

Харківський національний університет радіоелектроніки

Факультет _____ комп'ютерної інженерії та управління _____

Кафедра _____ електронних обчислювальних машин _____

Рівень вищої освіти _____ перший (бакалаврський) _____

Спеціальність _____ 123 «Комп'ютерна інженерія» _____
(код і повна назва)

Тип програми _____ освітньо-професійна _____
(освітньо-професійна або освітньо-наукова)

Освітня програма _____ Комп'ютерна інженерія _____
(повна назва)

ЗАТВЕРДЖУЮ:

Зав. кафедри _____
(підпис)

“ _____ ” _____ 20__ р.

ЗАВДАННЯ

НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ

здобувачеві _____ Іваницькому Руслану Олексійовичу _____
(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема роботи _____ Система управління навантажувальними роботами на базі ПЛК М340 _____

затверджена наказом по університету від “ 26 ” травня 2025 р. № 424 Ст

2. Термін подання здобувачем роботи до екзаменаційної комісії _____ 16 червня 2025 р.

3. Вхідні дані до роботи _____

1) ПЛК М340;

2) UNITY Pro;

3) Комп'ютер ОЗП 4Гб, , ПВ 512Гб, Процесор 3ГГц;

4) Джерело живлення +24В 3А;

5) Реле 24В 2А.

4. Перелік питань, що потрібно опрацювати у роботі _____

1) аналіз технічного завдання та поточного стану;

2) огляд рішень на ринку;

3) вибір технічних засобів;

4) розробка структурної схеми системи;

5) розробка алгоритму керування та ПЗ;

6) моделювання роботи системи.

5. Перелік графічного матеріалу із зазначенням креслеників, схем, плакатів, комп'ютерних ілюстрацій Слайд-презентація – 10 слайдів

6. Консультанти розділів роботи (заповнюється за наявності консультантів згідно з наказом, зазначеним у п.1)

Найменування розділу	Консультант (посада, прізвище, ім'я, по батькові)	Позначка консультанта про виконання розділу	
		підпис	дата

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№	Назва етапів роботи	Строк / терміни виконання етапів роботи	Примітка
	Аналіз проблеми та огляд існуючих рішень	1 тиждень	
	Вибір технології розробки та інструментальних засобів	1 тиждень	
	Вибір електронних компонентів	3 дні	
	Розробка структури системи	1 тиждень	
	Відлагодження програмних модулів	2 дні	
	Оформлення матеріалів кваліфікаційної роботи	1 тиждень	
	Подання кваліфікаційної роботи керівникові та її попередній захист	2 дні	
	Подання кваліфікаційної роботи на рецензування	1 тиждень	

Дата видачі завдання “ 26 ” травня 2025 р.

Здобувач


(підпис)

Керівник роботи

(підпис)

проф. Андрій КОВАЛЕНКО

(посада, власне ім'я, прізвище)

РЕФЕРАТ

Пояснювальна записка кваліфікаційної роботи: 46 с., 15 рис., 1 дод., 11 джерел.

МОДУЛЬ, ІНТЕРФЕЙС, ПРОГРАМА, СИСТЕМА, СИГНАЛ, КЕРУВАННЯ.

Метою кваліфікаційної роботи є розробка системи управління навантажувальними роботами задля забезпечення точного позиціонування вантажів, оптимізація часу транспортування, підвищення безпеки та зменшення людського фактора .

У ході виконання кваліфікаційної роботи було здійснено глибокий аналіз сучасних рішень у сфері автоматизації вантажних операцій. Проведено детальний огляд систем від провідних виробників (KUKA, ABB, FANUC, Siemens, Schneider Electric), з аналізом їхніх технічних характеристик, функціоналу та сфери застосування. На основі техніко-економічного порівняння та специфікацій об'єкта автоматизації обґрунтовано вибір програмованого логічного контролера Modicon M340. Розроблено структурну та функціональну схему майбутньої системи керування, яка включає основні компоненти: ПЛК, блок живлення, модуль введення/виведення, сенсорні пристрої та виконавчі механізми. Складено алгоритм керування повним циклом обробки вантажу, реалізований засобами Unity Pro XL із використанням мови FBD. Виконано моделювання роботи програми в середовищі емуляції, що дало змогу перевірити правильність логіки та адекватність реакції на вхідні сигнали.

ABSTRACT

Bachelor's thesis: 46 pages, 15 figures, 1 appendices, 11 sources.

MODULE, INTERFACE, PROGRAM, SYSTEM, SIGNAL, CONTROL.

The major goal of this thesis is to develop a control system for load-handling operations in order to ensure precise cargo positioning, optimize transportation time, enhance safety, and reduce the human factor.

During the course of the qualification work, an in-depth analysis of modern solutions in the field of cargo handling automation was conducted. A detailed review of systems from leading manufacturers (KUKA, ABB, FANUC, Siemens, Schneider Electric) was carried out, analyzing their technical characteristics, functionality, and areas of application. Based on a techno-economic comparison and the specifications of the automated object, the choice of the Modicon M340 programmable logic controller was justified. A structural and functional diagram of the future control system was developed, including the main components: PLC, power supply unit, input/output module, sensor devices, and actuators. A control algorithm for the complete cargo handling cycle was developed and implemented using Unity Pro XL with the FBD programming language. The program's operation was simulated in an emulation environment, allowing the verification of logic correctness and the adequacy of responses to input signals.

ЗМІСТ

СКОРОЧЕННЯ ТА УМОВНІ ПОЗНАКИ	7
ВСТУП	8
1 АНАЛІЗ ТЕХНІЧНОГО ЗАВДАННЯ ТА ПОТОЧНОГО СТАНУ	10
1.1. Загальна характеристика навантажувальних процесів у промисловості.....	10
1.2. Проблеми існуючих систем керування навантажувальними операціями	10
1.3. Необхідність оновлення та цифрової трансформації.....	11
1.4. Вибір платформи для реалізації.....	12
2 ОГЛЯД РІШЕНЬ НА РИНКУ	14
2.1. Роботизовані системи KUKA.....	14
2.2. Інтегровані рішення ABB	15
2.3. Роботи великої вантажопідйомності FANUC	16
2.4. Системи автоматизації Siemens	18
2.5. Модульні системи Schneider Electric.....	19
2.6. Порівняльний висновок.....	20
3 ВИБІР ТЕХНІЧНИХ ЗАСОБІВ	22
4 РОЗРОБКА СТРУКТУРНОЇ СХЕМИ СИСТЕМИ	25
5 РОЗРОБКА АЛГОРИТМУ КЕРУВАННЯ ТА ПЗ	28
5.1 Структура основного робочого циклу	28
5.2 Розробка програмного забезпечення.....	29
6 МОДЕЛЮВАННЯ РОБОТИ СИСТЕМИ.....	35
ВИСНОВКИ.....	37
ПЕРЕЛІК ДЖЕРЕЛ ПОСИЛАННЯ	39
ДОДАТОК А Графічний матеріал кваліфікаційної роботи.....	41

СКОРОЧЕННЯ ТА УМОВНІ ПОЗНАКИ

ПЛК – програмований логічний контролер

DC – direct current

ERP – enterprise resource planning

FBD – Function Block Diagram

HMI – human-machine interface

SCADA – supervisory control and data acquisition

TCP/IP – Transmission Control Protocol/Internet Protocol

USB – Universal Serial Bus

ВСТУП

Розвиток електроніки, комп'ютерної техніки та інформаційних технологій відкриває широкі можливості для автоматизації складних виробничих процесів на сучасних підприємствах. Особливе місце серед них займає автоматизація логістичних та вантажопереробних операцій, які є невід'ємною складовою промислового виробництва. В умовах зростання попиту на підвищення ефективності, точності та безпеки виконання вантажних операцій, усе більше підприємств орієнтуються на впровадження високотехнологічних рішень – зокрема систем керування на основі програмованих логічних контролерів (ПЛК).

Одним із найбільш перспективних напрямків є впровадження автоматизованих систем керування навантажувальними роботами, які дозволяють зменшити залежність від людського фактора, забезпечити сталість і повторюваність дій, знизити ризики травматизму та оптимізувати витрати на персонал. Такі системи актуальні для використання в логістичних центрах, на складах, виробничих підприємствах, в аграрному секторі, у морських і залізничних портах.

У контексті цифровізації промисловості, впровадження систем автоматизованого керування вантажопідйомними механізмами є не лише елементом технологічного оновлення, а й необхідною умовою для переходу до стандартів «Індустрії 4.0». Особливо важливими є такі системи для підприємств, які мають значні обсяги ручної праці, стикаються з потребою в роботі у три зміни або за екстремальних умов навколишнього середовища.

Україна має достатній науково-технічний потенціал для впровадження подібних технологій. На багатьох підприємствах уже відбувається поступова модернізація виробничих ліній, активне впровадження ПЛК, сенсорики, засобів автоматизованого контролю та візуалізації. Системи на базі ПЛК Modicon M340 від Schneider Electric показали себе як гнучкі, надійні та

масштабовані рішення для середнього та великого бізнесу. Вони забезпечують підтримку актуальних протоколів обміну (Modbus TCP/IP, CANopen), мають велику кількість модулів вводу/виводу, можуть працювати в агресивних умовах і при цьому залишаються зручними в розробці та обслуговуванні.

Однією з важливих технологічних задач на сучасному етапі є розробка системи керування навантажувальними роботами, яка б відповідала сучасним вимогам гнучкого виробництва, була сумісною з HMI та SCADA-системами, мала модульну архітектуру та підлягала масштабуванню. У межах дипломного проекту буде реалізована така система з використанням ПЛК Modicon M340, що дозволить забезпечити стабільне виконання транспортних операцій, підвищити ефективність роботи обладнання, знизити ризики аварій та втрат продукції.

Актуальність теми обумовлена глобальними тенденціями автоматизації, зростанням конкуренції на ринку, необхідністю оптимізації виробничих витрат, а також потребою у забезпеченні стабільної логістичної підтримки технологічних процесів. Розробка подібних систем є важливою складовою технічного переоснащення та підвищення конкурентоспроможності українських підприємств у різних галузях промисловості.

1 АНАЛІЗ ТЕХНІЧНОГО ЗАВДАННЯ ТА ПОТОЧНОГО СТАНУ

1.1. Загальна характеристика навантажувальних процесів у промисловості

Процеси навантаження та розвантаження матеріалів є ключовими етапами в технологічному ланцюгу більшості промислових підприємств. Вони супроводжують практично кожен виробничу або логістичну операцію – від транспортування сировини до пакування та відвантаження готової продукції. Ці операції мають повторюваний характер, здійснюються великою кількістю циклів і часто вимагають точного позиціонування вантажів.

Незважаючи на значний прогрес у сфері автоматизації, саме вантажообробка залишається сферою, де ще зберігається високий рівень ручної праці або частково механізованих рішень. Це призводить до суттєвих втрат часу, підвищених витрат на обслуговуючий персонал і зниження продуктивності обладнання.

1.2. Проблеми існуючих систем керування навантажувальними операціями

Аналіз реального стану справ на вітчизняних і зарубіжних підприємствах засвідчує, що значна частина логістичних процесів виконується за допомогою застарілих систем керування або без централізованої автоматизації взагалі. Це виражається у:

- низькому рівні автоматизації операцій;
- високій залежності від людського фактора, що створює додаткові ризики і непередбачуваність у роботі;
- відсутності інтеграції з іншими виробничими підсистемами (наприклад, ERP або SCADA);

- відсутності централізованого контролера або використанні обмежених мікроконтролерів з мінімальними можливостями налаштування;
- обмеженій кількості режимів роботи та відсутності адаптивної логіки керування;
- підвищених витратах часу на один цикл переміщення або обробки вантажу;
- збільшенні ймовірності виникнення аварійних ситуацій або порушень техніки безпеки.

1.3. Необхідність оновлення та цифрової трансформації

Сучасні умови ведення бізнесу, високий рівень конкуренції, зростання вартості енергоресурсів і потреба в зменшенні собівартості продукції висувають нові вимоги до ефективності виробничих процесів. Відповідно, автоматизація є не лише технічно доцільною, а й економічно виправданою.

Розробка сучасної системи керування повинна базуватись на таких принципах:

- повна автоматизація циклу обробки вантажу, включаючи захоплення, переміщення, позиціонування та розвантаження;
- гнучкий вибір режимів роботи, з можливістю перемикання між ручним та автоматичним управлінням залежно від ситуації;
- інтеграція з іншими рівнями керування підприємства, зокрема з системами візуалізації, обліку та планування (SCADA, ERP);
- можливість адаптації логіки, у разі зміни конфігурації обладнання, технології чи об'єктів керування;
- підтримка сучасних промислових протоколів зв'язку (наприклад, Modbus TCP/IP, Ethernet/IP);
- високий рівень безпеки обслуговуючого персоналу та надійність роботи обладнання у критичних режимах.

1.4. Вибір платформи для реалізації

Усі перелічені вимоги найкраще відповідають архітектурі на базі програмованого логічного контролера Modicon M340 від Schneider Electric. Цей контролер має високий рівень масштабованості, забезпечує багатий набір функцій для побудови логіки керування, легко інтегрується в промислові мережі та підтримує роботу з різноманітною периферією.

Використання ПЛК Modicon M340 дозволяє вирішити одночасно технічні, організаційні та економічні завдання, забезпечивши гнучкість, адаптивність та надійність майбутньої системи автоматизації вантажопереробки.

Процеси навантаження та розвантаження матеріалів є невід'ємною частиною діяльності більшості промислових підприємств. Незважаючи на широке розповсюдження автоматизованих систем у сфері виробництва, саме навантажувально-розвантажувальні операції часто залишаються частково механізованими або навіть ручними, що значно знижує загальну ефективність виробничих і логістичних ланцюгів.

Аналіз існуючих рішень показує, що значна частина підприємств досі покладається на застарілі системи керування, які не забезпечують належного рівня точності, гнучкості та адаптивності. У багатьох випадках відсутній зворотний зв'язок від сенсорних пристроїв, обмежена кількість режимів роботи, а програмування базується на жорсткій логіці без можливості адаптації до змін у процесі.

Основними проблемами, які спостерігаються у поточному стані систем навантаження, є:

- низький рівень автоматизації операцій;
- висока залежність від людського фактора;
- відсутність єдиного централізованого контролера;
- застарілі або неадаптивні системи керування;
- підвищені витрати часу на цикл обробки одиниці вантажу;

- ризики, пов'язані з небезпечними умовами праці.

У контексті поставлених завдань необхідно розробити систему, яка:

- забезпечує повний цикл автоматизації: від захоплення вантажу до його укладання;
- має можливість роботи в ручному й автоматичному режимах;
- підтримує інтеграцію з вищими рівнями керування (SCADA, ERP);
- використовує сучасні протоколи зв'язку та зворотного зв'язку від сенсорів;
- гарантує високу безпеку та енергоефективність;
- дозволяє легко змінювати конфігурацію та адаптувати логіку до нових умов.

Розробка такої системи на основі ПЛК Modicon M340 дозволяє повністю відповідати цим вимогам, оскільки вона забезпечує високу продуктивність, масштабованість, гнучкість та інтеграцію в цифрову екосистему підприємства.

2 ОГЛЯД РІШЕНЬ НА РИНКУ

Сучасний ринок систем автоматизації навантажувально-розвантажувальних процесів пропонує великий вибір рішень — від повноцінних роботизованих платформ до гнучких модульних систем на базі ПЛК. Кожне з таких рішень має свої технічні особливості, вартість реалізації, ступінь інтеграції з іншими системами та призначення для певного типу задач.

Нижче наведено докладний огляд п'яти найпоширеніших підходів до автоматизації, реалізованих провідними компаніями у сфері промислової робототехніки.

2.1. Роботизовані системи KUKA

Компанія KUKA є одним із лідерів у галузі індустріальної автоматизації та робототехніки. Вона пропонує повністю інтегровані рішення для палетування, маніпулювання та внутрішнього транспортування вантажів. Системи KUKA, наприклад KUKA KR QUANTEC PA (Рис. 2.1), відзначаються високою швидкістю обробки циклів, точністю позиціонування та підтримкою розширених функцій візуального контролю якості на основі машинного зору [1].

Вантажопідйомність: до 120 кг

Робочий радіус: понад 3 000 мм

Контролер: KUKA KRC4

Програмне середовище: KUKA.WorkVisual

Особливості: підтримка адаптивного палетування, інтеграція з камерами, можливість роботи в змінних умовах освітлення [1].



Рисунок 2.1 – KUKA KR QUANTEC PA

2.2. Інтегровані рішення ABB

Компанія ABB пропонує універсальні рішення для складських і виробничих операцій, які базуються на роботах серії IRB, наприклад ABB IRB 660 (Рис. 2.2). Такі рішення характеризуються адаптивністю до змін технологічного середовища, модульністю та високою повторюваністю дій [2].

Вантажопідйомність: до 250 кг

Контролер: IRC5 з програмним забезпеченням RobotStudio

Інтерфейс: підтримка інтерфейсів Profinet, EtherCAT, DeviceNet

Особливості: оптимізоване споживання енергії, інтеграція з транспортними системами та PLC [2].



Рисунок 2.2 – ABB IRB 660

2.3. Роботи великої вантажопідйомності FANUC

FANUC – всесвітньо відомий виробник промислових роботів, які використовуються для обробки важких вантажів, переважно у металургії, будівництві та хімічній промисловості. Серія M-410iC, наприклад FANUC M-410iC/185 (Рис. 2.3), призначена для автоматичного палетування та укладання продукції на піддони [3].



Рисунок 2.3 – FANUC M-410iC/185

Вантажопідйомність: до 185 кг

Контролер: R-30iB

Програмування: через iPendant Touch, підтримка блок-схем і Teach Mode

Інтеграція: сумісність з PROFIBUS, Ethernet/IP, Modbus

Переваги: надвисока надійність, можливість цілодобової роботи [3].

2.4. Системи автоматизації Siemens

Siemens реалізує гнучкі системи керування кранами, транспортерами, маніпуляторами на основі ПЛК серії SIMATIC S7-1500, наприклад SIMATIC S7-1516 (Рис. 2.4), та приводної техніки SINAMICS. Такі системи відзначаються високою гнучкістю конфігурації та глибокою інтеграцією в загальну IT-інфраструктуру підприємства [4].



Рисунок 2.4 – Контролер: SIMATIC S7-1516

Мова програмування: TIA Portal (LAD, SCL, FBD)

Особливості: гнучкий розподіл задач у CPU, розширена діагностика, віддалене оновлення ПЗ

Приводи: SINAMICS V20 або G120 для точного позиціонування
 Протоколи: OPC UA, PROFINET, MQTT – що дозволяє використовувати в рамках концепції Індустрія 4.0 [4].

2.5. Модульні системи Schneider Electric

Хоча у цьому проєкті використовується ПЛК Modicon M340, варто також розглянути альтернативне рішення — Modicon M241 (Рис. 2.5), який відзначається компактністю та універсальністю в середовищі машинобудування та логістики малого й середнього масштабу [5].



Рисунок 2.5 – контролер Modicon M241

Мови програмування: SoMachine, підтримка ST, FBD, LD, SFC

Особливості: вбудований Ethernet, CANopen, 2 порти серійного зв'язку,

підтримка до 44 розширень

Інтерфейси HMI: WebVisu, підтримка HTML5-сторінок

Призначення: компактні автоматизовані станції, лінії сортування, конвеєри, автоматизовані шафи [5].

2.6. Порівняльний висновок

Проведений огляд дозволяє зробити висновок, що комплексні рішення на базі роботизованих платформ (KUKA, ABB, FANUC) орієнтовані переважно на великі підприємства з високим рівнем автоматизації та значним бюджетом на впровадження. Вони забезпечують високу точність, адаптивність та підтримку передових функцій, проте потребують складного монтажу та тривалого налагодження.

Рішення від Siemens дозволяє реалізувати інтегровану логістику підприємства з глибокою аналітикою, що ідеально підходить для підприємств із високими вимогами до цифровізації [4].

Натомість Schneider Electric Modicon M241 виступає більш доступною альтернативою для проєктів середнього масштабу, де важлива компактність, гнучкість і сумісність з широким спектром периферії, включно з пневмо- та електромеханічними виконаннями [5].

Залежно від типу завдань, масштабів і бюджету підприємства, вибір між цими системами дозволяє досягти балансу між функціональністю, вартістю та простотою впровадження.

Сучасний ринок автоматизації пропонує широкий спектр рішень для реалізації завдань керування навантажувальними операціями. Це можуть бути як комплексні роботизовані комплекси, так і модульні системи на базі ПЛК, що легко адаптуються до вимог конкретного підприємства.

Порівняльний аналіз свідчить, що більшість рішень призначені для специфічних задач і вимагають значних інвестицій, особливо у випадках впровадження повноцінних роботизованих систем.

У той же час, рішення на основі Modicon M340 дозволяє побудувати доступну, відкриту та гнучку систему з можливістю поступового нарощення функціоналу.

Враховуючи наявність великої кількості сумісних модулів, підтримку галузевих стандартів, технічну документацію, приклади реалізації та інструменти емуляції – платформа Modicon M340 є доцільним вибором для проєктування системи автоматизації навантажувальних процесів.

3 ВИБІР ТЕХНІЧНИХ ЗАСОБІВ

Вибір технічних засобів є одним із ключових етапів проектування системи автоматизованого керування. Він ґрунтується на аналізі технічного завдання, специфіки об'єкта автоматизації, умов експлуатації, вимог до швидкодії, надійності, масштабованості та сумісності з іншими компонентами системи.

З урахуванням зазначених факторів було прийнято рішення реалізувати систему на базі програмованого логічного контролера Modicon M340 виробництва Schneider Electric, який забезпечує гнучку архітектуру, високу продуктивність та підтримку сучасних промислових стандартів.

Основні переваги контролера Modicon M340:

- підтримка широкого спектру протоколів обміну даними – Modbus TCP/IP, CANopen, Ethernet/IP;
- модульна конструкція, яка дозволяє адаптувати систему під конкретні потреби;
- простота програмування у середовищі Unity Pro;
- розширена діагностика та підтримка HMI/SCADA-рішень;
- сумісність з широким асортиментом модулів вводу/виводу [6].

Склад технічних засобів:

- центральний процесорний модуль BMX P34 2000 – основний обчислювальний блок, що реалізує логіку керування, обробку даних з сенсорів, формування команд на виконавчі механізми; має вбудовані порти Ethernet, USB, RS-485; підтримує багатозадачну обробку, вбудовану пам'ять до 1024 кБ з можливістю розширення [7].
- блок живлення BMX CPS 3500. Забезпечує живлення модулів системи стабілізованою напругою 24 В DC; має підвищену надійність, захисти від короткого замикання та перевантаження;

придатний до тривалої роботи в умовах промислового середовища [8].

- модуль дискретного вводу/виводу BMX DDM16025 – має 16 каналів (8 входів, 8 виходів) із номінальною напругою 24 В DC; забезпечує зчитування сигналів від кнопок, кінцевих вимикачів, фотоелементів, а також формування логічних команд на котушки реле або пускачі виконавчих механізмів [9].
- сенсори – включають фотоелектричні датчики (виявлення вантажу), кінцеві вимикачі (контроль положення), тензодатчики (контроль маси або навантаження); усі сенсори мають стандартні виходи типу NPN/PNP або аналогові (4–20 мА, 0–10 В).
- виконавчі пристрої – до складу виконавчого обладнання входять електродвигуни з частотним регулюванням, пневмоциліндри, електромагніти; вони забезпечують фізичне переміщення вантажу, його захоплення, та повернення системи в початкову позицію.
- комунікаційна інфраструктура – передбачає використання Ethernet-з'єднання для інтеграції з SCADA або MES-системами; також можлива реалізація зв'язку з іншими контролерами або датчиками через Modbus RTU або CANopen [10].

Економічні та організаційні переваги використання ПЛК M340:

- скорочення витрат на персонал – завдяки повній або частковій автоматизації процесів, відпадає потреба в постійній присутності операторів на дільницях завантаження/розвантаження, це особливо актуально для підприємств, що працюють у три зміни або в умовах підвищеного ризику (гарячі цехи, обмежені простори, отруйні речовини), автоматизація дозволяє або скоротити кількість працівників, або переорієнтувати їх на більш кваліфіковані завдання;
- зниження аварійності та підвищення безпеки – використання ПЛК з логікою самоконтролю, системами аварійного зупинення та

контролем доступу значно зменшує ризик виробничих травм, система виконує завдання з високою точністю і стабільністю, незалежно від людського фактору.

- підвищення продуктивності – автоматизована система не втомлюється, не потребує перерв, працює в постійному ритмі; це дає змогу суттєво знизити простой обладнання, підвищити швидкість обробки одиниці вантажу та забезпечити стабільну якість операцій упродовж усього виробничого циклу;
- покращення енергоефективності – завдяки впровадженним алгоритмам оптимізації робочого циклу, автоматичному переходу у режим очікування та використанню енергоощадного обладнання, система споживає мінімум енергії; це дозволяє зменшити експлуатаційні витрати та знизити навантаження на електромережу;
- масштабованість та гнучкість архітектури – обрана апаратна платформа дозволяє масштабувати систему шляхом додавання нових модулів вводу/виводу, підсистем, сенсорик або комунікацій без потреби повного оновлення ПЛК; це важливо у випадку розширення виробничих площ, впровадження нових продуктів або змін у логістичних маршрутах.

4 РОЗРОБКА СТРУКТУРНОЇ СХЕМИ СИСТЕМИ

На основі обраних технічних засобів було сформовано структурну схему автоматизованої системи керування навантажувальними роботами. Архітектура системи має модульну побудову, що дозволяє легко адаптувати її під різні конфігурації обладнання, а також масштабувати при необхідності без суттєвих змін у логіці керування.

Основні функціональні блоки системи:

- програмований логічний контролер (ПЛК) – BMX P34 2000; це центральний елемент системи, що виконує функції збору та обробки даних, логічного керування, обміну інформацією з іншими пристроями через вбудовані комунікаційні інтерфейси (Ethernet, USB, RS-485); ПЛК підтримує високошвидкісний обмін даними, можливість використання мови програмування IEC 61131-3 та інтеграцію в SCADA-системи [7];
- блок живлення BMX CPS 3500 – потужніший і більш універсальний модуль живлення у порівнянні з попередником (CPS 2000); забезпечує стабільне живлення 24 В DC із підвищеною надійністю для живлення як самого контролера, так і периферійних пристроїв; має вбудовані захисти від короткого замикання, перенапруги та перевантаження, що підвищує безпеку експлуатації; розрахований на промислову експлуатацію в складних умовах [8];
- модуль дискретного вводу/виводу BMX DDM16025 – призначений для підключення дискретних сигналів (наприклад, кінцевих вимикачів, кнопок, реле); має 8 дискретних входів та 8 дискретних виходів 24 В DC; використовується для реєстрації подій та формування керуючих команд на виконавчі механізми [9].

Сенсорика – може входити наступне обладнання:

- фотоелектричні датчики – для виявлення наявності об'єктів;

- кінцеві вимикачі – для визначення крайніх положень механізмів;
- тензодатчики – для контролю навантаження або ваги вантажу.

Виконавчі механізми. Залежно від завдань до системи можуть підключатися:

- електродвигуни – для переміщення кареток, підйому/опускання;
- пневмоциліндри – для фіксації, захоплення або позиціонування вантажу.

Комунікаційний інтерфейс Ethernet. Реалізований безпосередньо в CPU або через розширення. Здійснює обмін даними з SCADA-системами, ERP, обліковими системами. Підтримуються протоколи Modbus TCP/IP, Ethernet/IP та інші [10].

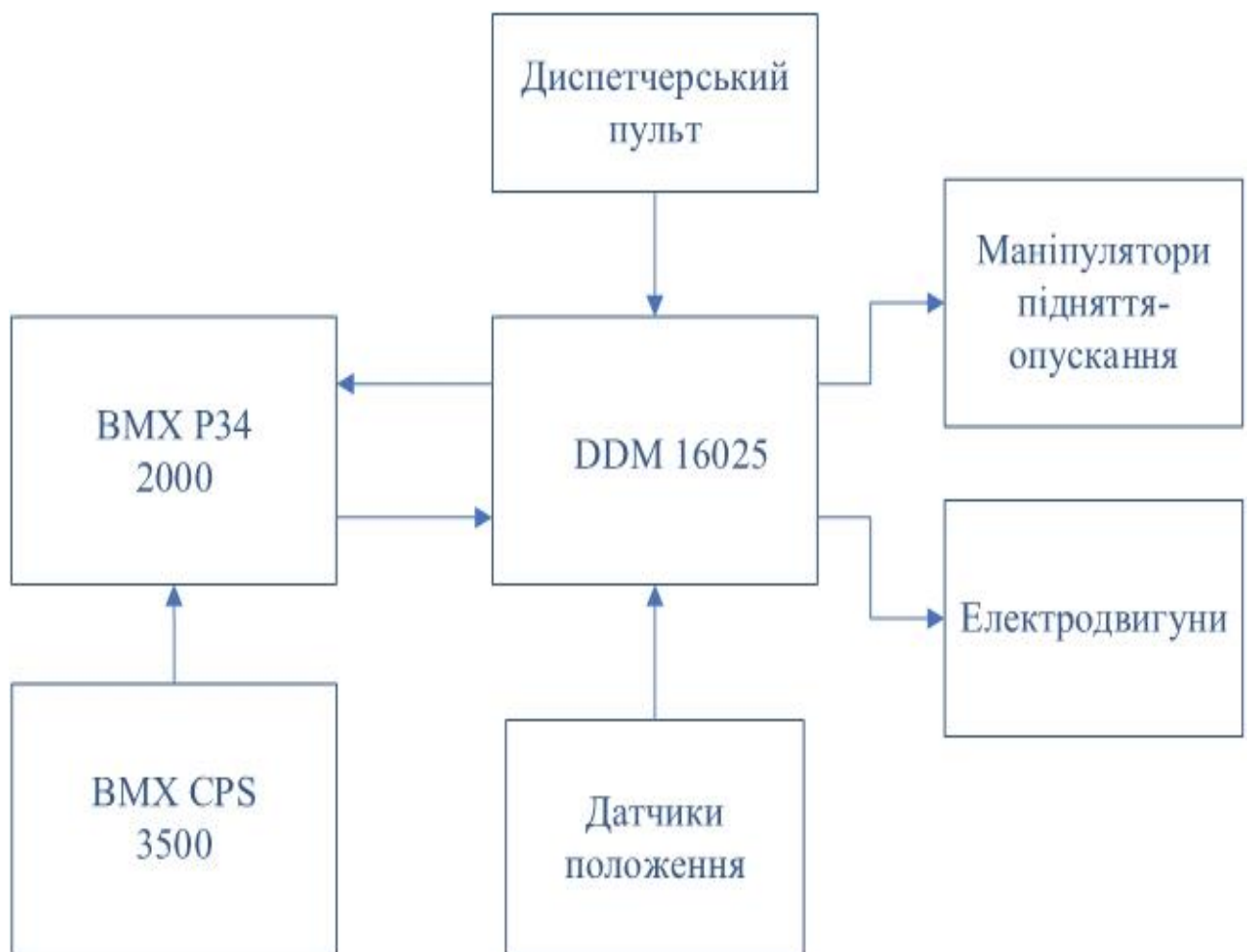


Рисунок 4.1 – загальна структурна схема

Взаємодія компонентів.

Інформація від сенсорів надходить на вхідні канали ПЛК, де відбувається обробка сигналів згідно з логікою, закладеною в програмному забезпеченні. Залежно від вхідних умов формуються вихідні сигнали, що керують виконавчими механізмами.

Схема має модульну архітектуру, що дозволяє у разі потреби додавати нові пристрої, змінювати алгоритм роботи або адаптувати систему під нові виробничі завдання з мінімальними витратами часу та ресурсів.

5 РОЗРОБКА АЛГОРИТМУ КЕРУВАННЯ ТА ПЗ

Програмне забезпечення для контролера Modicon M340 було розроблено у середовищі програмування Unity Pro XL v12 [11], що надає можливість використання таких мов програмування, як:

- FBD (Functional Block Diagram — мова функціональних блоків);
- LD (Ladder Diagram — релейна логіка);
- ST (Structured Text — структурований текст).

Дані мови дозволили створити гнучку, наочну й водночас формалізовану логіку роботи автоматизованої системи, що відповідає сучасним промисловим стандартам.

5.1 Структура основного робочого циклу

Алгоритм керування було реалізовано у вигляді поетапного циклу, кожен крок якого обробляється відповідним функціональним блоком.

Основні етапи роботи системи.

Ініціалізація системи:

- перевірка зв'язку з усіма сенсорними та виконавчими пристроями;
- встановлення початкових значень у регістрах.

Очікування команди запуску:

- система перебуває у «пасивному» стані до надходження сигналу «Пуск».

Захоплення вантажу:

- активація механізму захоплення (електромагніт).

Переміщення вантажу:

- запуск виконавчого механізму переміщення;
- формування логічних затримок/таймерів для стабілізації руху.

Розвантаження і повернення у початкову точку:

- опускання вантажу на задану позицію;
- повернення маніпулятора у вихідну точку.

5.2 Розробка програмного забезпечення

Перед початком написання програмного забезпечення необхідно створити та правильно налаштувати проєкт.

Для створення нового проєкту необхідно натиснути на піктограму «New Project» у лівому верхньому куті (Рис. 5.1).

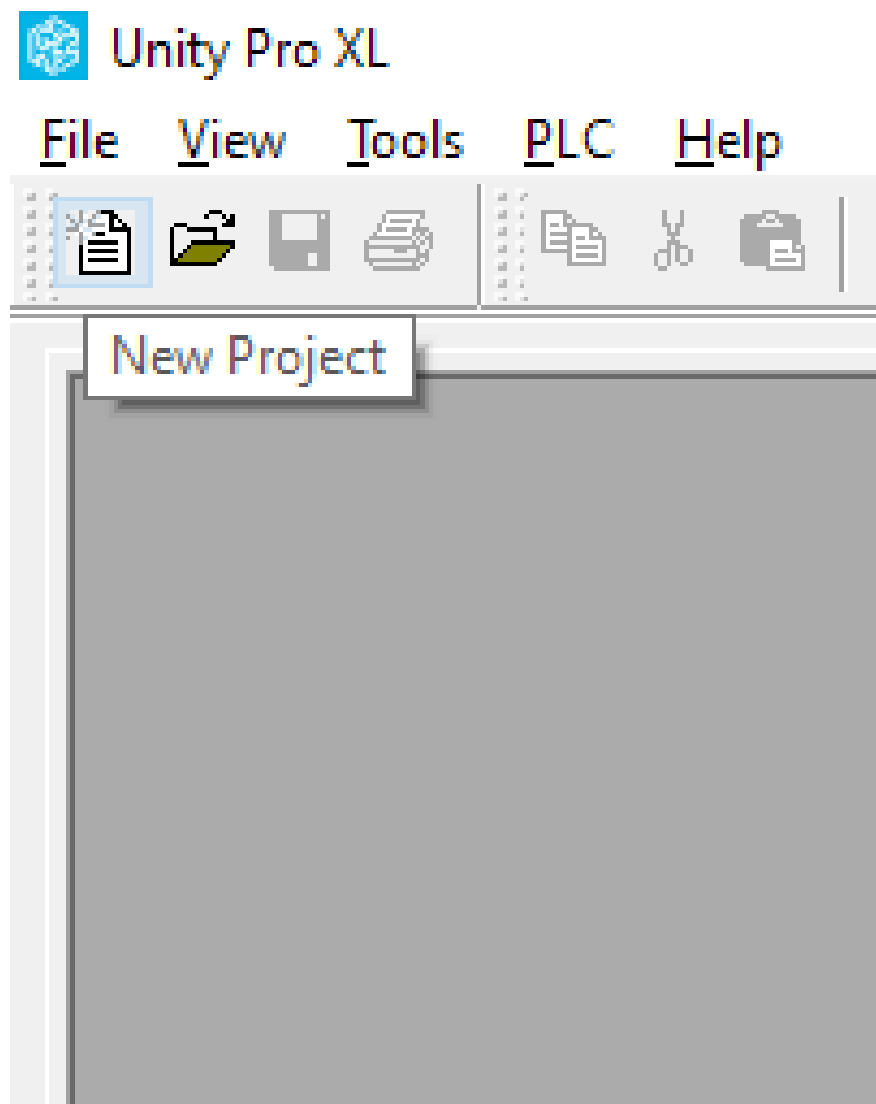


Рисунок 5.1 – піктограма «New Project»

Після чого з'явиться вікно вибору мікроконтролера (Рис. 5.2).

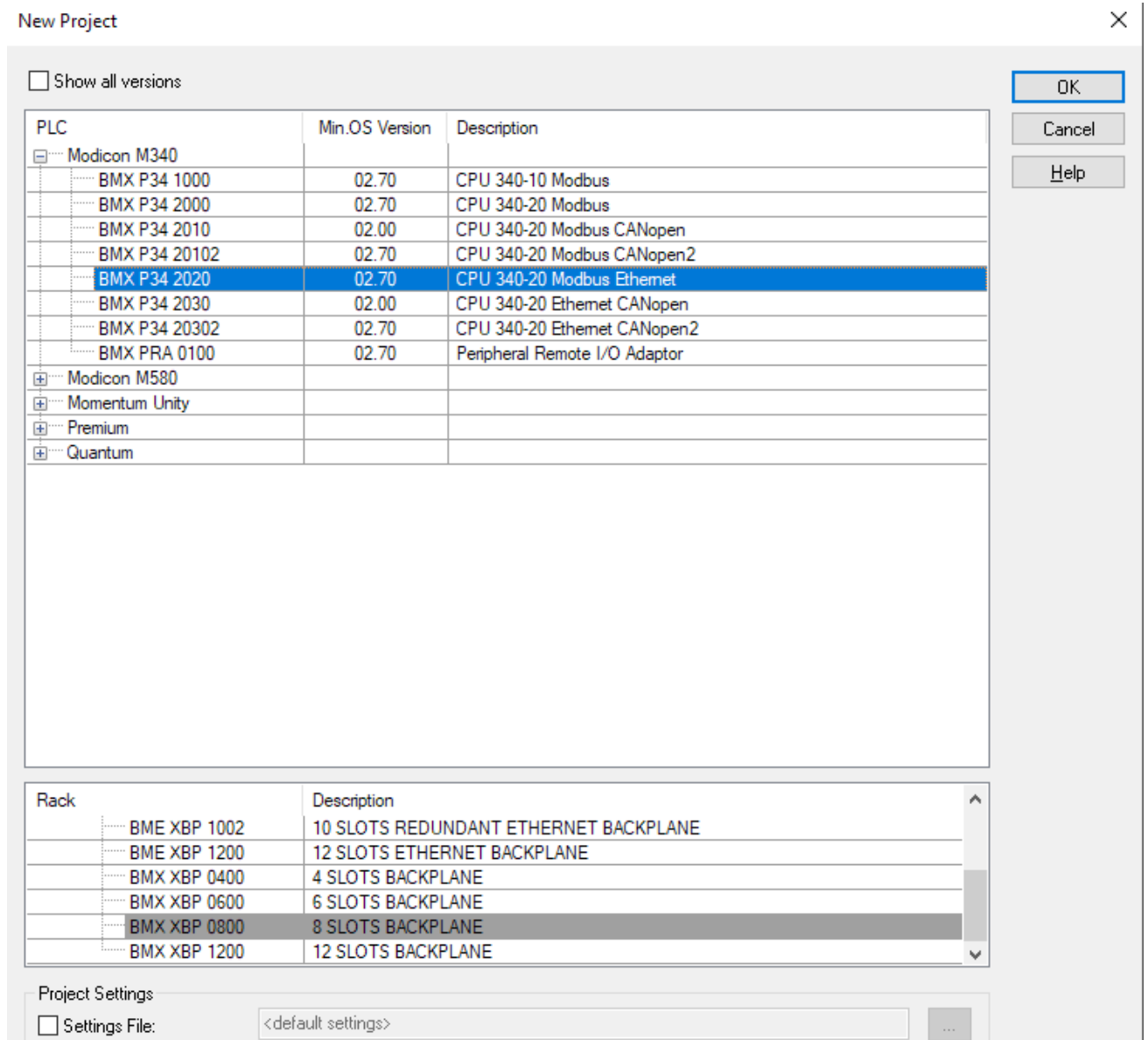


Рисунок 5.2 – вікно вибору мікроконтролера

Для виконання роботи було обрано BMX P34 2000. Після підтвердження вибору мікроконтролера з'явиться вікно «Project Browser» (Рис. 5.3).

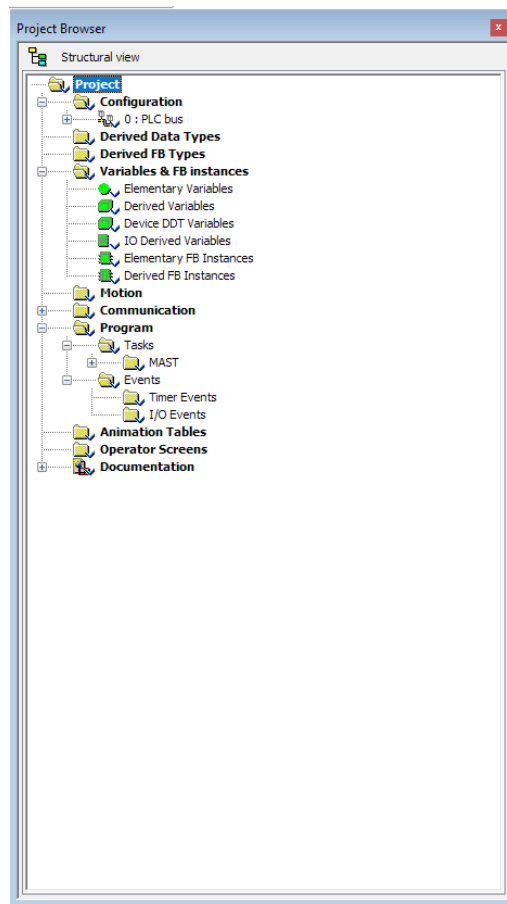


Рисунок 5.3 – вікно «Project Browser»

Далі необхідно налаштувати необхідні модулі. Для цього у вікні «Project Browser» відкрити «Configuration», з'являться вікна «Hardware Catalog» та «PLC bus» (Рис. 5.4). Які дозволяють обирати необхідні модулі.

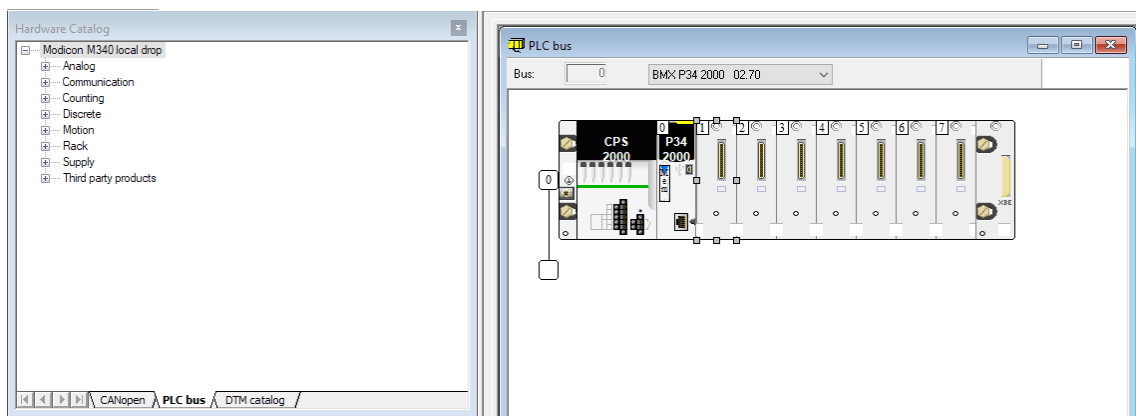


Рисунок 5.4 – вікна «Hardware Catalog» та «PLC bus»

Тепер необхідно замінити в конфігурації блок живлення. Для цього необхідно із поточної конфігурації видалити стандартний блок живлення виділивши його та натиснувши клавішу «Delete» або через контекстне меню модуля (Рис. 5.5), яке відкривається по натисканню правої кнопки миші.

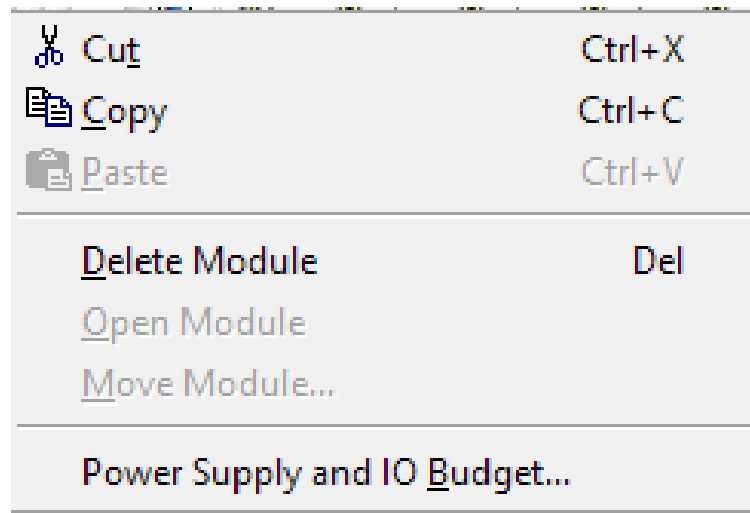


Рисунок 5.5 – контекстне меню модуля

Після видалення стандартного блоку живлення необхідно встановити BMX CPS 3500. Зробити це можна перетягнувши цей модуль з вікна «Hardware Catalog» з розділу «Supply»; або при подвійному натисканні лівою кнопкою миші на порожньому місці модуля блока живлення, відкриється вікно вибору блока живлення (Рис. 5.6).

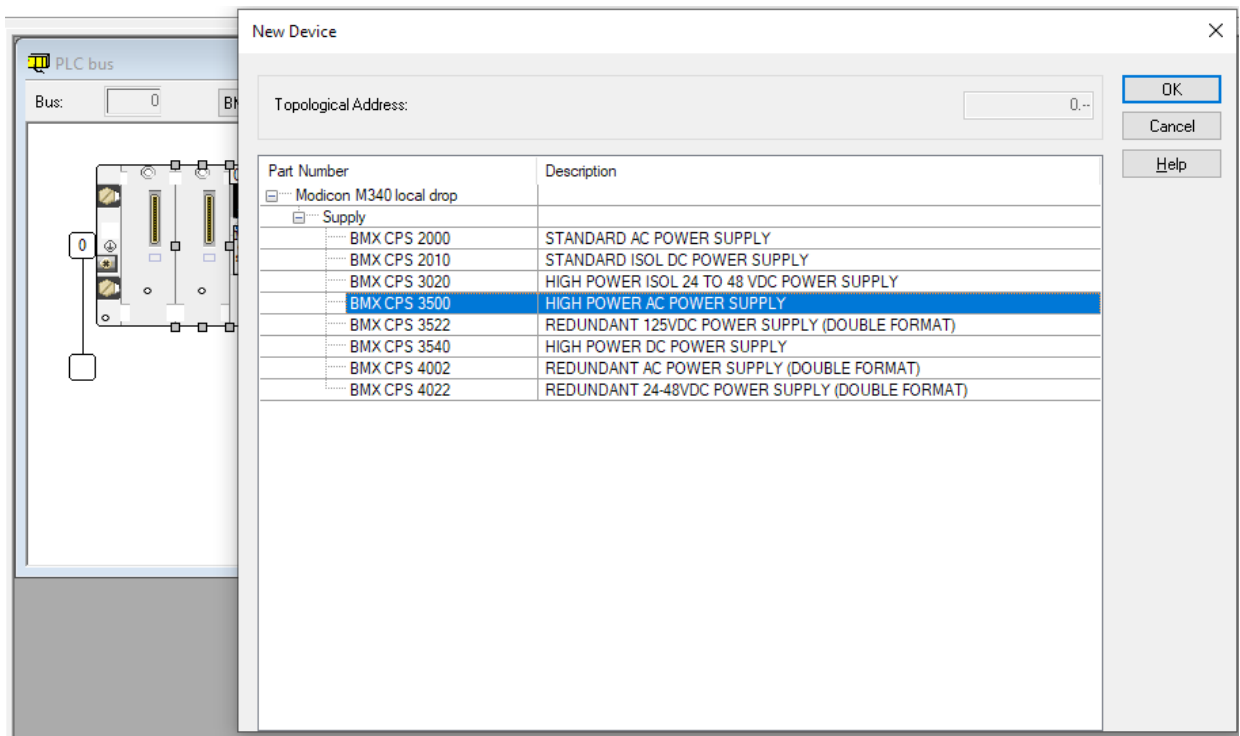


Рисунок 5.6 – вікно вибору блока живлення

Після встановлення блока живлення необхідно додати дискретний модуль який дозволить отримувати та подавати сигнали. Цим модулем буде BMX DDM 16025. Встановити його можна аналогічно до модуля блока живлення, необхідний модуль знаходиться у розділі «Discrete» (Рис. 5.7).

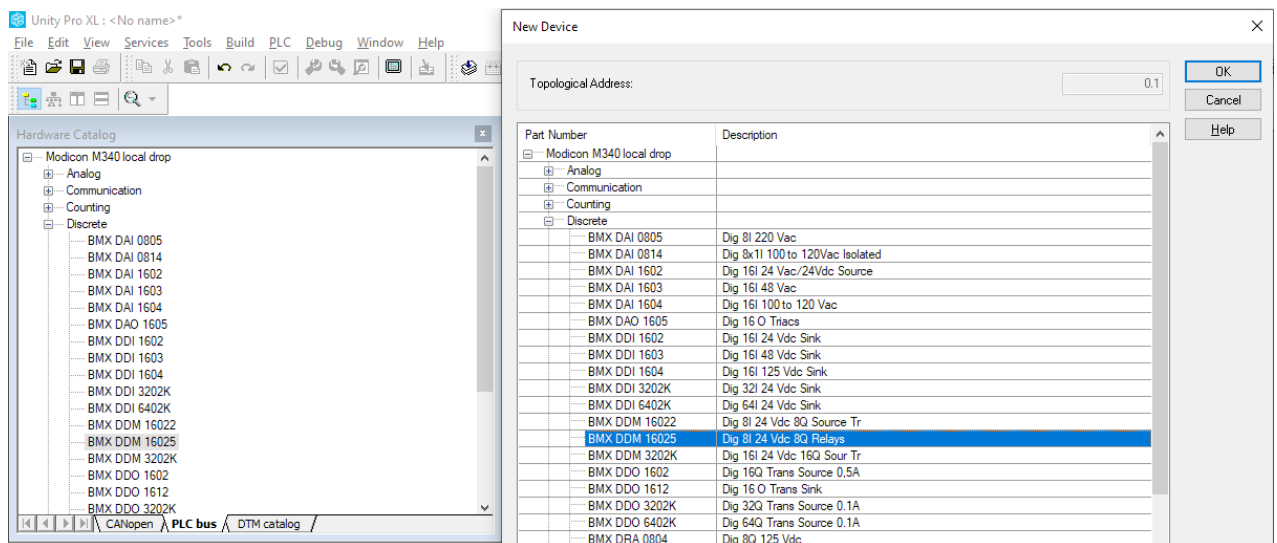


Рисунок 5.7 – місцезнаходження модуля BMX DDM 16025

Після завершення конфігурації проекту було розроблено програму керування механізмами (Рис. 5.8) за допомогою FBD, який повинен брати груз, перевозити його у іншу точку та розгружатися, після чого повертатися у вихідне положення.

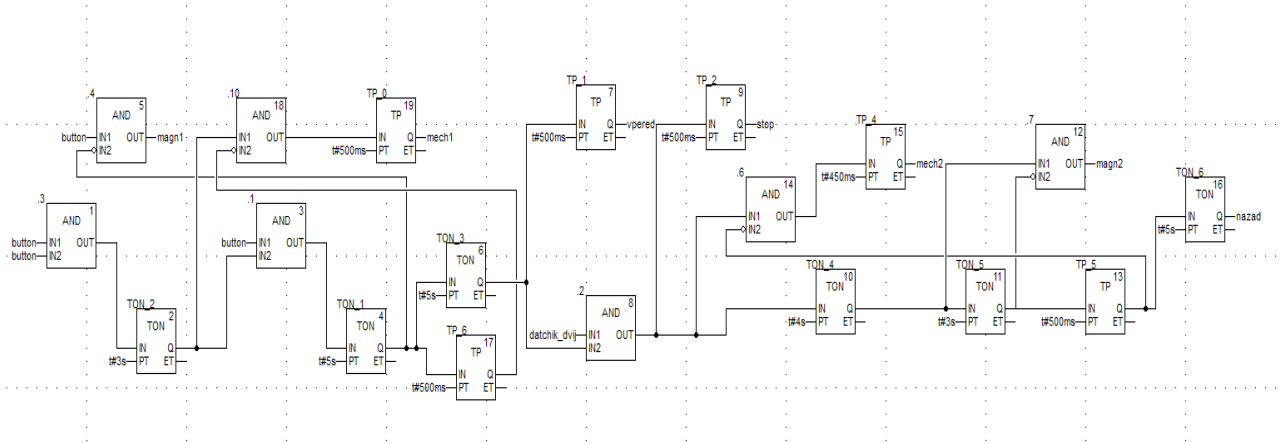


Рисунок 5.8 – програма керування механізмами

6 МОДЕЛЮВАННЯ РОБОТИ СИСТЕМИ

З метою перевірки правильності реалізації алгоритму керування, а також для попереднього налагодження логіки взаємодії між окремими компонентами системи, було виконано моделювання роботи автоматизованої системи у програмному середовищі Unity Pro XL.

Це середовище надає широкі можливості для віртуального тестування програмної логіки ПЛК, використовуючи вбудовані інструменти емуляції, трасування сигналів та візуалізації внутрішніх змінних [11].

Мета моделювання:

- зменшити ризики логічних помилок до початку фізичного впровадження;
- перевірити відповідність алгоритму технічному завданню;
- здійснити початкове тестування взаємодії елементів системи;
- виявити та усунути потенційні конфлікти або критичні умови.

Основні етапи моделювання.

Тестування базових функцій. На цьому етапі було перевірено:

- реакцію ПЛК на сигнали від симульованих сенсорів (дискретних та аналогових);
- правильність обробки вхідних сигналів;
- відповідність стану виходів логіки, закладеній у функціональних блоках.

Моделювання повного робочого циклу. У віртуальному середовищі було відтворено повну послідовність дій системи:

- початкове положення механізму;
- захоплення вантажу;
- переміщення в задану позицію (з контролем кінцевих вимикачів);
- розвантаження;
- повернення у вихідну точку.

Результати моделювання (Рис 6.1) – усі етапи виконувалися у логічно правильному порядку, з урахуванням затримок, таймерів та умов переходу між станами.

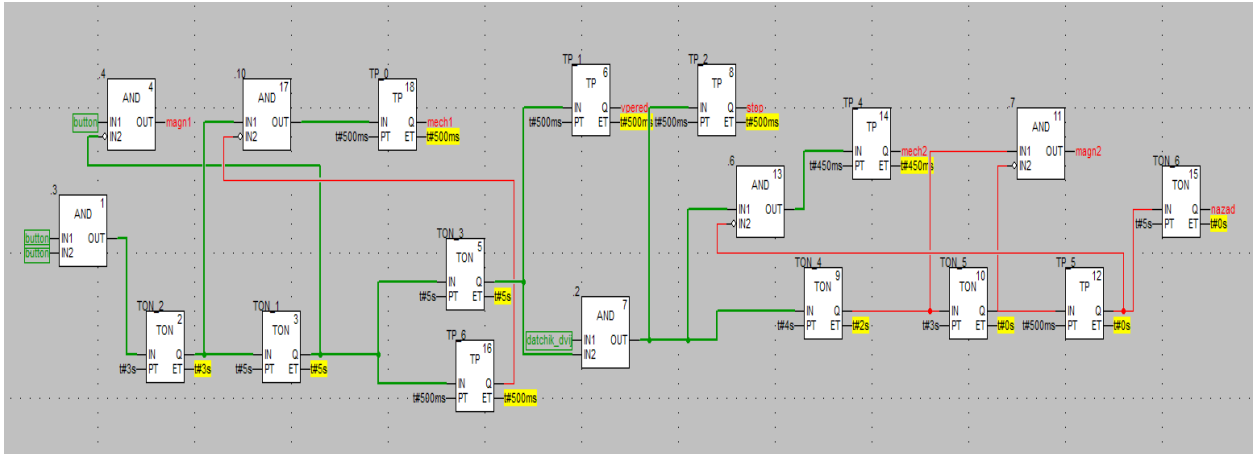


Рисунок 6.1 – результати моделювання

Проведене тестування підтвердило правильність розробленої логіки, відповідність алгоритму технічному завданню, а також готовність системи до переходу на етап фізичного впровадження. Була здійснена повна верифікація усіх програмних компонентів з урахуванням штатних і позаштатних ситуацій.

Моделювання віртуального середовища, яке симулює сигнали від датчиків та дії виконавчих пристроїв, дозволило значно скоротити час налаштування ПЛК, зменшити кількість помилок під час запуску, а також зекономити ресурси на етапі пусконаладжувальних робіт. Цей підхід забезпечив високу якість програмного забезпечення та надійність системи загалом.

ВИСНОВКИ

Автоматизація навантажувально-розвантажувальних процесів займає ключове місце у забезпеченні ефективної, безпечної та безперервної роботи сучасних підприємств. Реалізація таких систем із використанням сучасних програмованих логічних контролерів дозволяє значно оптимізувати трудові ресурси, скоротити час на виконання рутинних технологічних операцій та зменшити кількість помилок, викликаних людським фактором.

У межах дипломного проекту було виконано повноцінну розробку автоматизованої системи керування навантажувальними роботами з використанням ПЛК Modicon M340. Система побудована на модульному принципі, що дозволяє її легко адаптувати під конкретні потреби підприємства, змінювати конфігурацію, розширювати функціонал без внесення істотних змін у базову архітектуру.

Під час роботи над проектом було виконано повний цикл інженерної розробки:

- детально проаналізовано поточний стан проблеми, виявлено основні технічні й організаційні недоліки існуючих систем керування навантажувальними роботами;
- проведено огляд сучасних рішень на ринку автоматизації (ABB, KUKA, FANUC, Siemens, Schneider), вивчено їхні характеристики, порівняно функціональність, економічність, рівень інтеграції та підтримки;
- на основі ТЗ обґрунтовано вибір технічних засобів – контролера M340, модулів вводу/виводу, датчиків і виконавчих пристроїв, з урахуванням критерію сумісності, надійності та вартості;
- розроблено структурну схему системи, яка описує взаємозв'язки між основними компонентами, включаючи комунікаційні канали та точки інтеграції з зовнішніми інформаційними системами;

- складено алгоритм керування та реалізовано у вигляді програми у середовищі Unity Pro XL 12 із використанням FBD мови;
- проведено моделювання роботи системи у середовищі розробки, протестовано всі логічні сценарії, верифіковано обробку сигналів, переходів між станами.

Важливим результатом виконання проєкту стало формування повноцінного рішення, яке може бути реалізовано у виробничих умовах без додаткової адаптації. Гнучка архітектура дозволяє масштабувати систему під складні логістичні задачі, а можливість інтеграції з SCADA, ERP та іншими цифровими платформами відкриває перспективу подальшого переходу підприємства до концепції Індустрія 4.0.

У цілому, виконаний проєкт демонструє високий рівень інженерного опрацювання теми, відповідає сучасним технологічним вимогам та може бути застосований як практичне рішення для модернізації вантажно-логістичних процесів підприємств різних галузей промисловості.

У процесі виконання проєкту була розроблена автоматизована система керування навантажувальними роботами на базі програмованого логічного контролера Modicon M340. Система реалізує повний цикл операцій: захоплення вантажу, транспортування, розвантаження та повернення у початкову позицію.

Система є гнучкою, масштабованою та придатною до впровадження у реальні виробничі процеси. Вона дозволяє підвищити продуктивність, знизити витрати на персонал і підвищити рівень безпеки праці. Розроблене рішення відповідає сучасним вимогам промислової автоматизації та може слугувати основою для подальших вдосконалень у сфері логістики й управління матеріальними потоками.

ПЕРЕЛІК ДЖЕРЕЛ ПОСИЛАННЯ

1. KUKA Robotics. – [Електронний ресурс]. – <https://www.kuka.com>
2. ABB Robotics IRB Series. – [Електронний ресурс]. – <https://new.abb.com/products/robotics>
3. FANUC Robotics. Industrial Palletizing Robots. – [Електронний ресурс]. – <https://www.fanuc.eu>
4. Siemens Industry. SIMATIC S7-1500. – [Електронний ресурс]. – <https://new.siemens.com/global/en/products/automation/systems/industrial/plc/simatic-s7-1500.html>
5. Modicon M241 Logic Controller. Schneider Electric. – [Електронний ресурс]. – <https://www.se.com/ua/uk/product/TM241CE24T/програмований-логічний-контролер-m241-24-вх-вих-транз-2rs485-1eth/>
6. Schneider Electric. Modicon M340 Automation Platform. – [Електронний ресурс]. – <https://www.se.com/ua/uk/product-range/1468-modicon-m340/?parent-subcategory-id=3950&filter=business-1-автоматизація-і-промисловий-контроль#products>
7. Schneider Electric. BMXP342000. – [Електронний ресурс]. – <https://www.se.com/ua/uk/product/BMXP342000/модуль-цпу-сру34020-modbus/?range=1468-modicon-m340&node=12145172188-нормальні-умови-експлуатації&selectedNodeId=115466732410>
8. Schneider Electric. BMXCPS3500. – [Електронний ресурс]. – <https://www.se.com/ua/uk/product/BMXCPS3500/потужний-блок-живл-змінн-струму/>
9. Schneider Electric. BMXCPS3500. – [Електронний ресурс]. – <https://www.se.com/kz/ru/product/BMXDDM16025>
10. Modicon M340 Controllers. Setup Guide. – [Електронний ресурс]. – https://download.schneider-electric.com/files?p_Doc_Ref=35012676K01000&p_enDocType=User+guide&p_

[File_Name=35012676-15_M340_Controllers_Setup_Guide_CE16.2.pdf](#)

11. EcoStruxure Control Expert (Unity Pro). Schneider Electric Software. – [Електронний ресурс]. – <https://www.se.com/ua/uk/product-range/548-ecostruxure-control-expert-unity-pro/?parent-subcategory-id=3950&filter=business-1-автоматизація-і-промисловий-контроль#documents>