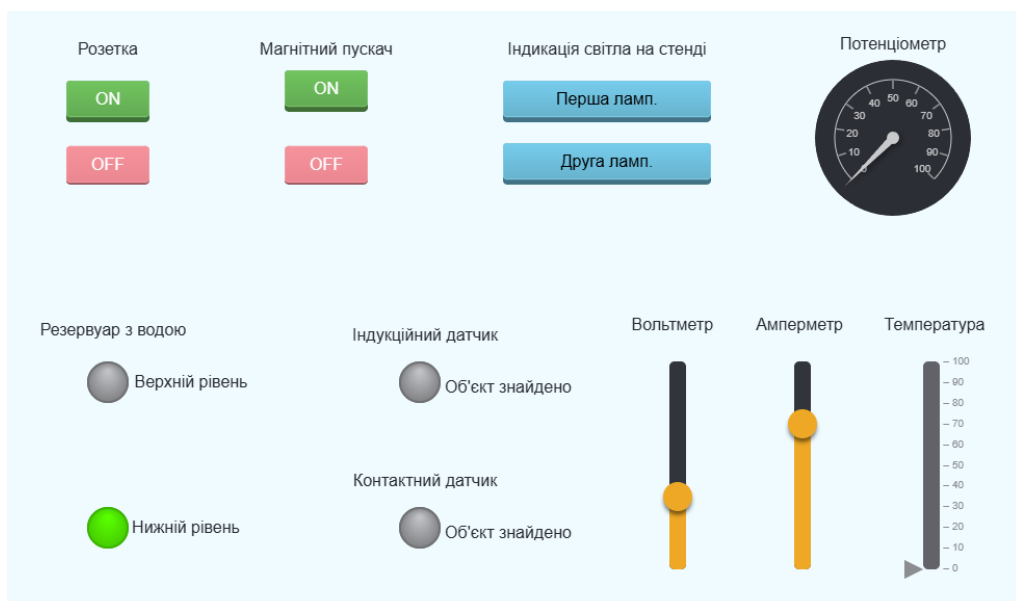


Рисунок 3.3 – Розроблена веб-мнемосхема інтерфейсу в редакторі WebHMI

3.4 Мережеві налаштування

Організація стабільного зв'язку на стенді передбачає чітке розділення внутрішньої промислової мережі та зовнішнього інтерфейсу доступу користувача. Для внутрішньої мережі зв'язку між шлюзом WebHMI та модулями ОВЕН по шині RS-485 було задано єдині часові та кадрові параметри промислового протоколу Modbus RTU. Швидкість обміну даними встановлена на рівні 9600 біт за секунду, довжина слова даних складає 8 біт, тип контролю парності повністю відсутній, кількість стоп-бітів у посилці дорівнює 1, а затримка відповіді по інтерфейсу становить 2 мілісекунди.

Для верхнього рівня зв'язку користувача з веб-сервером шлюз WebHMI сконфігуровано для роботи по бездротовому каналу Wi-Fi або через мережевий кабель Ethernet. Пристрою присвоєно фіксовану статичну IP-адресу в мережі лабораторії, що дозволяє отримувати миттєвий доступ до інтерфейсу без необхідності додаткового пошуку обладнання.

3.5 Налаштування модулів вводу/виводу

3.5.1 Модуль дискретного вводу-виводу ОВЕН МК110-4ДН.4Р

Первинне встановлення параметрів, мережевих адрес та типів сигналів для периферійних пристроїв ОВЕН серії MX110 проводилося за допомогою утиліти «Конфігуратор MX110» через перетворювач інтерфейсів АС4.

Приладу присвоєно внутрішнє ім'я пристрою дев-МК110-44 з версією внутрішньої прошивки 1.03. Базова мережева адреса в конфігураторі виставлена як 16. Параметри дискретних виходів налаштовані на логіку роботи по RS-485, що дозволяє контролеру WebHMI безпосередньо керувати станом контактів реле і вмикати силове навантаження (рисунок 3.4).

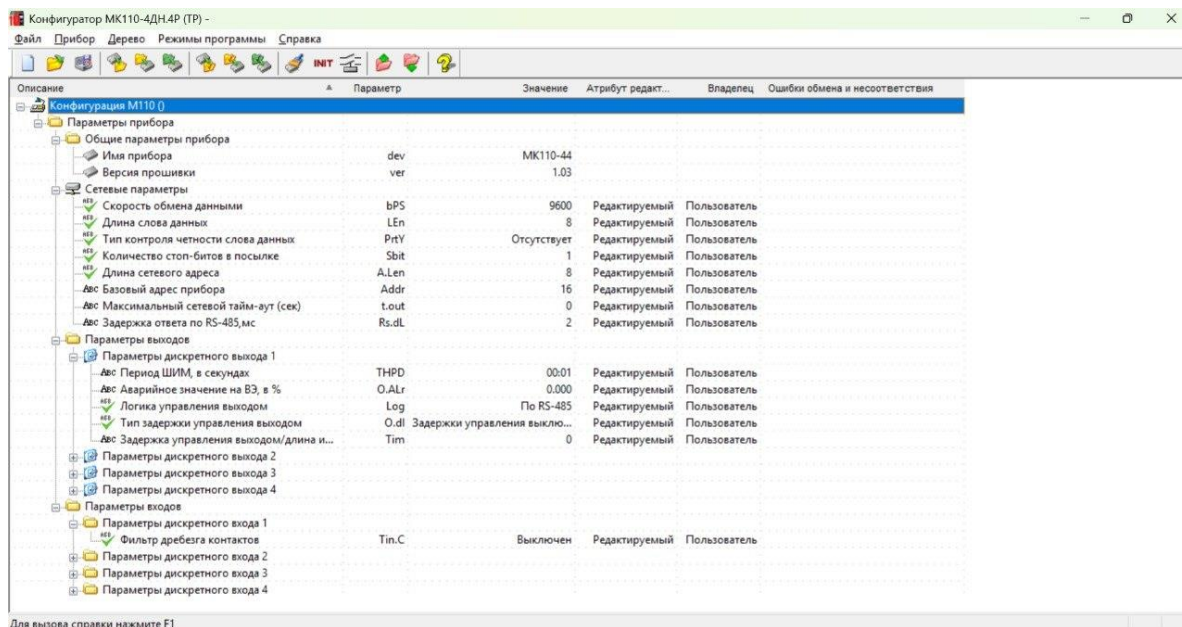


Рисунок 4.4 – Параметры конфігурування модуля ОВЕН МК110-4ДН.4Р

3.5.2 Модуль аналогового вводу ОВЕН МВ110-220.8АС

Для опитування імітаторів датчиків прилад МВ110-8С з версією прошивки 1.06, налаштований на базову адресу 17 згідно з загальною картою тегів системи. Для першого вхідного каналу задано тип підключеного датчика 0...10В, що відповідає уніфікованому сигналу напруги, з нижньою межею вимірювань 0.000 та верхньою межею 10.000. Другий канал налаштований на роботу із промисловим струмовим сигналом 4...20 мА з діапазоном вимірювання фізичної величини від 0.000 до 100.000 (рисунок 3.5).

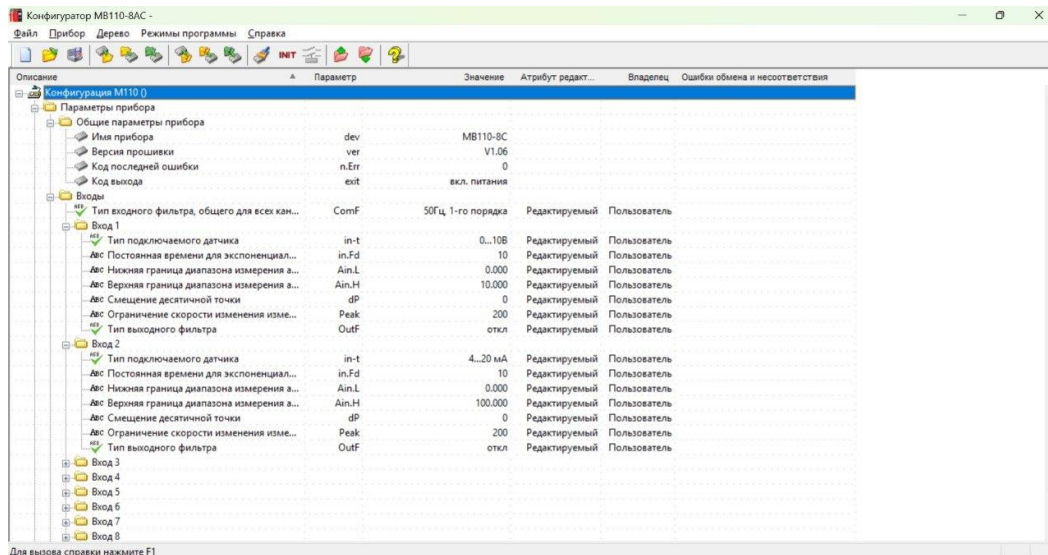


Рисунок 3.5 – Налаштування аналогових входів модуля ОВЕН МВ110-220.8АС

3.5.3 Модуль аналогового виводу ОВЕН МУ110-6У

Приладу МУ110-6У з версією прошивки 2.00 присвоєно базову мережеву адресу 18 з типом протоколу ModBus-RTU. Швидкість обміну та формат кадру повністю збігаються з іншими елементами мережі. Для вихідних аналогових елементів задано параметри безпечної поведінки у разі аварії або втрати зв'язку із центральним шлюзом, де виставлено базове аварійне значення виходу, що захищає підключене обладнання від непередбачуваних режимів роботи (рисунок 3.6).

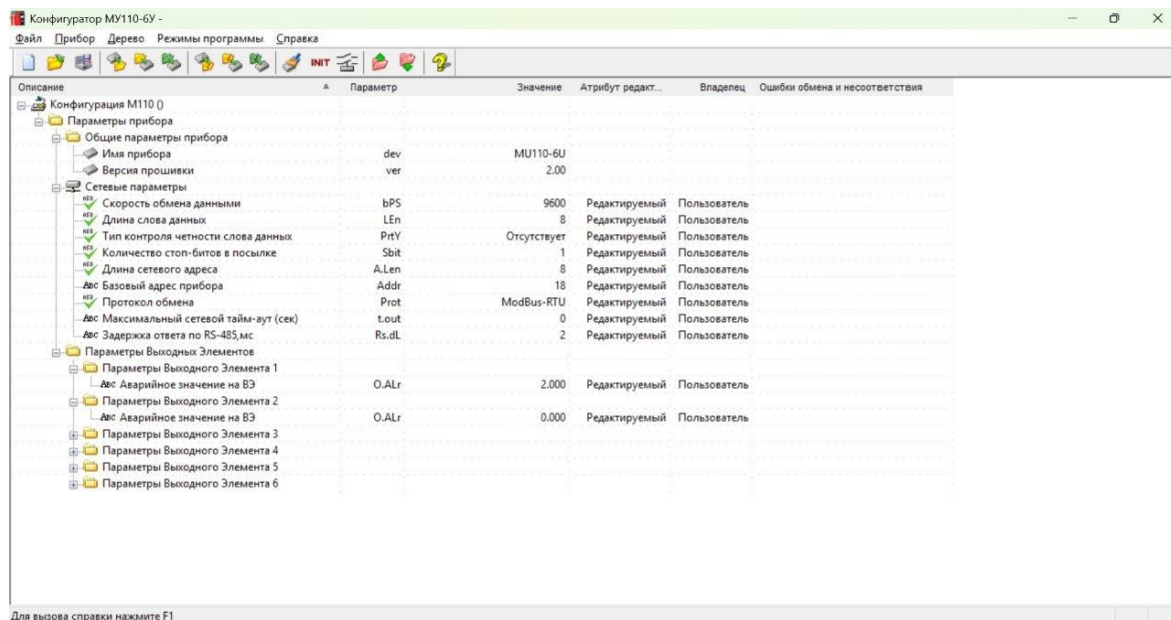


Рисунок 3.6 – Конфігурація параметрів зв'язку та виходів модуля МУ110-6У

Висновки по розділу 3

У третьому розділі було розглянуто програмне забезпечення лабораторного стенду та виконано основні етапи програмного налаштування інтеграційного контролера WebHMI PRO. Основною метою цього розділу було створення програмної конфігурації, яка забезпечує зв'язок між контролером, периферійними модулями введення-виведення, елементами керування, засобами індикації та веб-інтерфейсом користувача. Використання WebHMI PRO дало змогу реалізувати функції збору даних, диспетчеризації, віддаленого моніторингу та керування без необхідності встановлення окремої локальної SCADA-системи на персональний комп'ютер.

У процесі налаштування було створено внутрішню структуру програмних змінних і регістрів, які забезпечують обмін даними між WebHMI PRO та модулями ОВЕН через інтерфейс RS-485 за протоколом Modbus RTU. Для кожного модуля було задано окрему мережеву адресу, визначено типи регістрів, налаштовано періодичне опитування та запис значень. Це дозволило сформулювати єдину базу тегів, через яку контролер отримує дані від дискретних і аналогових входів, а також передає керувальні сигнали на вихідні канали.

Окрему увагу було приділено розробці людино-машинного інтерфейсу у вбудованому графічному редакторі WebHMI. Створена веб-мнемосхема забезпечує зручне відображення стану лабораторного стенду, контроль дискретних датчиків, індикацію роботи світлових елементів, візуалізацію аналогових параметрів, а також дистанційне керування розеткою та магнітним пускачем. Завдяки цьому програмне середовище WebHMI PRO виконує не лише роль комунікаційного шлюзу, а й функції повноцінного операторського інтерфейсу для керування та спостереження за роботою стенду.

Також у розділі було виконано налаштування мережевої взаємодії. Для промислової частини системи задано параметри обміну по шині RS-485: швидкість передавання даних, формат кадру, кількість стоп-бітів і затримку відповіді. Для верхнього рівня передбачено доступ до веб-сервера WebHMI PRO через Wi-Fi або Ethernet із використанням статичної IP-адреси. Таке рішення забезпечує стабільний зв'язок між користувачем і контролером, а також дозволяє здійснювати моніторинг та керування стендом з будь-якого пристрою, підключеного до відповідної мережі.

У межах програмного налаштування було також сконфігуровано модулі введення-виведення ОВЕН. Для модуля дискретного введення-виведення МК110-4ДН.4Р задано мережеву адресу та параметри роботи дискретних входів і виходів. Для модуля аналогового введення МВ110-220.8АС визначено типи вхідних сигналів і діапазони вимірювання. Для модуля аналогового виведення МУ110-6У задано параметри зв'язку, режим роботи вихідних каналів і безпечну поведінку у разі втрати зв'язку з центральним контролером. Це забезпечує коректну взаємодію всіх периферійних пристроїв у складі розподіленої системи.

Отже, у результаті виконання третього розділу було здійснено програмне налаштування контролера WebHMI PRO, створено карту внутрішніх тегів, налаштовано обмін даними з модулями ОВЕН, розроблено веб-мнемосхему HMI та задано параметри мережевої взаємодії. Виконані

роботи підтверджують, що WebHMI PRO може використовуватися як центральний програмно-апаратний вузол лабораторного стенду, який поєднує функції контролера, веб-сервера, шлюзу промислових протоколів і засобу операторської візуалізації. Це забезпечує можливість практичного дослідження принципів побудови розподілених систем керування технологічними процесами та створює основу для подальших стендових випробувань.

4 РЕАЛІЗАЦІЯ ДИСПЕТЧЕРСЬКОЇ СИСТЕМИ НА БАЗІ ІНТЕГРАЦІЙНОГО КОНТРОЛЕРА WebHMI PRO

4.1 Технічне завдання на розробку диспетчерського веб-інтерфейсу

В дипломному проєкті виконано практичну реалізацію диспетчерської системи для повітродувного агрегату Next Turbo серії GTN-T50XY, встановленого на каналізаційній очисній споруді (КОС) для аерації споруд біологічного очищення. Робота охоплювала повний цикл від аналізу технічного завдання до підготовки системи до промислової експлуатації: налаштування мережевого з'єднання інтеграційного контролера WebHMI PRO зі штатним контролером повітродувки (Local Control Panel, LCP), прив'язування реєстрів даних, розробку Lua-скриптів автоматизації, конфігурування системи подій і сповіщень, а також створення операторських мнемосхем. Окремо розглянуто суміжну задачу інтеграції з хмарною базою даних підприємства.

Вихідним документом для проєктування програмної частини стало технічне завдання (ТЗ), погоджене із реальним замовником. Документ визначає функціональні вимоги до веб-орієнтованого диспетчерського інтерфейсу, реалізованого на базі інтеграційного контролера WebHMI PRO, і передбачає надання персоналу зручного дистанційного доступу до параметрів роботи повітродувного агрегату.

У ТЗ визначено три рівні доступу користувачів: «оператор» – перегляд поточних параметрів і базове керування (старт/стоп, відкриття/закриття дифузора); «технолог» – перегляд трендів, журналів подій, налаштування уставок продуктивності та рівня розчиненого кисню; «адміністратор» – повний доступ, зокрема керування обліковими записами, резервне копіювання конфігурації та налаштування політик доступу.

Структурно ТЗ передбачає реалізацію щонайменше чотирьох екранів верхнього рівня:

– «Дашборд станції» – узагальнені статуси та ключові показники агрегату на одному екрані;

- «Картка агрегату» – детальні поточні параметри, графіки (тренди) та елементи керування;
- «Події/Аварії» – журнал подій з можливістю фільтрації за рівнем (попередження/аварія), підтвердженням (квитуванням) та експортом;
- «Адміністрування» – керування користувачами, резервне копіювання та налаштування політик доступу.

Вимоги до моніторингу передбачають відображення того самого набору технологічних параметрів, що й на штатному сенсорному екрані LCP (рисунок 4.1): тиску нагнітання, температури повітря на вході та виході, тиску й температури мастила, рівня вібрації, витрати повітря, струму та потужності двигуна, положення дифузорних лопаток (VDV) і напрацьованих мотогодин. Винятком є параметр «положення вхідних напрямних лопаток (IGV)»: у конфігурації регулювання, застосованій на об'єкті, продуктивність змінюється лише за допомогою лопаток дифузора, тому параметр IGV відсутній і відповідно до ТЗ не відображається. Кожен параметр повинен мати три зони індикації: синю (нормальний режим), жовту (наближення до граничного значення) та червону (аварійний рівень). Під час переходу параметра в жовту зону інтерфейс має виводити спливне попереджувальне повідомлення.

Окремою важливою вимогою ТЗ є кольорове кодування значень параметрів. Значення, що перебувають у межах нормального робочого діапазону, мають відображатися зеленим кольором; при наближенні до граничного (попереджувального) рівня – жовтим; у разі перевищення аварійного рівня – червоним. Додатково передбачено, що під час переходу значення у «жовту» зону система повинна виводити спливне попереджувальне повідомлення (pop-up), яке привертає увагу оператора навіть тоді, коли відповідний екран не відкритий.

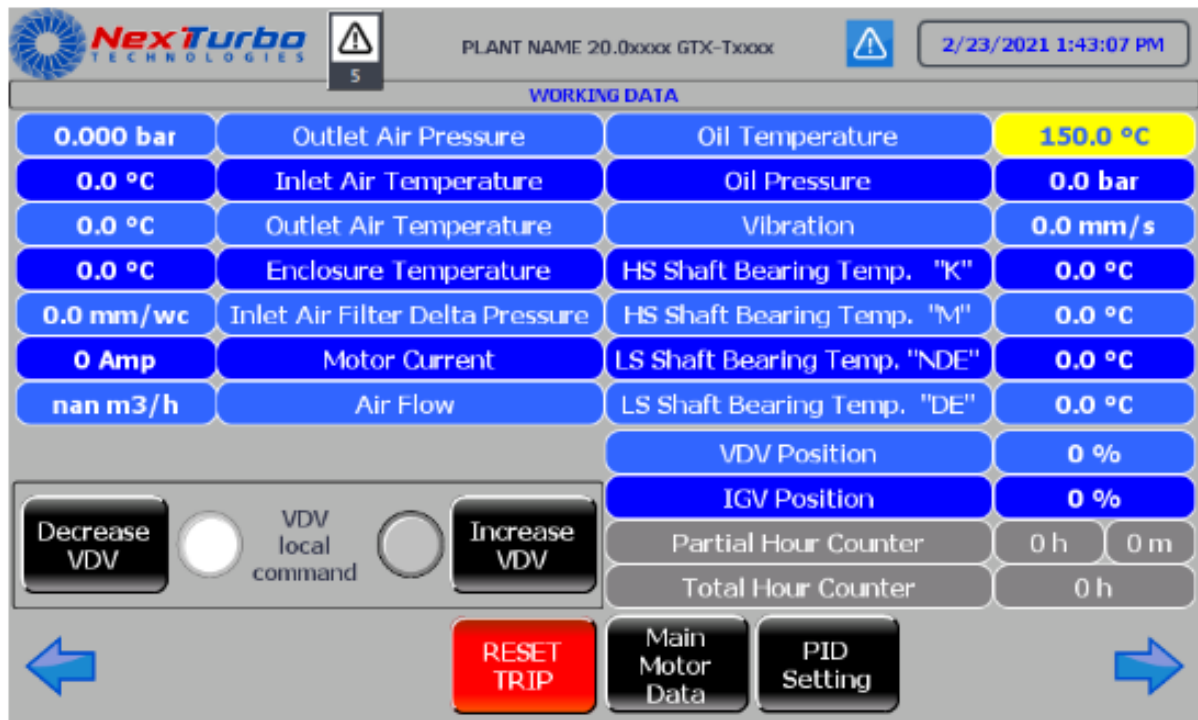


Рисунок 4.1 – Приклад екрану робочих даних штатної панелі керування Next Turbo (НМІ 3.0), використаний у ТЗ як основа для переліку параметрів моніторингу

Щодо керування ТЗ передбачає стандартний набір команд «Старт/Стоп», перемикання режимів «Ручний/Автоматичний» за аналогією зі штатними кнопками LOCAL MODE/REMOTE MODE, а також встановлення робочих уставок (setpoint) не лише для тиску, а й для продуктивності (об'ємної витрати повітря) та концентрації розчиненого кисню (DO, мг/л) в аеротенку. Як зразок реалізації такого елемента керування у ТЗ наведено екран регулятора тиску штатної панелі (рисунок 4.2), що містить два вертикальні індикатори Process Value та Setpoint Value, перемикач Local/Remote Setpoint і поле введення локальної уставки.

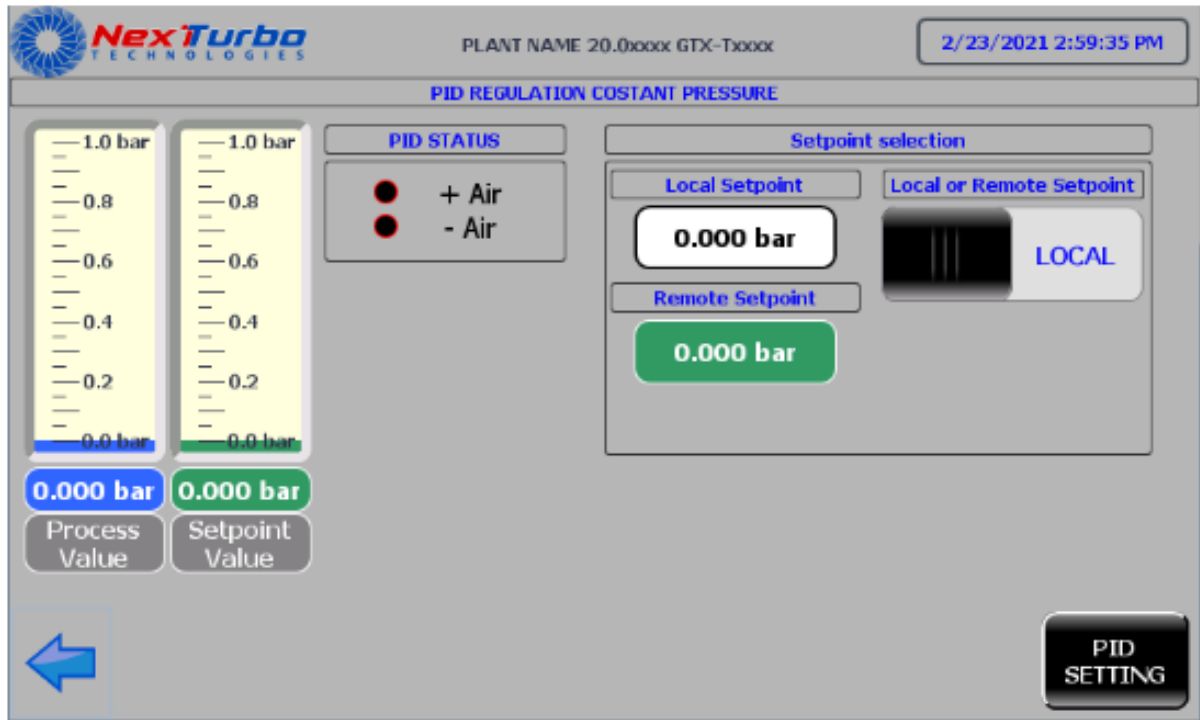


Рисунок 4.2 – Приклад екрана регулятора (НМІ 8.0) зі штатної панелі, використаний як шаблон для реалізації уставок продуктивності та розчиненого кисню

Окремим пунктом ТЗ визначено ведення статистики аварій і попереджень: кількості, тривалості та частоти виникнення подій певного типу за вибраний період. Завершальний пункт стосується телеметрії й архівування. Ключові показники, зокрема продуктивність, рівень розчиненого кисню та споживана потужність, повинні зберігатися у хмарному середовищі з можливістю побудови графіків. Додатково має виконуватися накопичення підсумкових величин за годину, тиждень і місяць з обчисленням середніх значень. Ця вимога пов'язана із суміжною задачею інтеграції з хмарною базою даних підприємства.

Сформоване ТЗ є робочою специфікацією для всіх подальших етапів налаштування. Вибір реєстрів WebHMI PRO, логіка кольорової індикації, система подій та структура мнемосхем безпосередньо впливають із наведених вимог.

4.2 Повітродувний агрегат Next Turbo GTN-T50XY та його штатна система керування

Компанія Next Turbo Technologies S.p.A. (Італія) спеціалізується на виробництві одноступневих відцентрових повітродувок-компресорів серії GT із вбудованим редуктором. На об'єкті впровадження встановлено агрегат типорозміру T50 з регулюванням продуктивності змінними лопатками дифузора (Variable Diffuser Vanes, VDV). Кожен агрегат є одноступневим відцентровим компресором з литим корпусом-волютою, приводом від асинхронного електродвигуна через зубчастий редуктор, системою змащування, входним повітряним фільтром-шумоглушником і відсічним клапаном на нагнітанні.



Рисунок 4.3 – Зовнішній вигляд повітродувного агрегату Next Turbo серії GTN (типова конструкція T-серії з вбудованим редуктором)

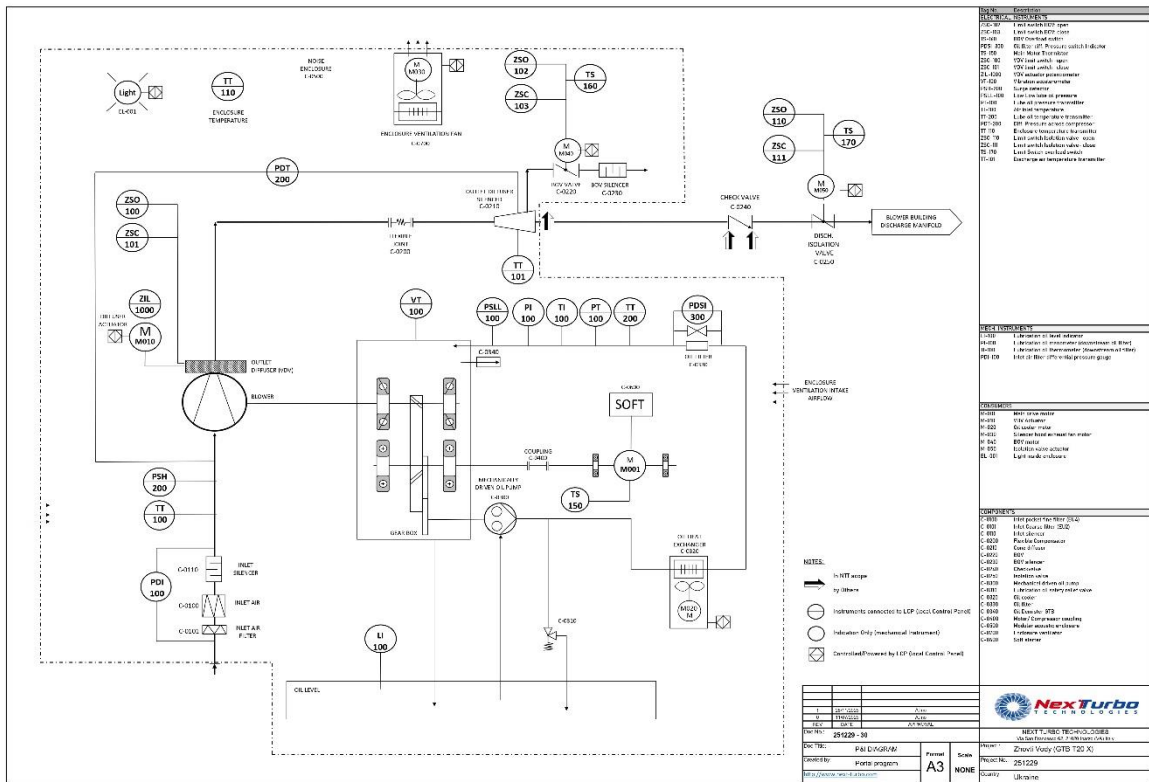


Рисунок 4.4 – P&ID-схема повітряного агрегату Next Turbo GTN-T50XY: позначення датчиків, виконавчих механізмів і контрольних точок відповідно до проектної документації об’єкта

Кожен агрегат комплектується власною шафою місцевого керування – Local Control Panel (LCP). До її складу входять програмований логічний контролер серії Siemens SIMATIC (модулі периферії ET 200SP, центральний процесор класу S7-1500) та вбудована сенсорна панель оператора (HMI) із заводським програмним забезпеченням Next Turbo. Штатний інтерфейс LCP реалізує повний цикл керування агрегатом: вибір режимів «Локальний / Дистанційний/Сервісний», послідовності пуску та зупинки з контролем передмашування, регулювання положення дифузора за внутрішнім ПІД-алгоритмом або за зовнішньою уставкою, а також систему аварійних попереджень і відключень (коди 2xxx – попередження, 3xxx – відключення) відповідно до документації виробника.

Принципово важливим для подальшої роботи є те, що у штатному контролері LCP виробником заздалегідь підготовлено канал обміну даними із

зовнішньою диспетчерською системою (DCS/SCADA). За протоколом Profinet/S7 виділено блок даних DB2000 обсягом близько 150 байт на читання (стани, аварії та аналогові значення) і блок DB2001 обсягом близько 20 байт на запис (команди старт/стоп, дистанційна уставка). Структура цього блоку задокументована у проєктній документації мережевих налаштувань Network Setup, де кожний біт та аналогове значення прив'язано до конкретного технологічного тегу за системою позначень P&ID виробника, наприклад PT-100 – тиск мастила, TT-100 – температура повітря на вході, TT-110 – температура у шафі/кожусі, VT-100 – вібрація, ZIL-1000 – положення дифузора. Саме цей документований протокольний інтерфейс став точкою інтеграції. Замість розроблення власної логіки керування з нуля завдання полягало у підключенні до вже наявного й перевіреного протоколу та побудові на його основі веб-орієнтованого диспетчерського шару.

На об'єкті змонтовано один агрегат, який у створеній диспетчерській системі отримав внутрішній ідентифікатор LCP A. Саме під цим позначенням він відображається на всіх наведених далі екранах WebHMI PRO.

4.3 Реалізація диспетчерської системи на базі WebHMI PRO

4.3.1 Загальна архітектура рішення

Загальна архітектура впровадженого рішення (рисунок 4.5) складається з чотирьох рівнів. На польовому рівні розташований повітродувний агрегат із датчиками тиску, температури, вібрації та виконавчими механізмами. Рівень LCP представлений штатним контролером Siemens із задалегідь сформованими блоками обміну даними DB2000/DB2001. Третій рівень – контролер WebHMI PRO, встановлений додатково до штатної шафи LCP і підключений до тієї самої промислової мережі Ethernet/Profinet. Він опитує DB2000 за протоколом S7 Comm (TCP), зберігає прийняті значення у власних регістрах, виконує над ними Lua-скрипти та формує вихідні канали: локальні мнемосхеми у вбудованому веб-сервері, систему подій із розсилкою SMS/Telegram/Viber, диспетчерські панелі (Dashboards), а також хмарні сервіси webhmicloud.com і Level2 для віддаленого доступу [4].

Архітектура диспетчерського рішення на базі WebHMI PRO

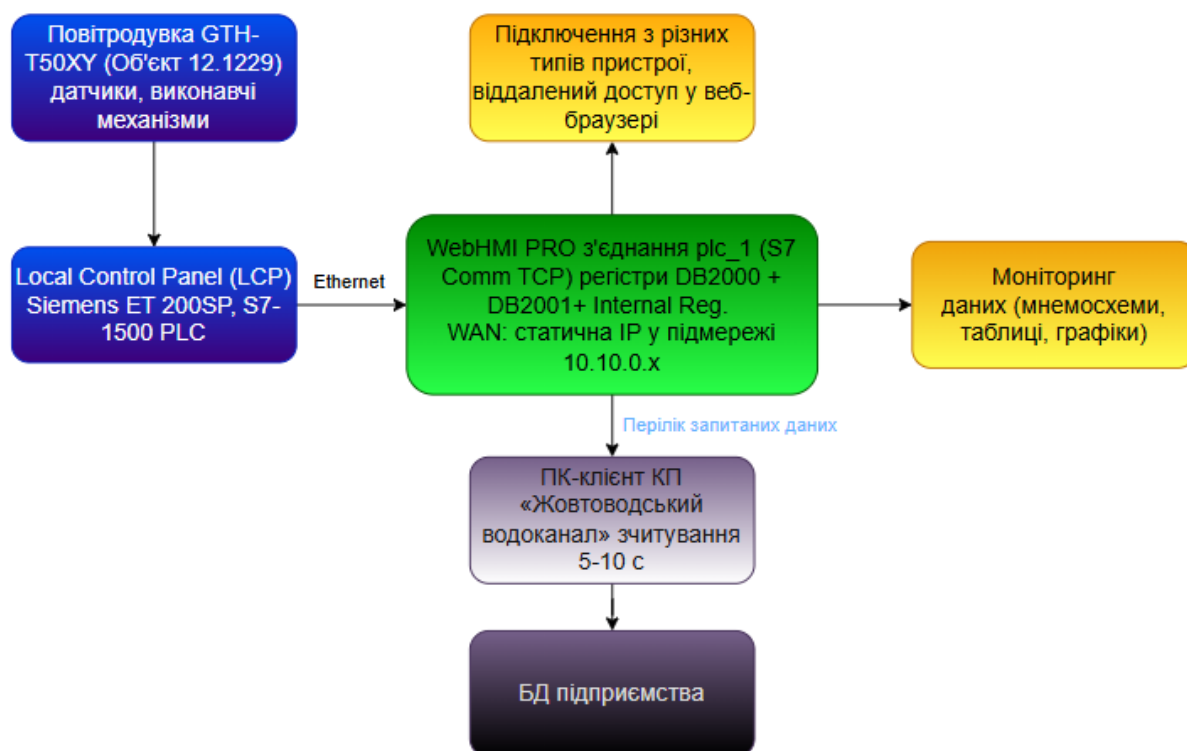


Рисунок 4.5 – Архітектура впровадженого диспетчерського рішення: від польового рівня повітродувки до хмарних сервісів WebHMI PRO та суміжної задачі обліку

Четвертий, суміжний рівень – окрема програмна підсистема обліку, що належить замовнику. Вона розгорнута на персональному комп'ютері у диспетчерській КП «Жовтоводський водоканал» і містить клієнтський застосунок, який періодично, кожні 5–10 секунд, звертається до набору реєстрів, сформованого на третьому рівні, та записує дані у хмарну базу MySQL підприємства для подальшої звітності. Важливо, що агрегат 12.1229 обслуговується одним екземпляром WebHMI PRO, який опитує контролер LCP по локальній мережі та публікує дані у хмару Level2 для віддаленого доступу диспетчера.

4.3.2 Налаштування мережевого підключення WebHMI PRO

Однією з вимог замовника була мінімізація часу та складності робіт безпосередньо на об'єкті. Пусконаладження мало зводитися до фізичного

підключення кабелю та подачі живлення без необхідності залучення програміста на майданчику. Для виконання цієї вимоги вся конфігурація – мнемосхеми, реєстри, скрипти та події – була повністю підготовлена і перевірена на стенді до відправлення контролера на об'єкт. На майданчику залишалося лише узгодити мережеві параметри.

Апаратно контролер WebHMI PRO має два роз'єми Ethernet (RJ45) – LAN та WAN – з різною заводською логікою роботи [1,2]. Інтерфейс LAN за умовчанням працює як DHCP-сервер у мережі 192.168.1.0/24 (адреса пристрою 192.168.1.1) і об'єднаний в один мережевий міст із вбудованим Wi-Fi-модулем. Це технологічний порт, призначений для первинного підключення ноутбука інженера або для живлення власної підмережі невеликих польових пристроїв. Інтерфейс WAN, навпаки, за умовчанням працює як DHCP-клієнт і призначений для підключення до наявної мережі об'єкта – маршрутизатора або комутатора. При цьому міжмережевий екран блокує всі вхідні з'єднання з боку WAN, а веб-інтерфейс налаштувань доступний лише з боку LAN.

На етапі стендової підготовки інтерфейс WAN було переналаштовано зі стандартного режиму DHCP-клієнта на статичну IP-адресу в технологічній підмережі автоматизації об'єкта 10.10.0.0/24. Ця підмережа визначена у документі мережевих налаштувань Next Turbo, де контролеру LCP призначено адресу 10.10.0.1, а вбудованій панелі HMI – 10.10.0.101. Контролеру WebHMI PRO у межах цієї підмережі виділено адресу 10.10.0.50. Саме ця адреса використовується у налаштуваннях з'єднання plc_1, показаних на рис. 4.6. Паралельно у розділі Registers створено нове з'єднання типу S7 Comm (TCP) із зазначенням цільової IP-адреси, номера стійки/слота та блоку DB2000. Після цього WebHMI PRO почав отримувати реальні дані зі штатного контролера ще на стенді.

Фактичні роботи на об'єкті склалися з трьох кроків: монтажу корпусу WebHMI PRO поряд із шафою LCP, з'єднання порту WAN патч-кордом із комутатором, до якого підключені ПЛК та панель HMI LCP, а також подачі

живлення 24 VDC. Оскільки конфігурація вже містила правильні IP-адреси підмережі, опитування регістрів DB2000 розпочалося автоматично. Окремим етапом виконано реєстрацію пристрою у хмарному сервісі webhmicloud.com, після чого віддалений доступ до мнемосхем став можливим без налаштування VPN або переадресації портів.

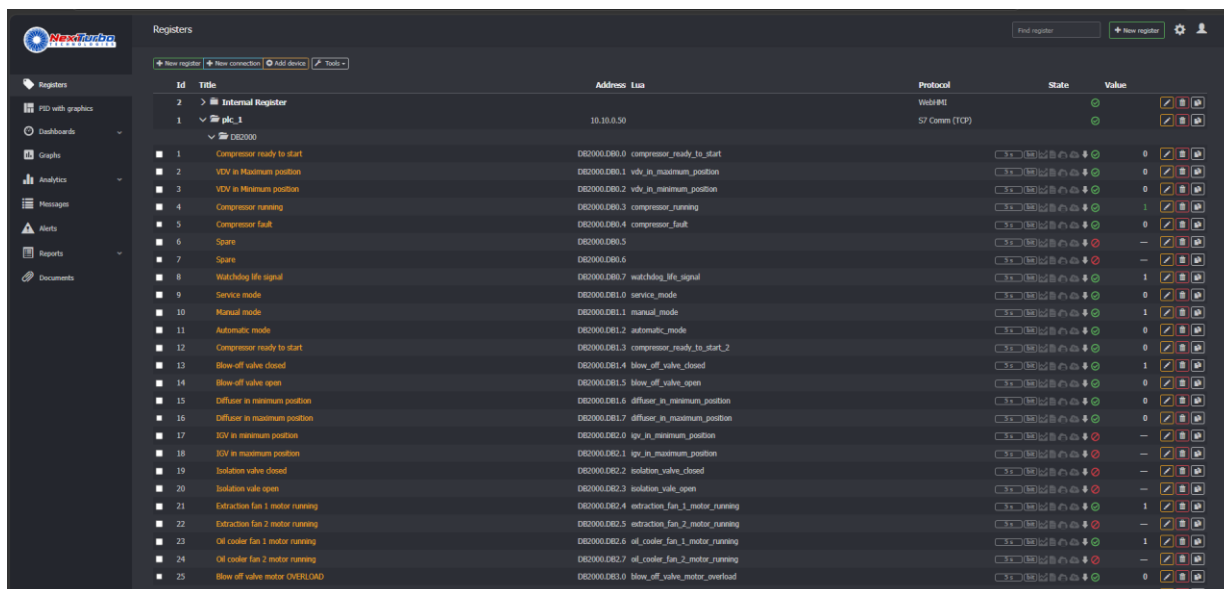


Рисунок 4.6 – Розділ Registers WebHMI PRO: з'єднання plc_1 (S7 Comm TCP, 10.10.0.50) та перелік бітових регістрів блоку DB2000 з прив'язуванням до Lua-псевдонімів

4.3.3 Прив'язування регістрів до блоку DB2000 контролера LCP та внутрішні (розрахункові) регістри WebHMI

Після встановлення з'єднання plc_1 у розділі Registers послідовно створено перелік регістрів, що повторює структуру блоку DB2000 з проектною документації. Кожному бітовому або аналоговому значенню відповідає окремий рядок реєстру WebHMI з такими полями: Title – змістовна назва, аналогічна до документації Next Turbo; Address – адреса у форматі DB2000.DBx.y для бітів або DB2000.DBDxx для 32-розрядних значень REAL/DINT; Lua – псевдонім у стилі snake_case, який надалі використовується у скриптах і мнемосхемах через функції GetReg()/SetReg().

Таблиця 4.1 містить вибірку із семи бітових та дев'яти аналогових регістрів, що ілюструють обидва типи прив'язування.

Таблиця 4.1 – Приклад прив'язування реєстрів WebHMI PRO до блоку даних DB2000 контролера LCP (вибірка з повної конфігурації)

№	Назва сигналу (за документацією Next Turbo)	Адреса DB2000	Lua-псевдонім (WebHMI)	Тип / одиниці
1	Компресор у роботі (Compressor running)	DB2000.DB0.3	compressor_running	bit
2	Автоматичний режим (Automatic mode)	DB2000.DB1.2	automatic_mode	bit
3	Запобіжний клапан закритий (Blow-off valve closed)	DB2000.DB1.4	blow_off_valve_closed	bit
4	Дифузор у мінімальному положенні	DB2000.DB1.6	diffuser_in_minimum_position	bit
5	Витяжний вентилятор 1 у роботі (Extraction fan 1)	DB2000.DB2.4	extraction_fan_1_motor_running	bit
6	Вентилятор маслоохолоджувача 1 у роботі	DB2000.DB2.6	oil_cooler_fan_1_motor_running	bit
7	Перевантаження двигуна запобіжного клапана (TS160)	DB2000.DB4.0	blow_off_valve_motor_overload	bit
8	Положення дифузорних лопаток (ZIL-1000)	DB2000.DBD12	diffuser_position	REAL, 0...100 %
9	Тиск нагнітання (PDT-200)	DB2000.DBD24	outlet_pressure	REAL, 0...1 бар
10	Температура повітря на вході (TT-100)	DB2000.DBD28	inlet_air_temperature	REAL, -50...150 °C
11	Температура у кожусі/шафі (TT-110)	DB2000.DBD32	ambient_temperature	REAL, -50...150 °C
12	Тиск мастила (PT-100)	DB2000.DBD36	oil_pressure	REAL, 0...10 бар
13	Температура мастила (TT-200)	DB2000.DBD40	oil_temperature	REAL, -50...150 °C
14	Рівень вібрації (VT-100)	DB2000.DBD48	vibration	REAL, 0...25 мм/с
15	Струм двигуна (Flow Amp)	DB2000.DBD124	motor_current	REAL, A
16	Активна потужність двигуна	DB2000.DBD140	motor_power	DINT, кВт

ID	Title	Address	Lua	Protocol	State	Value
2	Internal Register			WebNMI		
154	Prog	T1			135	
156	Compressor state	S1	compressor_state		Поиск	
282	Hide man	D138	hide_man		1	
252	Inlet air temperature Normal Min	D110	inlet_air_temperature_normal_min			-1000000000
305	Oil heat exchanger status	D140	oil_heat_exchanger_status		1	
306	Extraction heat exchanger status	D141	extraction_heat_exchanger_status		0	
241	Local/Remote mode	D1			0	
307	Blow off valve state	D142	blow_off_valve_state		0	
253	Inlet air temperature Normal Max	D111	inlet_air_temperature_normal_max			1000000000
308	Compressor status (for Lev2)	D143	compressor_status		1	
310	Test event start-end	D170	test_event_start_end		0	
309	Alarms for alarm screen button	D144	alarms_for_alarm_screen		0	
254	Inlet air temperature Warning Min	D112	inlet_air_temperature_warning_min		0	
155	Problem with connection	CL			0	
255	Inlet air temperature Warning Max	D113	inlet_air_temperature_warning_max		0	
153	Time	S1	time			14/06/2026 11:15:29 AM
256	Inlet air temperature Trip Min	D114	inlet_air_temperature_trip_min		0	
257	Inlet air temperature Trip Max	D115	inlet_air_temperature_trip_max		0	
258	Oil pressure Normal Min	D116	oil_pressure_normal_min			-1000000000
259	Oil pressure Normal Max	D117	oil_pressure_normal_max			1000000000
260	Oil pressure Warning Min	D118	oil_pressure_warning_min		0	
261	Oil pressure Warning Max	D119	oil_pressure_warning_max		0	
262	Oil pressure Trip Min	D120	oil_pressure_trip_min		0	
263	Oil pressure Trip Max	D121	oil_pressure_trip_max		0	
264	Oil temperature Normal Min	D122	oil_temperature_normal_min			-1000000000
265	Oil temperature Normal Max	D123	oil_temperature_normal_max			1000000000
266	Oil temperature Warning Min	D124	oil_temperature_warning_min		0	

Рисунок 4.7 – Внутрішні (розрахункові) реєстри WebNMI PRO: порогові значення станів, агреговані показники для Level2, рядкові реєстри стану та часу

Окрім реєстрів, що дзеркально відображають блок DB2000, у WebNMI PRO сформовано групу внутрішніх реєстрів (Internal Register), тобто суто програмних реєстрів без прямої адреси у ПЛК (рисунок 4.7). Вони поділяються на три категорії. Перша категорія – порогові реєстри для кожного аналогового параметра: <параметр>_normal_min/max, <параметр>_warning_min/max, <параметр>_trip_min/max. Під час першого запуску (first_scan) ці реєстри ініціалізуються технічно «нескінченними» значеннями $\pm 1\,000\,000\,000$, що видно за фактичними значеннями на рис. 4.7, наприклад inlet_air_temperature_normal_min = -1000000000. Це гарантує, що до завантаження реальних проєктних меж жодна умова виходу за межу не спрацює помилково. Друга категорія – реєстри стану <параметр>_state (0 – норма/синій, 1 – попередження/жовтий, 2 – аварія/червоний). Вони обчислюються Lua-скриптами і безпосередньо керують кольором відповідного елемента мнемосхеми згідно з вимогами ТЗ.

Третя категорія – складені та сервісні реєстри: compressor_state (текстовий статус агрегату), compressor_states (числовий стан з прапорцем передавання до хмарної платформи Level2), time (поточна дата і час для

заголовка мнемосхем) та `alarms_for_alarm_screen` (лічильник активних аварій).

4.3.4 Скрипти автоматизації мовою Lua: обчислення станів, гістерезис та керуючі команди

WebHMI PRO має вбудоване середовище виконання сценаріїв мовою Lua 5.1, доступне через розділ Scripts [3]. Кожен сценарій оформлюється як функція `function main(userId)...end` і виконується за одним із трьох тригерів: у кожному циклі опитування, за дією на диспетчерській панелі або під час зміни значення вибраного регістру. У сценаріях доступні функції `GetReg()` для читання поточного значення за символічним іменем, `SetReg()` для запису у поточному циклі без передавання у зовнішній пристрій та `WriteReg()` для запису значення з передаванням команди у контролер LCP на початку наступного циклу [3]. Глобальні змінні Lua зберігають свої значення між послідовними викликами, що дає змогу реалізовувати накопичувачі, таймери та логіку з пам'яттю попереднього стану.

У межах проєкту створено близько двадцяти сценаріїв: службовий сценарій `Time`; сценарії `Start blower` та `Stop blower` для команд керування; сценарії `<параметр>_state` для кожного контролюваного аналогового параметра; сценарії-агрегатори `oil_heat_exchanger_states`, `extraction_heat_exchanger_states`, `blow_off_valve_states` та `compressor_states` для Level2; сервісні сценарії `Watchdog signal`, `Combined motor trip` та `Alarms for alarm screen`.

Далі розглянуто три характерні приклади, які ілюструють різні задачі, реалізовані засобами Lua у цьому проєкті.



Рисунок 4.8 – Сценарій Time: формування рядкового реєстра поточної дати/часу для відображення у заголовок мнемосхем

Найпростіший приклад – сценарій Time (рисунок 4.8), що виконується у кожному циклі. Він порівнює поточну часову позначку `os.time()` зі збереженою у глобальній таблиці `mem` попередньою позначкою. Якщо значення змінилося, тобто минула щонайменше одна секунда, сценарій формує рядок за допомогою `os.date("%d/%m/%Y %I:%M:%S %p")` і записує його у внутрішній рядковий реєстр `time`.

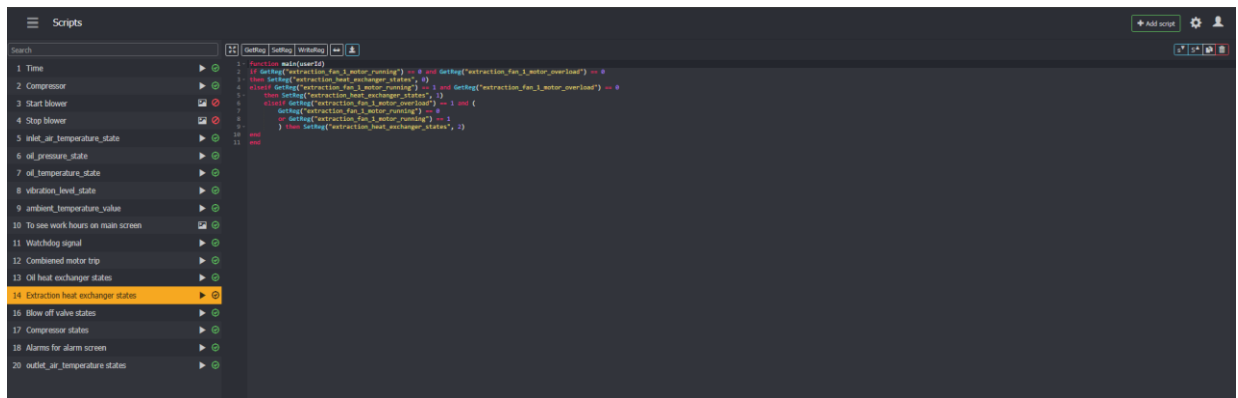


Рисунок 4.9 – Сценарій Extraction heat exchanger states: формування єдиного агрегованого статусу (0/1/2) з двох бітових сигналів зворотного зв'язку

Сценарій Extraction heat exchanger states (рисунок 4.9) демонструє підхід до згортання двох бітових сигналів від одного виконавчого механізму – «двигун у роботі» та «перевантаження двигуна» – в один узагальнений код стану: 0 – зупинений без перевантаження, 1 – у роботі без перевантаження, 2 – зафіксовано перевантаження. Такий підхід спрощує мнемосхему: замість двох окремих індикаторів достатньо одного графічного елемента, колір якого керується єдиним числовим станом.

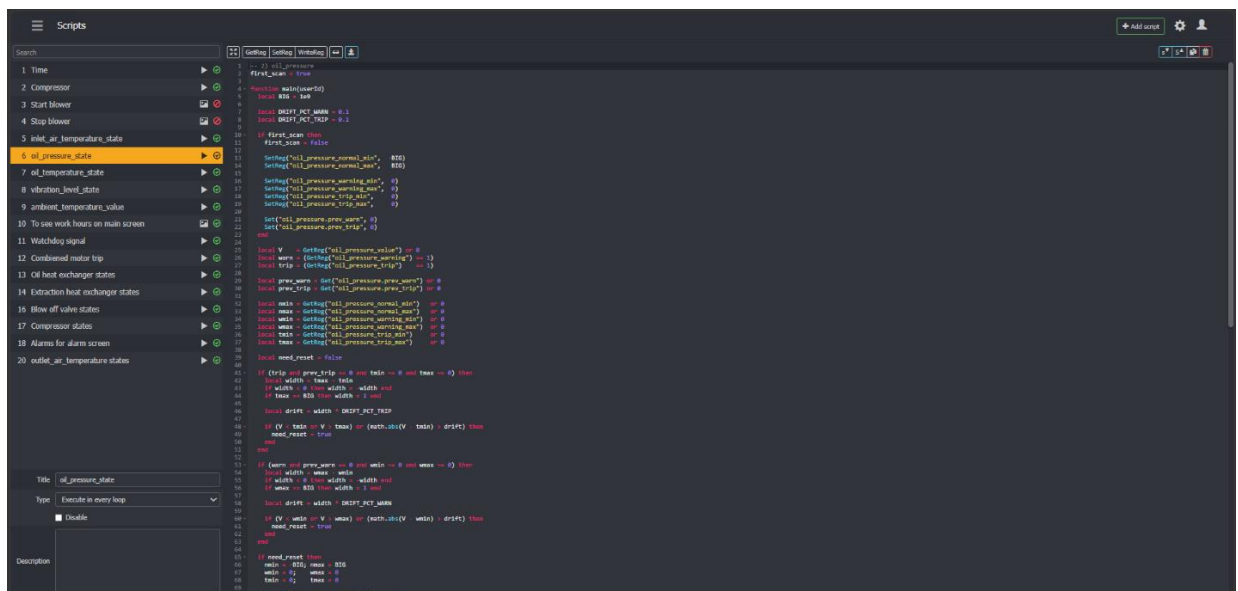


Рисунок 4.10 – Сценарій oil_pressure_state: ініціалізація порогових реєстрів значеннями ± 10 при першому запуску та розрахунок стану з гістерезисом

10%

Найскладнішим за логікою є сценарій-шаблон <параметр>_state, проілюстрований на прикладі oil_pressure_state (рисунок 4.10). Під час першого виконання він ініціалізує шість порогових реєстрів normal_min/max, warning_min/max і trip_min/max, після чого розраховує стан параметра з урахуванням гістерезису 10%. Наявність гістерезису запобігає частому перемиканню кольорів і подій, якщо значення коливається поблизу порогової межі.

Окрему групу становлять сценарії команд керування Start blower та Stop blower. Вони активуються після натискання відповідних кнопок на мнемосхемі та виконують WriteReg() для імпульсного встановлення бітів команд у каналі запису DB2001. Після передавання команди біт скидається, що запобігає повторному виконанню команди у наступних циклах.

4.3.5 Система подій (Events), аварійних повідомлень та сповіщень

Розділ Events адміністративного інтерфейсу WebHMI PRO є реєстром подій, кожна з яких задається як логічне правило «умова → дія» і відстежується незалежно від поточного екрана мнемосхеми. У межах проекту сформовано вісімнадцять подій, які охоплюють попередження та аварійні стани повітряного агрегату.

ID	Title	Report	Description	Actions
2	Blow off valve motor OVERLOAD		Blow off valve motor OVERLOAD	[Icons]
3	Extraction fan 1 motor OVERLOAD		Extraction fan 1 motor OVERLOAD	[Icons]
4	Oil cooler fan 1 motor OVERLOAD		Oil cooler fan 1 motor OVERLOAD	[Icons]
5	Oil filter clogged WARNING		Oil filter clogged WARNING	[Icons]
6	Enclosure temperature WARNING		Enclosure temperature WARNING	[Icons]
7	Inlet air temperature WARNING		Inlet air temperature WARNING	[Icons]
8	Oil pressure WARNING	OilWarn report	Oil pressure WARNING	[Icons]
9	Vibration level WARNING		Vibration level WARNING	[Icons]
11	Main motor feedback during start-up lost TRIP		Main motor feedback during start-up lost TRIP	[Icons]
12	Blow off valve failure TRIP		Blow off valve failure TRIP	[Icons]
13	Inlet air temperature TRIP		Inlet air temperature TRIP	[Icons]
14	Oil pressure switch TRIP		Oil pressure switch TRIP	[Icons]
15	Oil pressure TRIP		Oil pressure TRIP	[Icons]
16	Oil temperature TRIP		Oil temperature TRIP	[Icons]
17	Surging TRIP		Surging TRIP	[Icons]
18	Vibration level TRIP		Vibration level TRIP	[Icons]
19	Main motor windings temp TRIP - PTC		Main motor windings temp TRIP - PTC	[Icons]
22	Oil temperature WARNING		Oil temperature WARNING	[Icons]

Рисунок 4.11 – Реєстр подій (Events) WebHMI PRO: 18 налаштованих попереджень і аварійних відключень з назвами, узгодженими з документацією Next Turbo

Редактор окремої події (рисунок 4.12) містить чотири вкладки: Basic Info, Condition, Actions та Permissions. На вкладці Condition подія описується

як логічний вираз над одним або кількома регістрами. Для прикладу показано умову спрацювання події Blow off valve motor OVERLOAD, прив'язану до бітового регістра DB2000.DB4.0.

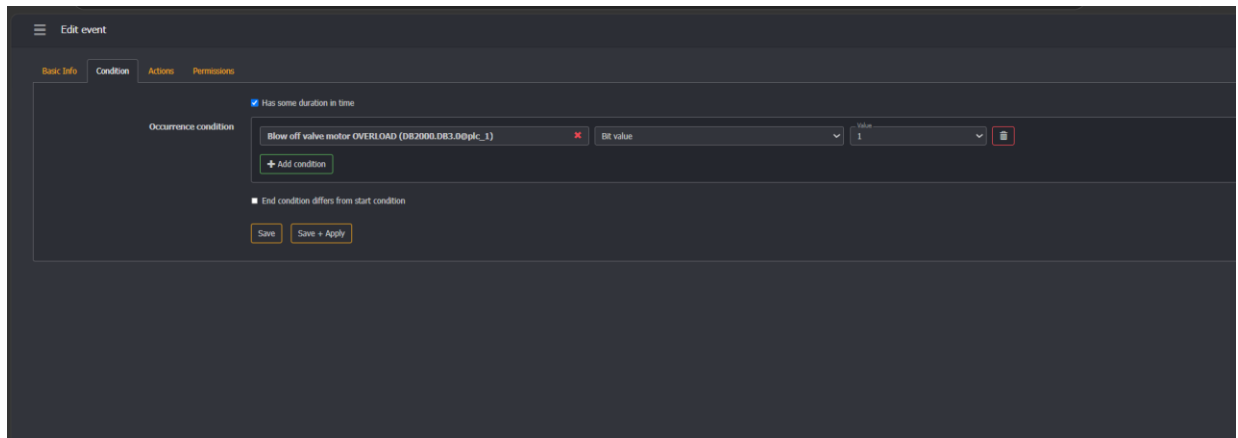


Рисунок 4.12 – Редактор події: умова виникнення (вкладка Condition) для події Blow off valve motor OVERLOAD з прив'язуванням до бітового регістра DB2000.DB4.0

На вкладці Actions для критичних подій налаштовано формування повідомлень за допомогою функцій AddWarningMessage()/AddAlertMessage(). Такі повідомлення автоматично потрапляють до журналу подій мнемосхеми (рисунок 4.19) та збільшують лічильник активних аварій. Для найбільш важливих станів додатково налаштовано зовнішні сповіщення, які надсилаються відповідальним користувачам.

4.3.6 Мнемосхеми оператора: головний екран та картка агрегату

Мнемосхеми WebHMI PRO є повноцінним браузерним SCADA-інтерфейсом, який відкривається у будь-якому сучасному браузері без встановлення додаткового програмного забезпечення [1,5]. Для розроблення використовується вбудований веб-редактор, що дає змогу розміщувати графічні елементи, числові поля, кнопки, індикатори, таблиці повідомлень і тренди.



Рисунок 4.13 – Середовище розробки мнемосхем WebHMI PRO (режим редагування): головний екран Main Screen 1 у процесі проєктування з переліком доступних елементів на бічній панелі

Головний екран Main Screen 1 (рисунок 4.14) є центральним операторським вікном і за структурою відповідає екрану 2.0 штатної панелі LCP (порівняти з рис. 4.1), але реалізований у власному форматі, адаптованому для планшетного й десктопного перегляду. У верхній частині екрана розташовано заголовок агрегату LCP A 12.1229, індикатор поточного користувача, системний час і кнопки переходу до інших екранів.

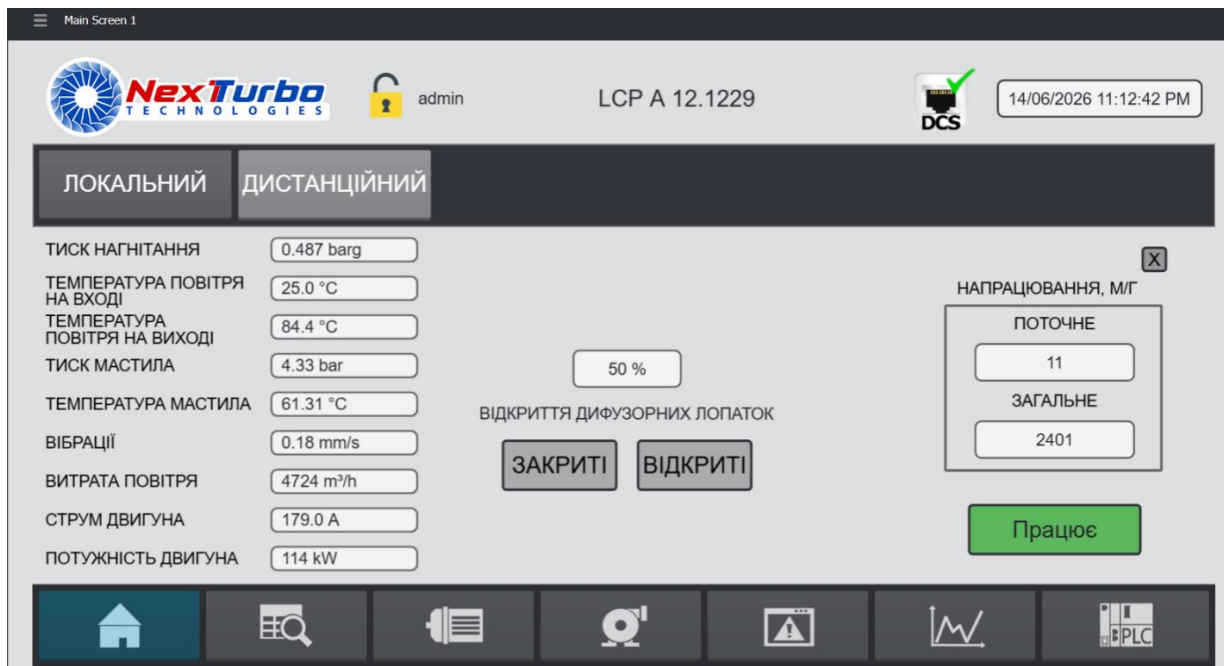


Рисунок 4.14 – Готовий головний екран Main Screen 1 (LCP A 12.1229): вибір режиму, ключові параметри, керування відкриттям дифузора, поточні та загальні мотогодини

У центрі головного екрана розміщено блок оперативних параметрів у двох стовпцях. Ліворуч наведено аналогові технологічні величини: тиск нагнітання, температури входу та виходу, тиск і температура мастила, вібрацію, витрату повітря, струм і потужність двигуна. Праворуч відображаються позиційні та сервісні показники: положення дифузора, стан режиму, мотогодини та службові параметри. Колір кожного значення змінюється відповідно до стану, обчисленого Lua-скриптами.

Картка агрегату представлена двома спеціалізованими мнемосхемами: Motor Data 3 (рис. 4.15) для двигуна та Mechanical data 4 (рисунок 4.16) для механічної частини. Екран Motor Data містить зображення електродвигуна, центральний індикатор струму 180,0 А, а також дані плавного пускача: частоту 50 Гц, напругу 418 В і потужність 115 кВт. Така побудова дає змогу швидко оцінити стан електропривода без переходу до окремих таблиць.

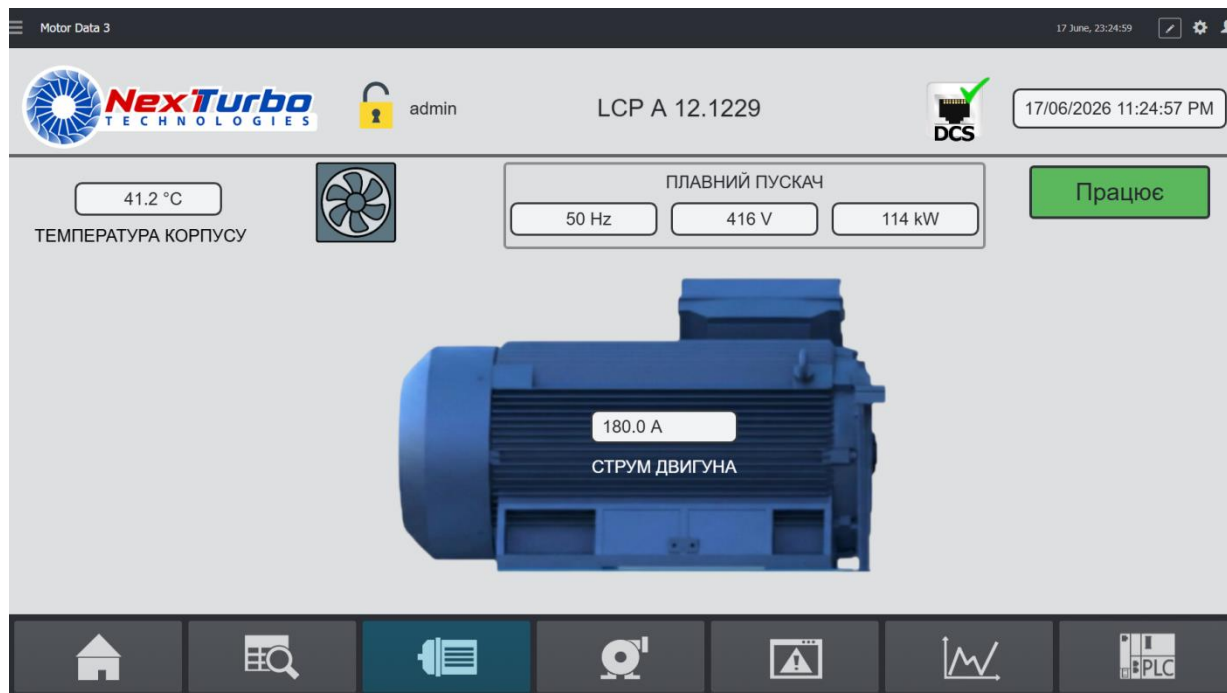


Рисунок 4.15 – Екран Motor Data 3: струм 180,0 А та параметри плавного пускача 50 Гц / 418 В / 115 кВт відображені безпосередньо на зображенні двигуна

Екран Mechanical data 4 (рис. 4.16) є показовим прикладом нестандартної мнемосхеми. Як фон використано фотографічний 3D-розріз моделі внутрішньої механіки повітрорудувки з каталогу виробника. Поверх нього стрілками й виносками прив'язано реальні значення температури мастила, температури підшипників, тиску мастила та вібрації. Такий підхід підвищує наочність і допомагає оператору швидко співвіднести вимірюваний параметр із фізичним вузлом агрегату.

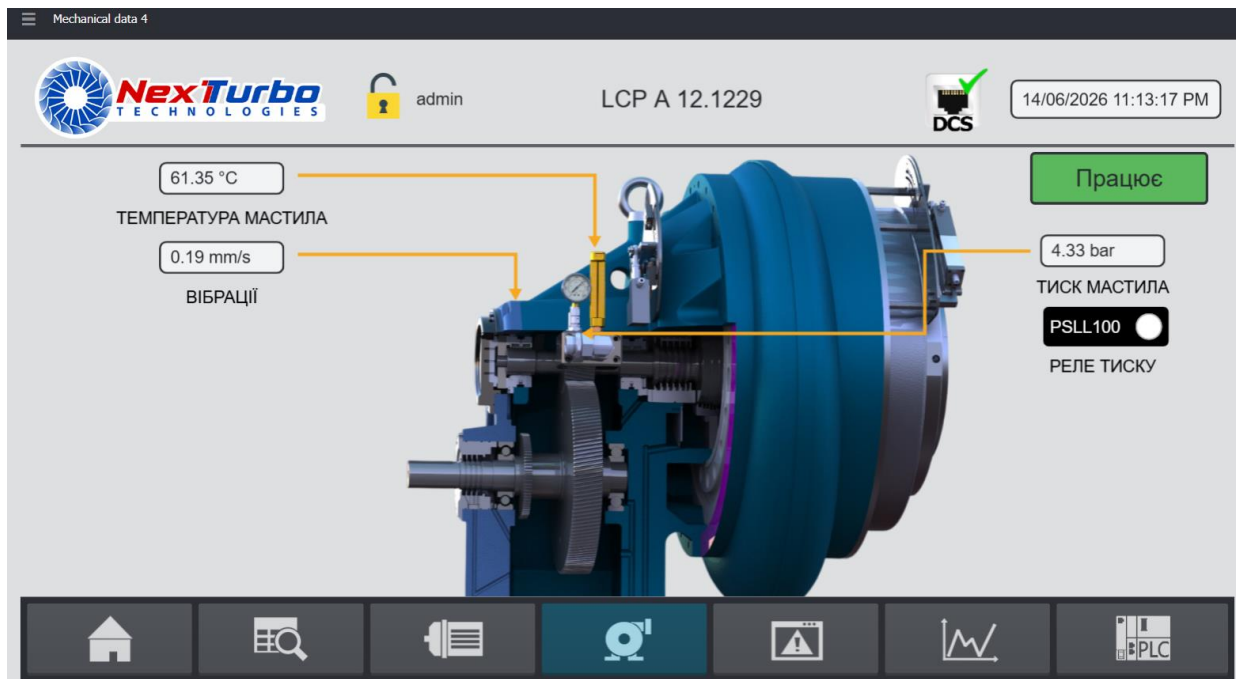


Рисунок 4.16 – Екран Mechanical data 4: 3D-фото механіки повітрорудувки як фон мнемосхеми з виносками реальних значень температури мастила, вібрації та тиску

Мнемосхема Compressor Alarms 5 (рисунок 4.17) є операторським журналом подій у вигляді таблиці Messages table зі стовпцями Date, User (автор квитування), Level (Warning / Alert) та Message. Таблиця автоматично заповнюється системою подій WebHMI, а оператор може переглядати активні та історичні повідомлення, підтверджувати їх і аналізувати причини спрацювання.



Рисунок 4.17 – Екран Compressor Alarms 5: таблиця журналу подій з датою, рівнем і текстом повідомлень, що автоматично формуються системою подій WebHMI

4.3.7 Диспетчерська панель Dashboard: P&ID, тренди та діагностика ПЛК

Поряд зі звичайними мнемосхемами WebHMI PRO підтримує Screens – складніший тип диспетчерських панелей, який дає змогу поєднувати на одному екрані кілька незалежних графічних блоків: P&ID-схеми, тренди, таблиці та діагностичні віджети. Для цього проєкту створено панель PID with graphics (рисунок 4.18), що об'єднує тренди, P&ID-схему повітродувки та поточні значення основних параметрів.

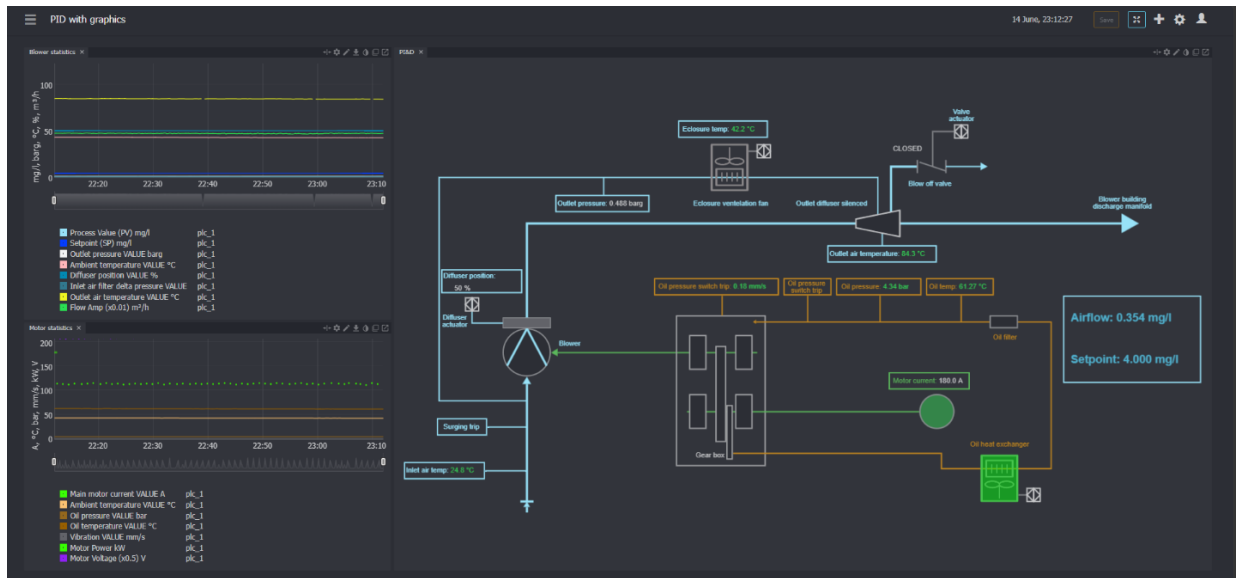


Рисунок 4.18 – Диспетчерська панель PID with graphics: ліворуч – тренди продуктивності, праворуч – P&ID-схема повітрорудвки з реальними значеннями параметрів у реальному часі

Перший блок, розташований ліворуч угорі, – тренд Blower statistics із такими серіями: Process Value (PV) – поточна концентрація розчиненого кисню, Setpoint (SP), Outlet pressure, Ambient temperature, Diffuser position та Inlet air filter delta pressure. На цьому графіку оператор бачить не лише поточний стан процесу, а й динаміку зміни параметрів у часі.

Третій блок – P&ID-схема у правій частині панелі (рис. 4.18), побудована в WebHMI PRO з використанням стандартних символів і числових полів реального часу: Enclosure temp: 42,2 °C, Outlet pressure: 0,488 barg, Diffuser position: 72,7 %, Vibration: 1,537 мм/с тощо. Завдяки цьому оператор може швидко оцінити стан повітрорудвки без відкриття додаткових екранів.

Тренд Performance Chart 6 (рисунок 4.19) відображає динаміку двох груп параметрів: на лівому графіку – витрату повітря у м³/год і відкриття дифузора у %, на правому – активну та номінальну потужність двигуна, а також напругу живлення. WebHMI PRO автоматично масштабує часову вісь, що дає змогу аналізувати як короточасні відхилення, так і довші тенденції.

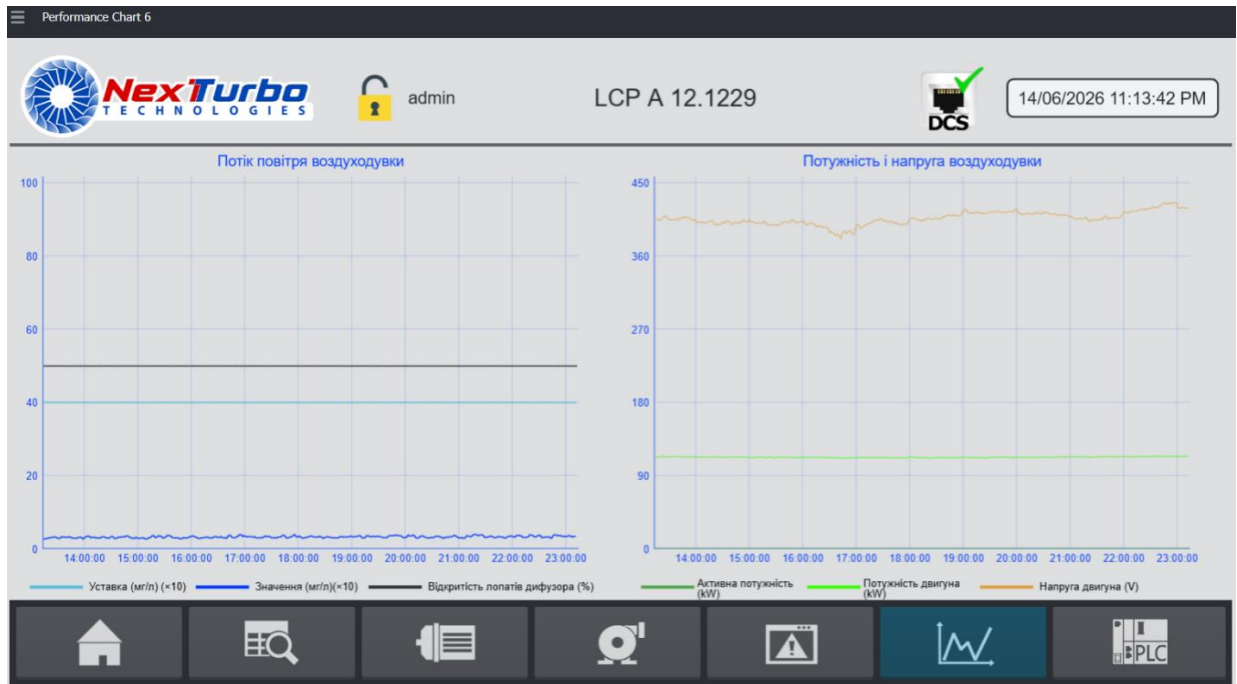


Рисунок 4.19 – Тренд Performance Chart 6: годинна динаміка витрати повітря/відкриття дифузора (ліворуч) та потужності/напруги двигуна (праворуч) з реальними даними виробничого об'єкта

Остання мнемосхема набору – PLC & HMI settings (рисунок 4.20) – є службовим екраном діагностики ПЛК. На ньому подано графічне зображення апаратної конфігурації контролера у шафі LCP та таблицю стану дискретних входів (%I0.0–%I1.7) у реальному часі. Такий екран дає змогу дистанційно перевірити стан сигналів без підключення TIA Portal.



Рисунок 4.20 – Службовий екран PLC & HMI settings: стан дискретних входів ПЛК LCP у реальному часі через браузер для дистанційної діагностики без TIA Portal

4.3.8 Суміжна задача: участь у розробці технічного завдання для системи обліку КП «Жовтоводський водоканал»

Паралельно з основною задачею налаштування WebHMI PRO виконувалася суміжна робота, у якій автор брав безпосередню участь як технічний консультант і комунікатор між сторонами. У комплексних промислових проєктах значна частина завдань пов'язана не тільки з налаштуванням обладнання, а й з узгодженням вимог між експлуатаційною службою, IT-підрозділом і розробниками програмного забезпечення.

Підприємство-замовник має власну IT-службу, яка обслуговує облікову систему на базі хмарної MySQL-базы даних та клієнтського застосунку для Windows. До переліку необхідних даних належать поточна витрата повітря (ZIL-1000, м³/год), рівень розчиненого кисню, споживана потужність, мотогодини, аварійні стани, а також підсумкові значення за годину, тиждень і місяць.

Участь автора охоплювала три напрями. По-перше, це технічне консультування: надання IT-службі документації на протокол S7 Comm та

структуру блоку DB2000, формування переліку реєстрів WebHMI PRO, доступних для читання клієнтським застосунком. По-друге, це погодження форматів даних, одиниць вимірювання та періодичності опитування. По-третє, це перевірка відповідності реалізованого обміну вимогам технологічного персоналу.

Результатом стала погоджена структура бази даних: таблиця vd для поточних даних, що повністю оновлюється при кожному зчитуванні з інтервалом 5–10 секунд, та таблиця vd_bill для погодинних підсумків, які додаються за допомогою INSERT один раз на годину і зберігаються безстроково.

Висновки по розділу 4

У четвертому розділі описано практичну реалізацію диспетчерської системи для повітродувного агрегату Next Turbo GTH-T50XY з використанням інтеграційного контролера WebHMI PRO. Проєкт є комерційним впровадженням на реальному об'єкті каналізаційних очисних споруд і демонструє завершений шлях від аналізу технічного завдання до створення веб-орієнтованого інтерфейсу оператора.

Отримано та підтверджено на практиці такі результати:

- реалізовано й введено у промислову експлуатацію веб-орієнтований диспетчерський інтерфейс, що містить 7 мнемосхем і диспетчерську панель з R&ID та доступний з будь-якого браузера без встановлення клієнтського програмного забезпечення;
- налаштовано систему з 18 подій із підтвердженням, кольоровою індикацією за трьома рівнями (норма/попередження/аварія) та SMS-сповіщеннями для критичних станів;
- розроблено й налагоджено близько 20 Lua-скриптів, які реалізують гістерезисну логіку порогових станів, агреговані стани виконавчих механізмів і watchdog-контроль з'єднання;

– верифіковано наскрізний ланцюг «польовий датчик → ПЛК DB2000 → WebHMI PRO (S7 Comm TCP, 10.10.0.50) → браузер оператора → хмарний архів → MySQL клієнта»;

– автор брав безпосередню участь у формуванні ТЗ суміжної задачі обліку, виконуючи функції технічного консультанта та комунікатора між сторонами проєкту.

Важливим методологічним висновком є ефективність підходу «підключи та працюй». Завдяки попередній стендовій підготовці конфігурації WebHMI PRO та заздалегідь задокументованому виробником інтерфейсу DB2000 вдалося скоротити тривалість робіт на майданчику до мінімуму, зменшити ризик помилок під час пусконаладження та швидко підготувати систему до промислової експлуатації.

5 ОХОРОНА ПРАЦІ ТА БЕЗПЕКА ЖИТТЄДІЯЛЬНОСТІ

5.1 Організаційно-правові основи забезпечення безпеки праці

Охорона праці в системах промислової автоматизації має не допоміжне, а безпосередньо виробниче значення. Вона спрямована на те, щоб працівник міг виконувати свої обов'язки без надмірного ризику для життя і здоров'я, а технічні засоби керування не створювали додаткових небезпечних ситуацій. Для оператора розподіленої системи керування це особливо важливо, оскільки його робота пов'язана з постійним спостереженням за параметрами процесу, прийняттям оперативних рішень, використанням комп'ютерної техніки, мережевого обладнання, засобів зв'язку та елементів електроживлення.

Законодавча база України у сфері охорони праці визначає загальні права працівників на безпечні умови праці, обов'язки роботодавця щодо організації безпечного виробничого середовища, проведення інструктажів, навчання, медичних оглядів, розслідування нещасних випадків та створення системи управління охороною праці [21]. Для об'єкта, що розглядається у випускній кваліфікаційній роботі, важливими є також норми цивільного захисту, оскільки сучасне підприємство повинно бути готовим не тільки до виробничих аварій, а й до пожеж, відключення електроживлення, повітряної тривоги та інших надзвичайних ситуацій [22].

Окрему групу вимог становлять правила, які стосуються роботи з екранними пристроями. Вони регламентують організацію робочого місця користувача комп'ютера, вимоги до обладнання, освітлення, режиму праці та відпочинку, а також зменшення зорового і нервово-емоційного напруження [23]. Для автоматизованих систем керування це має практичне значення, тому що оператор протягом зміни працює з моніторами, мнемосхемами, журналами подій, архівами параметрів і повідомленнями тривоги.

Безпека експлуатації технічної частини системи забезпечується дотриманням вимог електробезпеки, правил пожежної безпеки, норм улаштування електроустановок, а також підтриманням допустимих

параметрів мікроклімату, освітлення та шуму в приміщенні [24]. У випадку з контролером WebНМІ необхідно враховувати, що система поєднує функції локального диспетчерського пункту, веб-інтерфейсу оператора та промислового комунікаційного вузла. WebНМІ використовується як SCADA-система з вбудованим веб-сервером, що дає змогу здійснювати моніторинг і керування засобами автоматизації через локальну мережу або мережі інтернет [31].

Організаційно-правове забезпечення охорони праці на такому об'єкті повинно включати призначення відповідальних осіб, інструктаж персоналу, допуск до роботи з електрообладнанням лише підготовлених працівників, ведення документації з охорони праці, перевірку стану робочих місць, контроль за справністю засобів пожежогасіння та резервного живлення. Доцільно також використовувати підхід, закладений у системах управління безпекою праці, коли небезпеки не тільки фіксуються після події, а завчасно виявляються, оцінюються та усуваються на стадії проєктування й експлуатації [31].

5.2 Характеристика об'єкта та виявлення потенційних небезпек

Об'єктом аналізу є робоче місце оператора розподіленої системи керування технологічними процесами на базі контролера WebНМІ. Такий об'єкт можна розглядати як частину диспетчерського пункту або операторської кімнати, з якої здійснюється контроль параметрів технологічного процесу, перегляд стану обладнання, оброблення аварійних повідомлень, формування команд керування та аналіз архівних даних.

Приміщення оператора, як правило, є закритим виробничо-адміністративним приміщенням з робочим столом, кріслом, персональним комп'ютером або ноутбуком, одним чи кількома моніторами, мережевим обладнанням, джерелом безперебійного живлення, шафою автоматики або локальним комутаційним щитом. У шафі можуть розміщуватися контролер WebНМІ, комутатори Ethernet, блоки живлення 24 В, клемні з'єднання, захисні автомати та інтерфейсні перетворювачі. Оператор зазвичай не

виконує ремонтних робіт усередині шафи, однак може мати доступ до пульта керування, елементів індикації, кнопок підтвердження аварій, комп'ютера та програмного інтерфейсу.

Основними завданнями оператора є спостереження за поточними значеннями технологічних параметрів, контроль справності датчиків і виконавчих механізмів, реагування на аварійні повідомлення, запуск або зупинка окремих режимів, ведення журналів подій та інформування відповідальних працівників про відхилення у роботі системи. Робота вимагає концентрації уваги, швидкого розпізнавання небезпечних станів, правильного трактування повідомлень SCADA/HMI та дотримання інструкцій.

З урахуванням класифікації небезпечних і шкідливих виробничих факторів, наведеної у методичних вказівках [20], для даного робочого місця найбільш характерними є фізичні, психофізіологічні та організаційні небезпеки (таблиця 5.1). Хімічні й біологічні фактори для операторської кімнати не є визначальними, але можуть з'являтися опосередковано, наприклад під час пожежі, задимлення або перебування персоналу в загальних виробничих приміщеннях.

Таблиця 5.1 – Виявлення потенційних небезпек стосовно робочого місця оператора системи WebHMI

№	Потенційна небезпека	Джерело небезпеки	Можливі наслідки
1	Ураження електричним струмом	Електрошафа, блоки живлення, мережеві фільтри, пошкоджені кабелі, відкриті клеми під час обслуговування	Електротравма, опіки, втрата працездатності, зупинка роботи системи
2	Пожежа або задимлення	Коротке замикання, перевантаження електричних кіл, несправність ДБЖ, перегрів обладнання, порушення правил експлуатації	Травмування людей, отруєння продуктами горіння, пошкодження обладнання, зупинка технологічного процесу
3	Недостатня або надмірна освітленість, відблиски на екрані	Неправильне розміщення моніторів, нерівномірне освітлення, яскраві світильники або вікна позаду оператора	Зорова втома, помилки сприйняття інформації, зниження уваги
4	Нервово-психічне перенапруження оператора	Тривала робота з екранними пристроями, велика кількість аварійних повідомлень, монотонність контролю, відповідальність за процес	Втома, уповільнення реакції, помилкові дії, професійне вигорання

5	Порушення мікроклімату в приміщенні	Недостатня вентиляція, перегрів комп'ютерного та мережевого обладнання, неефективне опалення або кондиціонування	Дискомфорт, зниження працездатності, погіршення самопочуття
6	Підвищений рівень шуму	Вентилятори, ДБЖ, серверне або комутаційне обладнання, шум з виробничої зони	Стомлення, подразнення, зниження концентрації уваги
7	Ергономічні недоліки робочого місця	Невідповідна висота стола і крісла, незручне розміщення клавіатури, миші, моніторів, відсутність підставок	Біль у спині та ший, перенапруження кистей, статичне навантаження
8	Помилкова команда або неправильне реагування на аварію	Незрозумілий інтерфейс WebNMI, невдала структура мнемосхем, схожі кнопки керування, відсутність підтвердження критичних команд	Небезпечний режим обладнання, аварійна зупинка, матеріальні втрати
9	Втрата зв'язку з віддаленими пристроями або некоректні дані	Несправність мережі Ethernet, відмова комутатора, помилки протоколів, обрив кабелю, збій живлення	Втрата контролю над параметрами, запізниле реагування, некоректні рішення оператора
10	Несанкціонований доступ до системи керування	Слабкі паролі, відсутність розмежування прав, відкритий віддалений доступ, незахищена мережа	Зміна налаштувань, зупинка обладнання, спотворення даних, аварійна ситуація
11	Травмування під час евакуації або переміщення у приміщенні	Захаращені проходи, кабелі на підлозі, погане освітлення шляхів евакуації, паніка	Падіння, забої, неможливість швидкої евакуації
12	Військова загроза або повітряна тривога	Ракетні та дроніві удари, вибухова хвиля, уламки, пошкодження інфраструктури, відключення електроенергії	Травмування або загибель людей, руйнування приміщення, аварійна зупинка процесу

Наведені небезпеки мають різну природу і різну ймовірність реалізації. Частина з них пов'язана безпосередньо з технічними засобами системи WebNMI, частина – з умовами праці оператора, а частина – із зовнішніми подіями, які не залежать від працівника, але повинні враховуватися під час організації безпечної роботи. Повністю усунути всі небезпеки неможливо, однак їхній вплив можна суттєво зменшити за рахунок правильного проєктування робочого місця, технічного захисту електрообладнання, чітких інструкцій, навчання персоналу, резервування живлення та зв'язку, а також організації дій під час аварійних ситуацій.

5.3 Дослідження ризику реалізації потенційних небезпек на об'єкті проектування та розробка заходів щодо їх попередження

5.3.1 Оцінювання ризику

Оцінювання ризику є послідовною процедурою, під час якої виявлені небезпеки аналізуються з погляду можливих наслідків та ймовірності їх реалізації. Мета такої оцінки полягає не лише у формальному визначенні рівня ризику, а й у виборі практичних заходів, які дають змогу зменшити ризик до прийняттого рівня. У методичних вказівках для цього запропоновано використовувати матрицю оцінювання ризиків та метод аналізування дерева відмов [20].

У цій роботі оцінювання виконано для п'яти найбільш суттєвих небезпек: ураження електричним струмом, пожежі в операторському приміщенні, нервово-психічного перенапруження оператора, помилкової команди керування та військової загрози. Для кожної небезпеки (таблиця 5.2) визначено категорію серйозності наслідків, рівень ймовірності та індекс ризику. Категорії прийнято за принципом: I – катастрофічна, II – критична, III – гранична, IV – незначна; рівні ймовірності: A – часто, B – можливо, C – випадково, D – віддалено, E – неймовірно.

Таблиця 5.2 – Матриця оцінювання ризиків для основних небезпек

№	Небезпека	Категорія серйозності	Рівень ймовірності	Індекс	Класифікація ризику
1	Ураження електричним струмом	II – критична	B – можлива	2B	неприпустимий
2	Пожежа або задимлення	II – критична	C – випадкова	2C	небажаний
3	Нервово-психічне перенапруження оператора	III – гранична	B – можлива	3B	небажаний
4	Помилкова команда керування	II – критична	C – випадкова	2C	небажаний
5	Військова загроза або повітряна тривога	I – катастрофічна	D – віддалена	1D	небажаний

Ризик ураження електричним струмом оцінено як неприпустимий до впровадження захисних заходів, оскільки наслідки можуть бути критичними,

а контакти з електрообладнанням можливі під час монтажу, налагодження або аварійного обслуговування. Для зменшення ризику необхідні заземлення, захисне відключення, закриті клема, маркування, блокування доступу до шафи та допуск до робіт тільки персоналу з відповідною групою з електробезпеки [25;26].

Ризик пожежі віднесено до небажаного. У звичайному режимі ймовірність пожежі не є високою, проте в електронних системах керування наявні джерела нагрівання, електроживлення, акумуляторні батареї ДБЖ та кабельні лінії. Тому пожежна безпека повинна забезпечуватися справним станом електромереж, недопущенням перевантажень, наявністю первинних засобів пожежогасіння, вільними евакуаційними шляхами і призначенням відповідальних осіб [24].

Нервово-психічне перенапруження оператора має граничний характер наслідків, але є достатньо ймовірним через тривалу роботу з екраном, монотонність контролю, велику кількість параметрів та відповідальність за прийняття рішень. Цей ризик зменшується шляхом ергономічного проєктування робочого місця, оптимального режиму праці та відпочинку, налаштування зрозумілих аварійних повідомлень і зменшення інформаційного перевантаження [23].

Помилкова команда керування належить до небезпек, характерних саме для автоматизованих систем. Її причиною можуть бути невдало спроектовані мнемосхеми, відсутність підтвердження критичних команд, схожі елементи інтерфейсу, недостатній рівень підготовки оператора або стресова ситуація. Для зменшення ризику необхідно передбачити розмежування прав доступу, журнали дій, підтвердження небезпечних команд, блокування взаємовиключних режимів і зрозумілу систему аварійної сигналізації.

Військова загроза має віддалену ймовірність у межах конкретної зміни, але потенційно катастрофічні наслідки. Тому для операторського пункту необхідно передбачити порядок дій під час повітряної тривоги, маршрути до укриття, резервне живлення, безпечне завершення або переведення процесу в

аварійно-безпечний стан, а також дублювання критичної інформації. Такі заходи узгоджуються із загальними вимогами цивільного захисту [22].

5.3.2 Аналіз окремих небезпечних подій методом дерева відмов

Для небезпек, що мають складну причинну структуру, доцільно застосувати спрощене дерево відмов. У текстовому вигляді воно показує, які поєднання причин можуть призвести до небажаної події. Такий підхід допомагає не обмежуватися одним очевидним джерелом небезпеки, а бачити сукупність технічних, організаційних і людських факторів.

Дерево відмов 1. Небезпечна подія (ураження оператора або наладчика електричним струмом):

- подія відбувається, якщо є доступ до струмоведучих частин та одночасно відсутній або несправний захист;
- доступ до струмоведучих частин можливий через відкриту шафу, пошкоджену ізоляцію, незафіксовані клеми або виконання робіт без зняття напруги;
- несправність захисту можлива через відсутність заземлення, невідповідний автоматичний вимикач, несправний пристрій захисного відключення або відсутність перевірки перед роботою;
- людський фактор посилює небезпеку у разі поспіху, відсутності інструктажу, роботи без засобів індивідуального захисту або допуску непідготовленого працівника.

Дерево відмов 2. Небезпечна подія (пожежа в операторському приміщенні):

- пожежа може виникнути за наявності джерела займання та горючого середовища;
- джерелом займання можуть бути коротке замикання, перегрів блока живлення, несправність ДБЖ, перевантаження подовжувачів або іскріння контактів;

- горюче середовище формується кабельною ізоляцією, паперовою документацією, пластиковими корпусами обладнання, меблями та пилом у зоні вентиляційних отворів;

- розвиток пожежі стає більш імовірним за відсутності вогнегасника, несправної сигналізації, заблокованих проходів або несвоєчасного відключення живлення;

Дерево відмов 3. Небезпечна подія (помилкова команда керування через інтерфейс WebHMI):

- подія може реалізуватися через помилку оператора або через недоліки програмно-технічної реалізації інтерфейсу;

- помилка оператора виникає у разі втоми, стресу, інформаційного перевантаження, недостатнього навчання або нечіткого регламенту дій;

- недоліки інтерфейсу включають схожість кнопок, недостатнє виділення аварійних станів, відсутність підтвердження небезпечних команд, незручне розташування елементів та слабке розмежування прав доступу;

- наслідки посилюються, якщо в системі відсутні програмні блокування, журналювання дій, резервний ручний режим або автоматичне переведення процесу в безпечний стан.

5.3.3 Заходи щодо зниження ризиків

Після оцінювання ризиків необхідно визначити конкретні організаційні, технічні та санітарно-гігієнічні заходи. Для об'єкта, що розглядається, найбільш ефективним є поєднання профілактики на рівні обладнання, правильної організації робочого місця та підготовки персоналу. Запропоновані заходи наведено у таблиці 5.3.

Таблиця 5.3 – Заходи щодо зниження ризиків

№	Небезпека	Запропонований захід	Очікуваний результат
1	Ураження електричним струмом	Використати захисне заземлення, автоматичні вимикачі, пристрої захисного відключення; закрити струмоведучі частини; промаркувати клеми; допускати до шафи тільки підготовлений персонал; виконувати роботи після зняття напруги	Зменшення ймовірності електротравм, підвищення безпеки обслуговування, локалізація аварій електроживлення
2	Пожежа або задимлення	Передбачити справні автоматичні вимикачі, не перевантажувати розетки, регулярно очищувати вентиляційні отвори, контролювати стан ДБЖ, забезпечити вогнегасник, план евакуації та вільні проходи	Зменшення ймовірності займання, швидке реагування на початковій стадії пожежі, безпечна евакуація персоналу
3	Недостатнє освітлення, відблиски	Розмістити монітори перпендикулярно до вікон, використовувати рівномірне комбіноване освітлення, уникати прямих відблисків, підтримувати нормативну освітленість робочої зони	Зниження зорової втоми, зменшення помилок сприйняття інформації, підвищення комфортності роботи
4	Нервово-психічне перенапруження	Запровадити регламентовані перерви, чергування видів роботи, зрозумілу структуру аварійних повідомлень, навчання діям у типових аваріях, обмеження кількості другорядних повідомлень	Підтримання працездатності оператора, скорочення кількості помилкових дій, зниження стресового навантаження
5	Порушення мікроклімату	Забезпечити вентиляцію або кондиціювання, не розміщувати обладнання біля джерел тепла, контролювати температуру і вологість, не закривати вентиляційні канали пристроїв	Підтримання комфортних умов праці, стабільна робота електроніки, зниження втоми персоналу
6	Ергономічні недоліки	Використати регульоване крісло, розмістити верхній край монітора приблизно на рівні очей, забезпечити достатню відстань до екрана, зручне положення клавіатури і миші	Зменшення статичного навантаження, профілактика болю у спині, шиї та кистях
7	Помилкова команда керування	У WebНМІ передбачити підтвердження критичних команд, різні рівні доступу, блокування небезпечних режимів, зрозуміле кольорове кодування станів, журналювання дій оператора	Зменшення ймовірності помилкового керування, підвищення простежуваності дій, швидше виявлення причин інциденту
8	Втрата зв'язку або некоректні дані	Використати контроль обриву зв'язку, резервування критичних каналів, сигналізацію про втрату даних, локальні захисні алгоритми на нижньому рівні, регулярне	Збереження керованості процесу, своєчасне інформування оператора, зменшення наслідків відмови мережі

		резервне копіювання проєкту	
9	Несанкціонований доступ	Застосувати складні паролі, індивідуальні облікові записи, VPN для віддаленого доступу, обмеження прав користувачів, регулярне оновлення програмного забезпечення	Зниження ризику несанкціонованої зміни параметрів, захист технологічних даних і команд керування
10	Військова загроза або повітряна тривога	Розробити інструкцію дій під час тривоги, визначити маршрут до укриття, передбачити безпечне зупинення або переведення процесу в черговий режим, забезпечити резервне живлення та зв'язок	Захист життя персоналу, скорочення часу реагування, зменшення наслідків аварійного припинення роботи системи

З урахуванням наведених заходів більшість ризиків може бути переведена з неприпустимого або небажаного рівня до прийняттого. При цьому важливо, щоб заходи не залишалися лише проєктними рекомендаціями. Вони повинні бути відображені в інструкціях з охорони праці, регламентах роботи оператора, схемах електроживлення, налаштуваннях WebNMI, планах евакуації та графіках технічного обслуговування.

Для робочого місця оператора доцільно додатково передбачити перевірку відображення аварійних повідомлень перед введенням системи в експлуатацію, періодичне резервне копіювання конфігурації WebNMI, навчання персоналу роботі з аварійними станами, перевірку справності ДБЖ і журналювання усіх критичних дій. Оскільки WebNMI може забезпечувати локальний або віддалений доступ до системи, питання кібербезпеки слід розглядати як складову виробничої безпеки, а не як окрему другорядну задачу.

Висновки до розділу 5

У розділі розглянуто питання охорони праці та безпеки життєдіяльності для робочого місця оператора розподіленої системи керування технологічними процесами на базі контролера WebNMI. Коротко охарактеризовано організаційно-правові основи забезпечення безпеки праці, зокрема роль законодавчих вимог, правил електробезпеки, пожежної безпеки,

норм роботи з екранними пристроями та підходів до управління професійними ризиками.

Під час аналізу об'єкта встановлено, що основними джерелами небезпеки є електрообладнання шафи керування, комп'ютерна техніка, мережеві пристрої, умови освітлення та мікроклімату, інформаційне навантаження на оператора, можливість помилкових команд, відмова зв'язку, несанкціонований доступ, пожежна небезпека та зовнішні загрози, зокрема повітряна тривога або інші надзвичайні ситуації.

Для п'яти найбільш суттєвих небезпек проведено оцінювання ризику з використанням матриці ризиків і спрощеного аналізу дерев відмов. Найвищу увагу потрібно приділити електробезпеці, пожежній безпеці, правильній організації інтерфейсу WebHMI, режиму роботи оператора та діям персоналу в умовах надзвичайних ситуацій.

Запропоновані заходи передбачають технічний захист електрообладнання, справні засоби пожежогасіння, ергономічне облаштування робочого місця, нормалізацію освітлення та мікроклімату, регламентовані перерви, резервування критичних елементів системи, розмежування прав доступу, журналювання дій оператора і розроблення чітких інструкцій на випадок аварій. Реалізація цих заходів дасть змогу зменшити рівень професійних ризиків, підвищити надійність роботи системи керування та забезпечити безпечні умови праці оператора.

ВИСНОВКИ

У дипломній роботі було розглянуто питання побудови розподілених систем керування технологічними процесами та виконано програмне налаштування інтеграційного контролера WebHMI PRO. У результаті виконання роботи досягнуто поставленої мети: обґрунтовано актуальність використання стендових досліджень, розроблено апаратну частину стенду, виконано його монтаж, підготовлено схеми підключень, налаштовано програмне середовище та розглянуто практичну реалізацію диспетчерської системи на базі WebHMI PRO.

У першому розділі було проаналізовано основні поняття, принципи та технічні засоби, пов'язані з побудовою розподілених систем керування технологічними процесами. Встановлено, що сучасна система автоматизації має багаторівневу структуру, у якій польові пристрої, модулі введення-виведення, програмовані контролери, промислові мережі, HMI/SCADA-засоби та засоби інтеграції даних повинні працювати як єдиний комплекс. Показано, що ефективність таких систем залежить від правильної декомпозиції функцій, надійного мережевого обміну, чіткої адресації, документованості та наявності діагностичних засобів.

У другому розділі було обґрунтовано необхідність створення лабораторного стенду як засобу практичної перевірки й вивчення розподілених систем керування. Визначено вимоги до апаратної частини, зокрема до електробезпеки, наочності, модульності, можливості багаторазової комутації, підключення дискретних і аналогових сигналів, використання промислової шини RS-485 та подальшого розширення функціональних можливостей. Розроблено конструкцію стенду на основі алюмінієвого профілю, виконано монтаж каркаса, DIN-рейок, кабельних каналів, апаратури захисту, інтеграційного контролера WebHMI PRO, модулів ОВЕН МК110-220.4ДН.4Р, МВ110-220.8АС, МУ110-6У, перетворювача інтерфейсів AQteck AC4, органів керування та сигнальної арматури.

Під час виконання електромонтажних робіт було забезпечено розділення кіл живлення, підключення низьковольтних і силових елементів, маркування провідників, використання клемних колодок та перевірку правильності з'єднань. Розроблені електричні схеми відображають підключення пристроїв по мережі RS-485, дискретних входів і виходів, аналогових каналів та виконавчих елементів. Це забезпечує можливість подальшого налагодження, діагностики та використання стенду для проведення лабораторно-практичних робіт.

У третьому розділі головну увагу приділено програмному налаштуванню контролера WebHMI PRO. Було описано програмне середовище WebHMI, яке працює як локальний веб-сервер і дозволяє виконувати розробку, конфігурування та створення графічних інтерфейсів через веб-браузер. У системі створено карту внутрішніх реєстрів і тегів, налаштовано обмін даними між WebHMI PRO та модулями ОВЕН через Modbus RTU по шині RS-485, задано адреси модулів, періоди опитування, типи реєстрів і канали керування. Розроблено HMI-мнемосхему для дистанційного моніторингу та керування стендом, а також виконано налаштування мережевих параметрів і конфігурацію периферійних модулів введення-виведення.

У четвертому розділі показано практичне застосування WebHMI PRO для реалізації диспетчерської системи на реальному промисловому об'єкті. Розроблено веб-орієнтований диспетчерський інтерфейс для повітродувного агрегату Next Turbo GTH-T50XY, виконано налаштування мережевого підключення WebHMI PRO зі штатним контролером Local Control Panel, прив'язування реєстрів до блоку даних DB2000, створення внутрішніх розрахункових реєстрів, розробку Lua-скриптів автоматизації, систему подій і аварійних повідомлень, мнемосхеми оператора, диспетчерську панель Dashboard, P&ID-відображення, тренди та елементи діагностики.

Практичним результатом роботи є створення апаратно-програмної основи для дослідження розподілених систем керування. Розроблений стенд

дозволяє відпрацьовувати підключення технічних засобів автоматизації, налаштування промислової мережі, створення тегів, опитування модулів, оброблення дискретних і аналогових сигналів, формування НМІ-інтерфейсу та перевірку взаємодії між нижнім і верхнім рівнями системи. Реалізована диспетчерська система підтверджує, що WebНМІ PRO може ефективно виконувати функції шлюзу протоколів, веб-сервера, засобу візуалізації, архівування, оброблення подій і дистанційного моніторингу.

Отже, виконана дипломна робота має практичну спрямованість і підтверджує доцільність використання WebНМІ PRO та модулів ОВЕН для побудови лабораторного стенду з вивчення розподілених систем керування технологічними процесами. Розроблені апаратні та програмні рішення можуть бути використані в освітньому процесі для формування навичок проєктування, монтажу, налаштування, програмування, диспетчеризації та діагностики сучасних систем промислової автоматизації.

ПЕРЕЛІК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. PLCOpen. IEC 61131-3: стандарт програмування промислових контролерів. URL: <https://www.plcopen.org/standards/logic/iec-61131-3/> (дата звернення: 12.06.2026).
2. PLCOpen. Logic: міжнародні підходи до програмування PLC. URL: <https://www.plcopen.org/standards/logic/> (дата звернення: 12.06.2026).
3. Siemens. SIMATIC S7-1200 Programmable Controller. System Manual. URL: <https://support.industry.siemens.com/cs/document/109977302/s7-1200-programmable-controller> (дата звернення: 12.06.2026).
4. AutomationDirect. PLC Handbook. URL: <https://cdn.automationdirect.com/static/eBooks/PLC%20Handbook.pdf> (дата звернення: 12.06.2026).
5. AVEVA. What is SCADA? Supervisory Control and Data Acquisition. URL: <https://www.aveva.com/en/solutions/operations/scada/what-is-scada/> (дата звернення: 12.06.2026).
6. NIST CSRC Glossary. Supervisory Control and Data Acquisition. URL: https://csrc.nist.gov/glossary/term/supervisory_control_and_data_acquisition (дата звернення: 12.06.2026).
7. OPC Foundation. What is OPC? URL: <https://opcfoundation.org/about/what-is-opc/> (дата звернення: 12.06.2026).
8. OPC Foundation. Unified Architecture – OPC UA. URL: <https://opcfoundation.org/about/opc-technologies/opc-ua/> (дата звернення: 12.06.2026).
9. OPC Foundation. OPC UA Online Reference. Security Model. URL: <https://reference.opcfoundation.org/Core/Part2/v104/docs/4.5> (дата звернення: 12.06.2026).
10. Modbus Organization. MODBUS Application Protocol Specification. URL: <https://www.modbus.org/file/secure/modbusprotocolspecification.pdf> (дата звернення: 12.06.2026).

11. ODVA. EtherNet/IP Technology Overview. URL: <https://www.odva.org/technology-standards/key-technologies/ethernet-ip/> (дата звернення: 12.06.2026).

12. PI North America. PROFINET Technology Overview. URL: <https://us.profinet.com/technology/profinet/> (дата звернення: 12.06.2026).

13. ISA. ISA-95 Standard: Enterprise-Control System Integration. URL: <https://www.isa.org/standards-and-publications/isa-standards/isa-95-standard> (дата звернення: 12.06.2026).

14. OPC Foundation. Common Object Model ISA-95 Levels. URL: <https://reference.opcfoundation.org/specs/OPC-10030/4> (дата звернення: 12.06.2026).

15. NIST. SP 800-82 Rev. 3: Guide to Operational Technology (OT) Security. URL: <https://csrc.nist.gov/pubs/sp/800/82/r3/final> (дата звернення: 12.06.2026).

16. ISA. ISA/IEC 62443 Series of Standards. URL: <https://www.isa.org/standards-and-publications/isa-standards/isa-iec-62443-series-of-standards> (дата звернення: 12.06.2026).

17. Data Acquisition Systems, Devices & Software. URL: <https://www.ni.com/en/shop/data-acquisition.html> (дата звернення: 12.06.2026).

18. IDC Technologies. Practical Distributed Control Systems for Engineers and Technicians: book extract. URL: https://www.idc-online.com/downloads/DD_IDCBookextract_R6.1.pdf (дата звернення: 12.06.2026).

19. IEC Webstore. IEC 62541-5:2020 OPC Unified Architecture – Information Model. URL: <https://webstore.iec.ch/en/publication/61114> (дата звернення: 12.06.2026).

20. Методичні вказівки до виконання розділу «Охорона праці» в дипломних роботах бакалаврів для студентів 4 курсу галузі знань 12 «Інформаційні технології» спеціальностей 122 «Комп'ютерні науки», 126 «Інформаційні системи та технології» та галузі знань 15 «Автоматизація та

приладобудування» спеціальності 151 «Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології» / уклад. В.В. Малишева. – Харків: ХНУМГ імені О.М. Бекетова, 2025. – 14 с.

21. Про охорону праці: Закон України від 14.10.1992 № 2694-ХІІ // База даних «Законодавство України» / Верховна Рада України. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/go/2694-12> (дата звернення: 16.06.2026).

22. Кодекс цивільного захисту України: Кодекс України від 02.10.2012 № 5403-VI // База даних «Законодавство України» / Верховна Рада України. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/go/5403-17> (дата звернення: 16.06.2026).

23. Про затвердження Вимог щодо безпеки та захисту здоров'я працівників під час роботи з екранними пристроями: наказ Мінсоцполітики України від 14.02.2018 № 207 // База даних «Законодавство України» / Верховна Рада України. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/go/z0508-18> (дата звернення: 16.06.2026).

24. Про затвердження Правил пожежної безпеки в Україні: наказ МВС України від 30.12.2014 № 1417 // База даних «Законодавство України» / Верховна Рада України. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/go/z0252-15> (дата звернення: 16.06.2026).

25. Про затвердження Правил безпечної експлуатації електроустановок споживачів: наказ Держнаглядохоронпраці України від 09.01.1998 № 4 // База даних «Законодавство України» / Верховна Рада України. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/go/z0093-98> (дата звернення: 16.06.2026).

26. Про затвердження Правил улаштування електроустановок: наказ Міненерговугілля України від 21.07.2017 № 476 // База даних «Законодавство України» / Верховна Рада України. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/go/v0476732-17> (дата звернення: 16.06.2026).

27. ДБН В.2.5-28:2018. Природне і штучне освітлення. – Київ: Мінрегіон України, 2018. – 137 с. URL: https://online.budstandart.com/ua/catalog/doc-page.html?id_doc=79885 (дата звернення: 16.06.2026).

28. ДСН 3.3.6.042-99. Санітарні норми мікроклімату виробничих приміщень. – Київ: МОЗ України, 1999. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/rada/show/va042282-99> (дата звернення: 16.06.2026).

29. ДСН 3.3.6.037-99. Санітарні норми виробничого шуму, ультразвуку та інфразвуку. – Київ: МОЗ України, 1999. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/rada/show/va037282-99> (дата звернення: 16.06.2026).

30. ДСТУ ISO 45001:2019. Системи управління охороною здоров'я та безпекою праці. Вимоги та настанови щодо застосування. – Київ: ДП «УкрНДНЦ», 2019. URL: https://zakon.isu.net.ua/sites/default/files/normdocs/dstu_iso_45001_2019.pdf (дата звернення: 16.06.2026).

31. WebНМІ = Web + НМІ // AMS. Автоматизація. URL: <https://www.ams.kharkiv.ua/web-hmi> (дата звернення: 16.06.2026).