

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
Західноукраїнський національний університет
Факультет комп'ютерних інформаційних технологій
Кафедра спеціалізованих комп'ютерних систем

СТИРАНКА Петро Олегович

АВТОМАТИЧНИЙ СКЛАД З ЛІФТОМ-ПІДЙОМНИКОМ/
Automatic Warehouse with a Lift Hoist

спеціальність: 151 – Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології
освітньо-професійна програма – Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані
технології

Кваліфікаційна робота

Виконав студент групи АКІТ – 41
П.О. Стиранка

Науковий керівник
к.т.н., О.М.Заставний

Кваліфікаційну роботу допущено
до захисту:

« ____ » _____ 2026 р.

Завідувач кафедри

_____ А.І.Сегін

ТЕРНОПІЛЬ – 2026

Західноукраїнський національний університет
Факультет комп'ютерних інформаційних технологій
Кафедра спеціалізованих комп'ютерних систем
Освітній ступінь "бакалавр"

Спеціальність: 151 – Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології
Освітньо-професійна програма – Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології

“ЗАТВЕРДЖУЮ”

Завідувач кафедри СКС

_____ А.І.Сегін
“ ” _____ р.

З А В Д А Н Н Я

**НА ВИПУСКНУ КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ СТУДЕНТУ
СТИРАНЦІ Петру Олеговичу**

(прізвище, ім'я по-батькові)

1. Тема випускної кваліфікаційної роботи

Автоматичний склад з ліфтом-підйомником / Automatic Warehouse with a Lift Hoist
керівник роботи к.т.н., Заставний О.М.

затверджені наказом по університету від 01.12.2025р №894

2. Строк подання студентом закінченої випускної кваліфікаційної роботи:
25.05.2026р.

3. Вихідні дані до випускної кваліфікаційної роботи:

- 3.1. Об'єкт автоматизації — автоматичний склад з ліфтом-підйомником.
- 3.2. Датчики системи: кінцеві вимикачі верхнього/нижнього положення, датчики рівнів, фотоелектричні датчики наявності вантажу, індуктивні датчики положення стопорів, енкодер приводу ліфта, датчик перевантаження.
- 3.3. Виконавчі механізми
- 3.4. Засоби керування

4. Основні питання, які потрібно розробити:

- 4.1. Аналіз сучасних автоматичних складських систем із вертикальним переміщенням вантажів.
- 4.2. Розроблення структури автоматичного складу з ліфтом-підйомником.
- 4.3. Аналіз об'єкта керування та інформаційних сигналів системи.
- 4.4. Вибір технічних засобів автоматизації.

5. Перелік графічного матеріалу у роботі:

5.1. Структурна схема автоматичного складу з ліфтом-підйомником.

5.2. Функціональна схема PLC-системи керування.

5.3. Блок-схема алгоритму автоматичного режиму.

5.4. Схема підключення датчиків і виконавчих механізмів до PLC.

5.5. Таблиця входів/виходів PLC.

6. Консультанти розділів випускної кваліфікаційної роботи

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		Завдання видав	Завдання прийняв
1	Заставний О.М.		
2	Заставний О.М.		
3	Заставний О.М.		

7. Дата видачі завдання 01 грудня 2025 р.

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назви етапів випускної кваліфікаційної роботи	Строк виконання етапів роботи	Примітка
1	Аналіз сучасних автоматичних складських систем із ліфтом-підйомником	01.12.2025р. – 15.01.2026р.	виконано
2	Розроблення автоматичного складу з ліфтом-підйомником	16.01.2026р. – 15.03.2026р.	виконано
3	Розроблення модуля керування ліфтом-підйомником і конвеєром	16.03.2026р. – 30.04.2026р.	виконано
4	Остаточне оформлення та подача кваліфікаційної роботи на перевірку щодо плагіату	1.05.2026 – 25.05.2026	виконано

Студент

(підпис)

Стиранка П.О.

Керівник роботи

(підпис)

к.т.н., Заставний О.М.

АНОТАЦІЯ

Автоматичний склад з ліфтом-підйомником. – Рукопис. Кваліфікаційна робота на здобуття освітнього ступеня «бакалавр» за спеціальністю 151 «Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології». – Західноукраїнський національний університет, Тернопіль, 2026.

У кваліфікаційній роботі розглянуто розроблення автоматичного складу з ліфтом-підйомником, призначеного для переміщення ящиків або піддонів між рівнями стелажів та їх подачі на горизонтальний конвеєр видачі. Проведено аналіз сучасних автоматичних складських систем із вертикальним переміщенням вантажів, визначено основні вимоги до об'єкта автоматизації, датчиків, виконавчих механізмів і засобів керування.

Розроблено структурну схему автоматичного складу, алгоритм роботи системи, таблицю входів/виходів PLC, структуру HMI-інтерфейсу та систему аварійних блокувань. У роботі передбачено автоматичний, ручний та Jog-режими роботи, контроль положення ліфта за допомогою енкодера, перевірку наявності вантажу фотоелектричними датчиками, захист від перевантаження, контроль дверей, аварійну зупинку та журнал аварій. Запропоноване рішення може бути використане як основа для навчального стенда або компактної складської установки.

Ключові слова: автоматичний склад, ліфт-підйомник, PLC, HMI, конвеєр, енкодер, фотоелектричний датчик, автоматизація, система керування.

ANNOTATION

Automatic Warehouse with a Lift Hoist. – Manuscript. Qualification work for obtaining the Bachelor's degree in specialty 151 - "Automation and Computer-Integrated Technologies". – West Ukrainian National University, Ternopil, 2026. The qualification work considers the development of an automatic warehouse with a lift hoist designed to move boxes or pallets between rack levels and transfer them to a horizontal output conveyor.

The work analyzes modern automatic warehouse systems with vertical load movement and defines the main requirements for the automation object, sensors, actuators and control equipment. A structural diagram of the automatic warehouse, the system operation algorithm, the PLC input/output table, the HMI interface structure and the emergency interlock system have been developed.

The system includes automatic, manual and Jog operating modes, lift position control using an encoder, load presence detection using photoelectric sensors, overload protection, door monitoring, emergency stop and alarm logging.

The proposed solution can be used as a basis for an educational stand or a compact warehouse installation.

Keywords: automatic warehouse, lift hoist, PLC, HMI, conveyor, encoder, photoelectric sensor, automation, control system.

ЗМІСТ

ВСТУП	7
1. АНАЛІЗ СУЧАСНИХ АВТОМАТИЧНИХ СКЛАДСЬКИХ СИСТЕМ ІЗ ЛІФТОМ-ПІДЙОМНИКОМ	10
1.1. Сучасні автоматичні складські системи та напрями їх розвитку	10
1.2. Аналіз систем вертикального переміщення вантажів	13
1.3. Аналіз технічних засобів автоматизації складських систем	15
1.4. Постановка задачі	19
2. РОЗРОБЛЕННЯ АВТОМАТИЧНОГО СКЛАДУ З ЛІФТОМ-ПІДЙОМНИКОМ	22
2.1. Опис технологічного процесу роботи автоматичного складу	22
2.2. Розроблення структурної схеми автоматичного складу	25
2.3. Аналіз об'єкта керування та інформаційних сигналів	27
2.4. Вибір технічних засобів автоматизації	29
2.5. Розроблення алгоритму роботи автоматичного складу	32
2.6. Розроблення системи безпеки та аварійних блокувань	35
3. РОЗРОБЛЕННЯ МОДУЛЯ КЕРУВАННЯ ЛІФТОМ-ПІДЙОМНИКОМ І КОНВЕЄРОМ	39
3.1. Розроблення щита керування автоматичного складу	39
3.2. Розроблення таблиці входів/виходів PLC	42
3.3. Розроблення НМІ-інтерфейсу оператора	44
3.4. Розроблення програмного забезпечення PLC	46
3.5. Імітаційна перевірка роботи системи	49
3.6. Оцінка ефективності роботи автоматичного складу	51
ВИСНОВКИ	53
ПЕРЕЛІК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ	56
ДОДАТКИ	60

					ДП.АКІТ.11647019.00.00.00.000 ПЗ			
Розроб	Стиранка П.О				Автоматичний склад з ліфтом-підйомником Automatic Warehouse with a Lift Hoist	Літ.	Арк.	Аркушів
Перевірів	Заставний О.М							
Консульт	Заставний О.М					ЗУНУ.ФКІТ.АКІТ- 41		
Н.Контроль	Заставний О.М							
Затвердив	Сегін А.І.							

ВСТУП

Актуальність теми. Сучасні виробничі, логістичні та складські процеси потребують підвищення швидкості обробки вантажів, зменшення частки ручної праці та підвищення точності виконання операцій з переміщення продукції. Особливо важливим це є для складських установок, у яких вантажі розміщуються на декількох рівнях і повинні швидко подаватися до зони видачі або подальшої обробки. У таких умовах використання автоматичних систем керування дає змогу скоротити час операцій, знизити ризик помилок оператора та підвищити безпеку роботи обладнання.

Одним із ефективних технічних рішень для компактного зберігання і переміщення вантажів є автоматичний склад з ліфтом-підйомником. Така система поєднує вертикальне переміщення вантажу між рівнями стелажів, горизонтальну подачу на конвеєр видачі, контроль положення механізмів і перевірку наявності вантажу за допомогою датчиків. На відміну від ручного переміщення, автоматичний склад забезпечує повторюваність операцій, можливість контролю кожного етапу циклу та формування аварійних повідомлень у разі виникнення несправностей.

Актуальність розроблення автоматичного складу з ліфтом-підйомником також пов'язана з необхідністю використання сучасних засобів автоматизації: промислових логічних контролерів, НМІ-панелей, датчиків положення, фотоелектричних датчиків, енкодерів, частотних перетворювачів або сервоприводів. Застосування PLC дає змогу реалізувати послідовну логіку роботи, ручний та автоматичний режими, Jog-керування, аварійні блокування, контроль тайм-аутів, облік циклів і відображення стану системи на операторській панелі.

Тому розроблення автоматичного складу з ліфтом-підйомником є актуальним інженерним завданням для спеціальності «Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології», оскільки поєднує задачі аналізу об'єкта керування, вибору технічних засобів автоматизації, розроблення

					ДП.АКІТ.11647019.00.00.00.000 ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата		

алгоритмів, побудови PLC-програми, створення HMI-інтерфейсу та забезпечення безпечної роботи електромеханічної системи.

Мета роботи. Метою кваліфікаційної роботи є розроблення автоматичного складу з ліфтом-підйомником на базі PLC-системи керування, який забезпечує переміщення ящиків або піддонів між рівнями стелажів, точне позиціонування ліфта, подачу вантажу на горизонтальний конвеєр та контроль безпечної роботи обладнання.

Для досягнення поставленої мети необхідно вирішити такі завдання:

- проаналізувати сучасні автоматичні складські системи та напрями їх розвитку;
- розглянути системи вертикального переміщення вантажів і визначити доцільність використання ліфта-підйомника;
- визначити склад датчиків, виконавчих механізмів і засобів керування автоматичного складу;
- розробити структурну схему автоматичного складу з ліфтом-підйомником;
- проаналізувати об'єкт керування та інформаційні сигнали системи;
- обґрунтувати вибір промислового логічного контролера, HMI-панелі, приводу ліфта, датчиків і засобів безпеки;
- розробити алгоритм роботи системи в автоматичному, ручному, Jog та аварійному режимах;
- запропонувати структуру програмного забезпечення PLC і HMI-інтерфейсу оператора;
- передбачити систему аварійних блокувань, тайм-аутів і контролю перевантаження;
- провести імітаційну перевірку роботи системи та визначити показники її ефективності.

Об'єкт дослідження. Об'єктом дослідження є автоматичний склад з ліфтом-підйомником, що складається з вертикального підйомного механізму, горизонтального конвеєра, рівнів зберігання, датчиків положення,

Предмет дослідження. Предметом дослідження є методи та засоби

					ДП.АКІТ.11647019.00.00.00.000 ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата		

автоматичного керування переміщенням вантажів у складській системі з ліфтом-підйомником, алгоритми позиціонування ліфта по рівнях, взаємодія PLC з датчиками і виконавчими механізмами, а також логіка аварійних блокувань і безпечного виконання технологічного циклу.

Методи дослідження. У роботі використано методи аналізу технічних систем, структурного проєктування, алгоритмізації технологічних процесів, дискретного керування, аналізу інформаційних сигналів, вибору технічних засобів автоматизації, імітаційної перевірки роботи системи та розроблення прикладного програмного забезпечення для промислового логічного контролера.

Практичне значення одержаних результатів. Практичне значення роботи полягає у розробленні структури автоматичного складу з ліфтом-підйомником, яку можна використати як основу для навчального стенда, лабораторної моделі або компактної складської установки. Запропонована система дає змогу автоматизувати переміщення вантажів між рівнями, зменшити участь оператора, підвищити точність зупинки ліфта, забезпечити контроль аварійних ситуацій і вести облік виконаних циклів.

Результати роботи можуть бути використані під час проєктування малогабаритних автоматичних складських систем, навчальних стендів з PLC-керуванням, а також для демонстрації принципів взаємодії датчиків, виконавчих механізмів, НМІ-панелі та промислового логічного контролера.

Напрями подальшого розвитку. Подальший розвиток автоматичного складу з ліфтом-підйомником може передбачати інтеграцію зі SCADA-системою, підключення до бази даних складських операцій, використання RFID-ідентифікації вантажів, розширення кількості рівнів зберігання, застосування сервоприводу для підвищення точності позиціонування, впровадження віддаленого моніторингу та оптимізацію маршрутів переміщення вантажів.

					ДП.АКІТ.11647019.00.00.00.000 ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата		

1.АНАЛІЗ СУЧАСНИХ АВТОМАТИЧНИХ СКЛАДСЬКИХ СИСТЕМ ІЗ ЛІФТОМ-ПІДЙОМНИКОМ

Автоматичний склад з ліфтом-підйомником належить до класу складських систем, у яких зберігання, переміщення та видача вантажів виконуються не вручну, а за допомогою технічних засобів автоматизації. У межах цієї роботи розглядається компактна складська установка з вертикальним переміщенням вантажу між рівнями стелажів, горизонтальним конвеєром видачі, системою датчиків і програмованим логічним контролером. Така структура є зручною для навчального стенда, лабораторної моделі або невеликої виробничої ділянки, де потрібно забезпечити повторюваність операцій, контроль положення механізмів та безпечну роботу обладнання.

Аналіз предметної області доцільно почати з огляду сучасних автоматичних складських систем, оскільки саме вони формують вимоги до структури об'єкта автоматизації, набору датчиків, алгоритму керування та людино-машинного інтерфейсу. Сучасні автоматизовані системи зберігання і видачі вантажів розвиваються у напрямі підвищення швидкості обробки замовлень, зменшення площі складу, мінімізації помилок оператора, інтеграції з інформаційними системами та використання сенсорного контролю в реальному часі.

1.1. Сучасні автоматичні складські системи та напрями їх розвитку

Складська логістика в сучасних виробничих і торговельних системах виконує не лише функцію зберігання продукції, а й функцію керованого переміщення матеріального потоку. Збільшення номенклатури товарів, розвиток електронної комерції та вимоги до швидкої обробки замовлень привели до поширення автоматичних складських систем. Їх основною метою є зменшення частки ручної праці, підвищення швидкості видачі вантажів, скорочення кількості помилок і забезпечення контрольованого доступу до комірок зберігання.

					ДП.АКІТ.11647019.00.00.00.000 ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата		

До сучасних складських рішень належать автоматизовані системи зберігання та видачі вантажів AS/RS, вертикальні складські модулі, конвеєрні лінії, шатлові системи, роботизовані візки, автоматичні сортувальні системи та комбіновані рішення. У промислових умовах такі системи можуть інтегруватися з WMS, ERP, SCADA або MES-системами, що дозволяє не лише виконувати переміщення вантажу, а й вести облік залишків, контролювати час операцій і аналізувати ефективність роботи складу.

Автоматизовані системи зберігання та видачі, відомі як AS/RS, є одним із найпоширеніших напрямів складської автоматизації. Їх принцип роботи полягає у тому, що комп'ютеризована система керує механізмами, які розміщують вантаж у визначеній комірці та видають його за командою оператора або інформаційної системи. До складу AS/RS можуть входити стелажі, вертикальні або горизонтальні приводи, підйомники, транспортери, сенсори положення, контролери та програмне забезпечення. Сучасні огляди AS/RS підкреслюють роль сенсорів, роботизованих механізмів, IoT та аналітики даних у підвищенні ефективності складських процесів.

Окремим напрямом є вертикальні складські модулі. Вони використовують висоту приміщення для компактного зберігання лотків, ящиків або деталей. Зазвичай така система містить два вертикальні стелажні блоки та центральний підйомний механізм, який доставляє потрібний лоток до вікна видачі. Для малих і середніх складів вертикальний модуль часто є першим кроком до автоматизації, оскільки дозволяє збільшити місткість зберігання без значного розширення площі.

Автоматичний склад з ліфтом-підйомником, що розглядається у даній роботі, є спрощеним варіантом такої системи. На відміну від повномасштабних AS/RS-рішень, він не передбачає складної маршрутизації вантажів у великій складській зоні, але містить основні функціональні елементи автоматизації: вертикальне переміщення, позиціонування по рівнях, контроль наявності вантажу, керування конвеєром, аварійні блокування та HMI-інтерфейс. Це робить об'єкт достатньо показовим для розроблення PLC-системи керування.

					ДП.АКІТ.11647019.00.00.00.000 ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата		

Таблиця 1.1

Основні типи автоматичних складських систем

Тип системи	Призначення	Переваги	Обмеження
AS/RS	Автоматичне зберігання та видача вантажів	Висока продуктивність, точність обліку, інтеграція з WMS	Висока вартість, складне налагодження
Вертикальний складський модуль	Компактне зберігання лотків або ящиків по висоті	Економія площі, зручна видача, контроль доступу	Потреба у точному позиціонуванні та надійному приводі
Конвеєрна система	Потокове переміщення вантажів між зонами	Безперервність транспортування, проста логіка руху	Обмежена гнучкість, потреба у просторі
Шатлова система	Швидке переміщення вантажів між комірками	Висока швидкість обробки, масштабованість	Складна механіка та програмна логіка
Автоматичний склад з ліфтом-підйомником	Переміщення вантажу між рівнями з подачею на конвеєр	Компактність, зрозуміла структура, зручність для PLC-моделі	Менша продуктивність порівняно з промисловими AS/RS

Порівняння показує, що для задачі кваліфікаційної роботи доцільно обрати структуру автоматичного складу з ліфтом-підйомником. Вона не потребує надмірно складної механічної частини, але дозволяє реалізувати всі ключові функції автоматизації: вибір комірки або рівня, вертикальне переміщення, точне позиціонування, взаємодію з конвеєром, обробку аварійних ситуацій і візуалізацію станів на HMI.

Сучасний розвиток автоматичних складів також пов'язаний із концепцією Industry 4.0. Для таких систем важливими стають не лише механічна продуктивність, а й можливість збору даних, архівування аварій, аналізу часу циклу, дистанційного контролю та інтеграції з іншими рівнями керування. Навіть якщо у даній роботі розглядається компактна установка, вона має бути спроектована так, щоб у майбутньому її можна було доповнити SCADA або базою даних складських операцій.

					ДП.АКІТ.11647019.00.00.00.000 ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата		

Отже, автоматичний склад з ліфтом-підйомником можна розглядати як базову складську мехатронну систему, що поєднує механічні вузли, електропривод, сенсорний контроль, PLC-керування та HMI-візуалізацію. Саме така комбінація відповідає напрямку автоматизації та комп'ютерно-інтегрованих технологій.

1.2. Аналіз систем вертикального переміщення вантажів

Вертикальне переміщення вантажів є основною функцією автоматичного складу з ліфтом-підйомником. У таких системах вантаж повинен бути переміщений з одного рівня на інший із заданою точністю, без пошкодження продукції та без створення небезпечних ситуацій для оператора. Для цього використовують підйомні платформи, вертикальні конвеєри, ліфти, каретки, телескопічні вилки або інші механізми, що забезпечують рух по вертикальній осі.

Ліфт-підйомник є найбільш придатним рішенням для даної роботи, оскільки він має відносно просту структуру: рухому платформу, напрямні, привод, систему контролю положення та блокування. Ліфт може зупинятися на заданих рівнях стелажів, після чого виконується операція передачі вантажу на конвеєр або в комірку. Для невеликої установки достатньо 3-5 рівнів, що дозволяє реалізувати логіку вибору рівня та позиціонування без надмірного ускладнення механічної частини.

Основною технічною вимогою до ліфта-підйомника є точність зупинки. Якщо платформа зупиняється вище або нижче потрібного рівня, вантаж може не потрапити на конвеєр або може виникнути заклинювання. Тому для контролю положення можна застосувати комбінацію дискретних датчиків рівнів і енкодера. Дискретні датчики підтверджують досягнення заданої зони, а енкодер дозволяє контролювати фактичну координату та реалізувати гальмування перед зупинкою.

					ДП.АКІТ.11647019.00.00.00.000 ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата		

У промислових вертикальних складських модулях використовується складніша механіка. Центральний екстрактор переміщує лотки до вікна видачі, система вимірює висоту вантажу, оптимізує розміщення та може працювати разом із WMS. Наприклад, виробники VLM-систем описують такі модулі як рішення для економії площі, підвищення точності та скорочення часу пошуку товарів. Для даної роботи немає потреби реалізовувати повну промислову VLM-систему, однак її принципи корисні для формування загальної архітектури об'єкта.

Таблиця 1.2

Порівняння систем вертикального переміщення вантажів

Тип системи	Принцип роботи	Переваги	Недоліки	Доцільність для роботи
Ліфт-підйомник	Платформа рухається по вертикальній осі та зупиняється на заданих рівнях	Проста структура, точне позиціонування, зручність PLC-керування	Потрібен контроль положення, гальмування та захист від перевантаження	Висока
Вертикальний конвеєр	Вантаж переміщується безперервно або циклічно між рівнями	Висока продуктивність при потоковій подачі	Складніше зупиняти вантаж на конкретному рівні	Середня
Вертикальний складський модуль	Центральний підйомник доставляє лотки до вікна видачі	Економія площі, висока точність, інтеграція з WMS	Висока вартість та складна механіка	Середня як прототип ідеї
Шатлова AS/RS-система	Вантаж переміщується кареткою або шатлом між комірками	Масштабованість і висока швидкість	Надмірна складність для навчальної моделі	Низька
Ручне переміщення	Оператор переносить вантаж вручну	Мінімальні початкові витрати	Людський фактор, низька швидкість, ризик травм	Низька

Для автоматичного складу з ліфтом-підйомником необхідно врахувати декілька режимів роботи вертикального механізму. У автоматичному режимі ліфт самостійно рухається до вибраного рівня за командою PLC. У ручному режимі оператор може керувати рухом вгору або вниз для налагодження та обслуговування. У Jog-режимі виконується коротке переміщення, що дозволяє точно виставити платформу при налагодженні. Окремо передбачається режим повернення в початкове положення home, який потрібен після запуску системи або після аварійного скидання.

З точки зору керування рухом ліфта важливо виділити три зони: зона розгону, зона руху з робочою швидкістю та зона гальмування. Якщо використовується частотний перетворювач, PLC може подавати команду напрямку та сигнал дозволу руху, а також формувати завдання швидкості. Якщо використовується сервопривід, позиціонування може виконуватися точніше, однак система стає дорожчою. Для кваліфікаційної роботи раціонально розглядати варіант двигуна з частотним перетворювачем і енкодером, оскільки він достатній для демонстрації принципів автоматизації.

Окрему увагу потрібно приділити безпеці вертикального переміщення. Ліфт не повинен рухатися при відкритих захисних дверях, при перевантаженні платформи, при спрацюванні аварійної кнопки або при невідповідності сигналів датчиків. Верхнє та нижнє крайні положення повинні мати окремі кінцеві вимикачі, що запобігають виходу платформи за межі допустимого ходу. Також потрібно передбачити тайм-аут руху: якщо ліфт не досяг заданого рівня за встановлений час, PLC має зупинити привод і сформувати аварію.

Таким чином, аналіз систем вертикального переміщення показує, що ліфт-підйомник є оптимальною базою для даної теми. Він дозволяє реалізувати повний цикл автоматичного переміщення вантажу між рівнями, а також продемонструвати роботу PLC з дискретними датчиками, енкодером, приводом, конвеєром і аварійними блокуваннями.

					ДП.АКІТ.11647019.00.00.00.000 ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата		

1.3. Аналіз технічних засобів автоматизації складських систем

Автоматичний склад з ліфтом-підйомником потребує комплексу технічних засобів автоматизації. До них належать пристрої керування, сенсорні пристрої, виконавчі механізми, засоби візуалізації та засоби безпеки. Вибір цих елементів визначає надійність системи, точність позиціонування, зручність експлуатації та можливість розширення функціоналу.

Центральним елементом системи є програмований логічний контролер. Для задачі керування автоматичним складом доцільно використовувати PLC промислового класу, наприклад Siemens S7-1200 або аналогічний контролер. Офіційна документація S7-1200 описує контролер як модульний пристрій для автоматизації з підтримкою дискретних і аналогових входів/виходів, комунікації, високошвидкісних лічильників та інтеграції з TIA Portal [6]. Для даної роботи важливо, що такий контролер може обробляти сигнали датчиків, виконувати логіку режимів, контролювати тайм-аути, формувати аварії та передавати дані на HMI.

HMI-панель потрібна для взаємодії оператора з системою. Через неї оператор обирає режим Auto, Manual або Jog, задає операцію “взяти” чи “покласти”, вибирає номер рівня, переглядає стан ліфта, конвеєра, датчиків і аварій. Сучасні HMI-панелі Siemens Basic Panels підтримують конфігурацію у WinCC/TIA Portal і призначені для монтажу, введення в експлуатацію та експлуатації як операторські пристрої. Для автоматичного складу достатньо панелі з кількома екранами: головний екран, автоматичний режим, ручне керування, аварії, статистика та налаштування.

Датчики положення забезпечують PLC інформацією про фактичний стан механізмів. Кінцеві вимикачі використовуються для контролю верхнього та нижнього крайнього положення ліфта, а також для контролю дверей. Датчики рівнів можуть бути механічними, магнітними або індуктивними. Індуктивні датчики доцільні для контролю положення металевих елементів, наприклад стопорів або позицій механізму. Сучасні індуктивні датчики з IO-Link можуть

					ДП.АКІТ.11647019.00.00.00.000 ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата		

не лише працювати як комутаційні датчики, а й передавати параметри та діагностичні дані.

Фотоелектричні датчики застосовуються для контролю наявності вантажу на конвеєрі або платформі ліфта. Їх перевага полягає в безконтактному виявленні об'єкта. У технічній інформації SICK щодо фотоелектричних Smart Sensors зазначено, що такі датчики можуть використовувати різні принципи виявлення, зокрема відбиття від об'єкта, ретрорефлекторний принцип або приймач-передавач, а також підтримувати параметрування через IO-Link [9]. Для даної системи фото-датчик на конвеєрі підтверджує, що вантаж прийнято або видано, а фото-датчик на платформі підтверджує наявність вантажу під час руху ліфта.

Енкодер є ключовим елементом точного позиціонування ліфта. Якщо датчики рівнів дають лише дискретне підтвердження положення, енкодер дозволяє отримати інформацію про переміщення приводу у вигляді імпульсів. PLC може підраховувати імпульси за допомогою високошвидкісного лічильника та порівнювати фактичну координату з координатами рівнів. Це дає змогу реалізувати гальмування перед заданим рівнем і точнішу зупинку платформи.

Привід ліфта може бути реалізований на основі асинхронного двигуна з частотним перетворювачем або сервоприводу. Асинхронний двигун із частотним перетворювачем є більш доступним рішенням і дозволяє реалізувати плавний пуск, зміну швидкості та гальмування. Сервопривід забезпечує вищу точність позиціонування, але має більшу вартість і складніші вимоги до налагодження. Для навчальної або лабораторної установки достатнім є варіант двигуна з частотним перетворювачем, доповнений енкодером і датчиками рівнів.

Горизонтальний конвеєр виконує функцію подачі або видачі вантажу. Його приводом може бути мотор-редуктор, який вмикається за командою PLC. Робота конвеєра повинна бути узгоджена з положенням ліфта та станом фото-датчиків. Конвеєр не повинен запускатися, якщо вантаж не підтверджено або якщо ліфт не перебуває в дозволеному положенні. Також потрібно передбачити

					ДП.АКІТ.11647019.00.00.00.000 ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата		

тайм-аут передачі вантажу: якщо фото-датчик не підтвердив переміщення за заданий час, система повинна перейти в аварійний стан.

Електромагнітні стопори або шибери можуть використовуватись для фіксації вантажу на рівні, платформі або конвеєрі. Їх відкриття має виконуватись лише після того, як PLC підтвердив правильне положення ліфта та готовність конвеєра. Для контролю стану стопора можна застосувати індуктивний датчик або кінцевий вимикач.

Засоби безпеки у складських системах мають пріоритет над технологічною логікою. До них належать кнопка аварійної зупинки, дверні кінцевики, реле безпеки, захист двигуна, датчик перевантаження, контроль крайніх положень та аварійна сигналізація. При спрацюванні аварійної зупинки рух ліфта та конвеєра має бути негайно заблокований. Після усунення аварії система повинна дозволяти запуск тільки після ручного скидання та перевірки безпечних умов.

Таблиця 1.3

Технічні засоби автоматизації автоматичного складу

Засіб автоматизації	Функція в системі	Основні параметри вибору
PLC	Обробка сигналів датчиків, керування приводами, режимами та аваріями	Кількість I/O, підтримка НМІ, високошвидкісні лічильники, надійність
НМІ-панель	Введення команд, вибір рівня, візуалізація станів і аварій	Діагональ, протокол зв'язку, зручність екранів, журнал аварій
Енкодер	Визначення координати ліфта за імпульсами	Роздільна здатність, тип виходу, сумісність з HSC PLC
Фотоелектричний датчик	Контроль наявності вантажу на конвеєрі або платформі	Дальність спрацювання, швидкодія, завадостійкість, тип виходу
Індуктивний датчик	Контроль положення металевих елементів і стопорів	Дальність виявлення, корпус, тип виходу, захист від пилу
Кінцевий вимикач	Контроль крайніх положень і дверей	Надійність контакту, механічна міцність, ресурс

					ДП.АКІТ.11647019.00.00.00.000 ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата		

Частотний перетворювач	Керування швидкістю двигуна ліфта	Потужність, режими пуску та гальмування, інтерфейс керування
Мотор-редуктор конвеєра	Переміщення вантажу по горизонталі	Момент, швидкість, тип живлення, надійність
Реле безпеки	Безпечне відключення рухомих механізмів	Підтримка E-Stop, контроль дверей, категорія безпеки
Датчик перевантаження	Захист ліфта від перевищення допустимого навантаження	Діапазон вимірювання, дискретний або аналоговий вихід

На основі аналізу можна зробити висновок, що технічна структура автоматичного складу повинна бути побудована навколо PLC, який приймає сигнали від датчиків і формує команди для виконавчих механізмів. НМІ забезпечує операторський рівень керування, а датчики та аварійні блокування забезпечують контроль безпечного виконання операцій. Така структура є типовою для мехатронних систем автоматизації та добре відповідає задачам кваліфікаційної роботи. З позиції подальшого проєктування важливо виділити інформаційні сигнали, без яких система не може працювати коректно: аварійна зупинка, стан дверей, положення ліфта, імпульси енкодера, наявність вантажу, стан конвеєра, стан стопорів і перевантаження. Саме ці сигнали мають бути використані у структурній схемі, таблиці входів/виходів PLC та алгоритмах роботи системи.

1.4. Постановка задачі

Проведений аналіз сучасних автоматичних складських систем, систем вертикального переміщення вантажів і технічних засобів автоматизації дає підстави сформулювати задачу кваліфікаційної роботи. Необхідно розробити автоматичний склад з ліфтом-підйомником, який забезпечує переміщення ящиків або піддонів між рівнями стелажів і подачу вантажу на горизонтальний конвеєр видачі.

Об'єктом автоматизації є складська установка, що містить вертикальний

					ДП.АКІТ.11647019.00.00.00.000 ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата		

ліфт-підйомник, платформу для вантажу, горизонтальний конвеєр, 3-5 рівнів зберігання, електромагнітні стопори або шибери, систему датчиків і пристрої безпеки. Керування установкою має виконуватись за допомогою програмованого логічного контролера, а взаємодія з оператором - через НМІ-панель.

Система повинна підтримувати автоматичний, ручний та Jog-режими. В автоматичному режимі оператор обирає команду “взяти” або “покласти” та номер рівня. PLC перевіряє безпечні умови запуску, після чого керує рухом ліфта до заданої позиції, виконує гальмування перед рівнем, відкриває стопор або запускає конвеєр і контролює завершення передачі вантажу за сигналами фотоелектричних датчиків. Після завершення операції ліфт повертається у початкове положення home або переходить у стан очікування.

У ручному режимі оператор має змогу окремо керувати ліфтом, конвеєром і стопорами для налагодження або обслуговування. При цьому аварійні блокування повинні залишатися активними. У Jog-режимі потрібно забезпечити короткі переміщення ліфта вгору або вниз для точного виставлення платформи під час налаштування.

Для контролю положення ліфта необхідно використати енкодер і датчики рівнів. Енкодер забезпечує підрахунок імпульсів і визначення координати, а датчики рівнів використовуються для підтвердження перебування платформи в допустимій зоні. Для контролю вантажу потрібно застосувати фотоелектричні датчики на конвеєрі та платформі. Для захисту системи передбачаються E-Stop, дверні кінцевики, контроль перевантаження, контроль крайніх положень, таймаути руху та аварійна сигналізація.

У процесі подальшого проєктування необхідно розробити структурну схему автоматичного складу, визначити входні та вихідні сигнали PLC, обґрунтувати вибір технічних засобів, описати алгоритм автоматичного циклу, передбачити аварійні блокування та розробити структуру НМІ-інтерфейсу. Окремо потрібно показати логіку програмного забезпечення PLC, оскільки саме вона забезпечує послідовність операцій, пріоритет безпеки та коректну

					ДП.АКІТ.11647019.00.00.00.000 ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата		

взаємодію між ліфтом, конвеєром і датчиками.

Таблиця 1.4
Основні функції системи керування автоматичним складом

Функція	Опис реалізації
Прийом команди оператора	Оператор задає режим, операцію та номер рівня через НМІ
Перевірка умов запуску	PLC перевіряє E-Stop, двері, перевантаження, стан датчиків і готовність приводів
Позиціонування ліфта	Ліфт рухається до заданого рівня з контролем координати за енкодером
Гальмування перед рівнем	Перед досягненням координати PLC зменшує швидкість руху
Передача вантажу	Виконується керування стопором, шибером або конвеєром
Підтвердження операції	Фотоелектричний датчик підтверджує наявність або відсутність вантажу
Повернення в home	Ліфт повертається у початкове положення після завершення циклу
Аварійна обробка	При помилці рух блокується, формується повідомлення на НМІ
Статистика	Система веде лічильник циклів, аварій і часу роботи

Критеріями ефективності запропонованої системи доцільно обрати час одного циклу, точність зупинки ліфта на заданому рівні, відсоток безпомилково виконаних циклів, час реакції на аварійну ситуацію та кількість зафіксованих аварій. Ці показники можуть бути використані для імітаційної перевірки системи та для оцінки якості розробленого алгоритму.

Таким чином, задача кваліфікаційної роботи полягає у розробленні автоматичного складу з ліфтом-підйомником як комплексної PLC-системи, що поєднує механічну частину, електропривод, сенсорний контроль, НМІ-візуалізацію та аварійні блокування. Результатом має стати технічне рішення, придатне для реалізації у вигляді навчального стенда або компактної складської установки.

					ДП.АКІТ.11647019.00.00.00.000 ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата		

2. РОЗРОБЛЕННЯ АВТОМАТИЧНОГО СКЛАДУ З ЛІФТОМ-ПІДЙОМНИКОМ

Розроблення автоматичного складу з ліфтом-підйомником передбачає перехід від загального аналізу предметної області до конкретної структури технічної системи. На цьому етапі визначаються технологічний процес, склад механізмів, інформаційні сигнали, логіка взаємодії між датчиками та виконавчими пристроями, а також основні вимоги до безпеки роботи обладнання.

Автоматичний склад, що розглядається у кваліфікаційній роботі, є електромеханічною системою з програмним керуванням. Його основна функція полягає у переміщенні ящиків або піддонів між кількома рівнями зберігання за допомогою вертикального ліфта-підйомника та подачі вантажу на горизонтальний конвеєр видачі. Для забезпечення повторюваності циклу система повинна контролювати положення ліфта, наявність вантажу, стан дверей, стан стопорів, перевантаження та правильність виконання кожної операції.

У цьому розділі розроблено технологічний опис автоматичного складу, структурну схему системи, визначено перелік входних і вихідних сигналів PLC, обґрунтовано вибір технічних засобів автоматизації, сформовано алгоритм роботи та описано систему аварійних блокувань. Запропоновані рішення є основою для подальшого розроблення модуля керування, НМІ-інтерфейсу та програмного забезпечення PLC у третьому розділі.

2.1. Опис технологічного процесу роботи автоматичного складу

Автоматичний склад з ліфтом-підйомником призначений для зберігання та переміщення вантажів між декількома рівнями стелажної конструкції. У межах даної роботи приймається, що склад має від трьох до п'яти рівнів зберігання, рухому платформу ліфта, горизонтальний конвеєр видачі, електромагнітні

					ДП.АКІТ.11647019.00.00.00.000 ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата		

стопори або шибери, а також систему датчиків для контролю положення та наявності вантажу.

Основним технологічним вузлом є ліфт-підйомник, який переміщується у вертикальному напрямку по одній осі. Його платформа повинна зупинятися навпроти заданого рівня зберігання або навпроти конвеєра. Для контролю переміщення використовується енкодер, що передає імпульси на високошвидкісний вхід PLC. Додатково використовуються датчики рівнів або кінцеві вимикачі, які підтверджують перебування платформи в контрольних положеннях. Горизонтальний конвеєр виконує функцію приймання або видачі вантажу. У режимі видачі вантаж після переміщення ліфта до потрібного рівня подається на конвеєр і далі переміщується у зону отримання. У режимі розміщення вантаж надходить з конвеєра на платформу ліфта, після чого ліфт переміщує його до вибраного рівня зберігання.

Електромагнітні стопори або шибери використовуються для запобігання неконтрольованому зміщенню вантажу. Вони відкриваються тільки тоді, коли PLC підтвердив правильне положення ліфта, відсутність аварій і готовність конвеєра або відповідної комірки. Такий підхід дозволяє уникнути ситуації, коли вантаж починає рух до повного суміщення платформи з рівнем стелажа.

Оператор взаємодіє із системою через НМІ-панель. На панелі він обирає режим роботи, задає операцію “взяти” або “покласти”, вибирає номер рівня, переглядає стан системи, поточне положення ліфта, стан датчиків, кількість виконаних циклів та активні аварійні повідомлення. Усі команди оператора передаються до PLC, який перевіряє можливість їх виконання та формує сигнали керування виконавчими механізмами.

У технологічному процесі виділяються два основні автоматичні цикли: цикл “взяти” та цикл “покласти”. Цикл “взяти” означає переміщення вантажу з вибраного рівня складу до конвеєра видачі. Цикл “покласти” означає переміщення вантажу з конвеєра або приймальної позиції до заданого рівня зберігання.

					ДП.АКІТ.11647019.00.00.00.000 ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата		

Таблиця 2.1

Основні етапи технологічного циклу “взяти”

№	Етап	Дія системи	Контроль виконання
1	Вибір команди	Оператор обирає на НМІ команду “взяти” та номер рівня	Перевірка коректності введеного рівня
2	Перевірка умов	PLC перевіряє E-Stop, двері, перевантаження, стан конвеєра	Відсутність активних аварій
3	Рух ліфта	Ліфт переміщується до вибраного рівня	Контроль енкодера та датчика рівня
4	Точна зупинка	Перед рівнем швидкість зменшується, платформа зупиняється	Координата у допустимій зоні
5	Передача вантажу	Відкривається стопор, вантаж переміщується на платформу або конвеєр	Фото-датчик підтверджує вантаж
6	Повернення	Ліфт повертається у початкове положення Home	Датчик Home активний
7	Завершення	PLC записує цикл у статистику та оновлює НМІ	Відсутність аварій

Цикл “покласти” має подібну логіку, але напрям переміщення вантажу змінюється. Спочатку система перевіряє наявність вантажу на конвеєрі або приймальній позиції, після чого ліфт приймає вантаж і переміщується до заданого рівня. Передача вантажу в комірку дозволяється лише після підтвердження позиції ліфта та відсутності блокувальних умов.

Для підвищення надійності технологічного процесу кожна операція обмежується тайм-аутом. Якщо ліфт не досягнув заданого рівня за встановлений час, якщо фотоелектричний датчик не підтвердив наявність вантажу або якщо конвеєр не звільнив зону видачі, PLC формує аварійне повідомлення та зупиняє цикл. Це дозволяє виявляти механічні заклинювання, втрату сигналу датчика або помилки оператора.

Крім автоматичного режиму, система повинна підтримувати ручний та Jog-режими. Ручний режим потрібен для налагодження, перевірки механізмів та обслуговування. Jog-режим використовується для короткочасного переміщення ліфта вгору або вниз з малою швидкістю. При цьому всі основні блокування

					ДП.АКІТ.11647019.00.00.00.000 ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата		

безпеки залишаються активними, оскільки оператор не повинен мати можливості запустити рух при відкритих дверях, перевантаженні або натиснутій аварійній кнопці.

Таким чином, технологічний процес автоматичного складу є послідовністю взаємопов'язаних операцій, кожна з яких повинна бути підтверджена відповідним сигналом датчика. Це визначає необхідність побудови системи керування за принципом автомата станів, де перехід до наступного етапу виконується тільки після виконання поточних умов.

2.2. Розроблення структурної схеми автоматичного складу

Структурна схема автоматичного складу відображає взаємодію між оператором, НМІ-панеллю, PLC, датчиками, приводами, виконавчими механізмами та засобами безпеки. Центральним елементом системи є промисловий логічний контролер, який приймає вхідні сигнали, обробляє їх відповідно до алгоритму та формує команди керування.

До вхідної частини системи належать датчики положення ліфта, кінцеві вимикачі верхнього і нижнього положення, датчик початкового положення Home, фотоелектричні датчики наявності вантажу, індуктивні датчики положення стопорів, сигнал енкодера, датчик перевантаження, дверні кінцевики та кнопка аварійної зупинки. Частина цих сигналів використовується для технологічного керування, а частина - для безпеки.

До вихідної частини належать сигнали керування приводом ліфта, приводом конвеєра, електромагнітними стопорами або шиберами, світловою та звуковою сигналізацією. Якщо для ліфта використовується частотний перетворювач, PLC може подавати дискретні сигнали на пряму руху та аналогове або комунікаційне завдання швидкості. Якщо використовується сервопривід, можливе точніше позиціонування за заданими координатами.

Взаємодія оператора з автоматичним складом здійснюється через НМІ-панель. НМІ не повинна безпосередньо керувати силовими

					ДП.АКІТ.11647019.00.00.00.000 ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата		

механізмами. Вона лише передає команди PLC та відображає стан системи.

Усі рішення щодо дозволу руху, відкриття стопорів, запуску конвеєра та переходу між станами приймає PLC.

Засоби безпеки мають пріоритет над технологічним алгоритмом.

Натискання аварійної кнопки, відкриття дверей або спрацювання перевантаження повинні негайно блокувати рух ліфта та конвеєра. Для цього сигнали безпеки доцільно підключати не лише до PLC, а й через реле безпеки до силових кіл керування приводами.

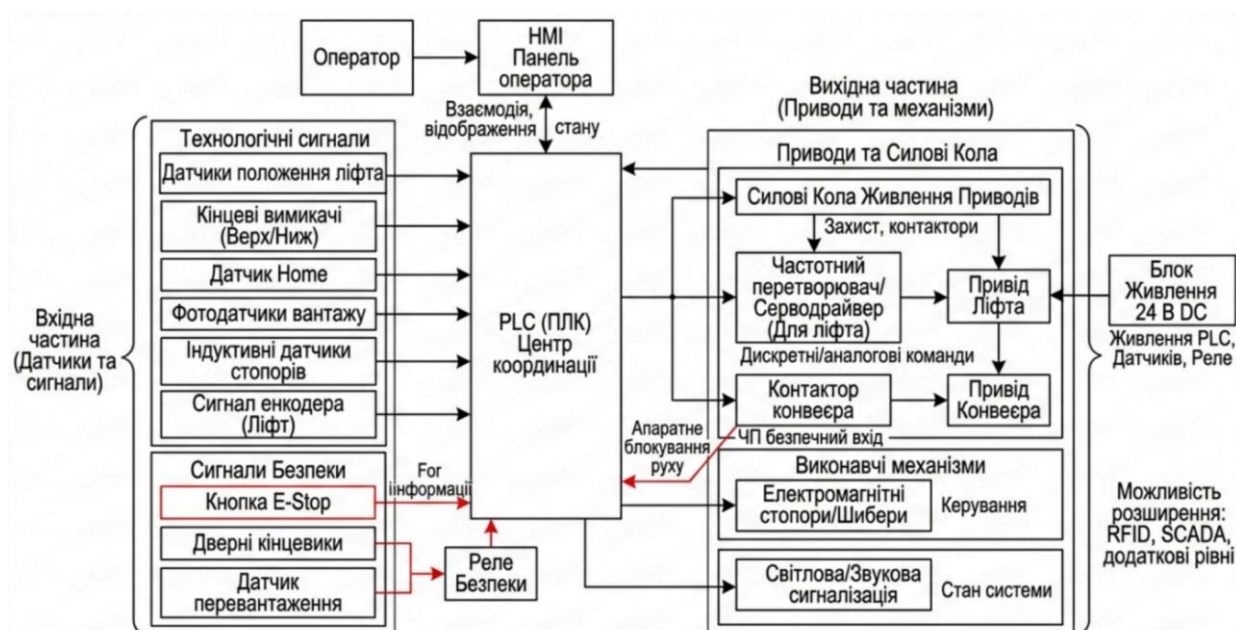


Рисунок 2.1 - Структурна схема автоматичного складу з ліфтом-підйомником

На рисунку 2.1 показано, що PLC виконує роль центрального координатора системи. З одного боку він отримує інформацію від датчиків і HMI, а з іншого - формує керуючі сигнали для приводів і виконавчих механізмів. Така структура є зручною для реалізації автоматичного циклу, оскільки дозволяє централізовано контролювати всі умови переходу між етапами.

Окремий блок живлення 24 В DC використовується для живлення PLC, датчиків, реле та сигнальних елементів. Силові кола приводів повинні бути захищені автоматичними вимикачами, тепловим або електронним захистом

двигуна, а також контакторами або безпечними входами частотного перетворювача. Розділення силових і керуючих кіл підвищує надійність системи та спрощує обслуговування.

Структурна схема також передбачає можливість подальшого розширення системи. Наприклад, до PLC можна додати додаткові рівні зберігання,

RFID-зчитувач для ідентифікації вантажів, модуль зв'язку зі SCADA або базою даних, додаткові датчики стану конвеєра та лічильники продуктивності.

2.3. Аналіз об'єкта керування та інформаційних сигналів

Об'єкт керування автоматичного складу є дискретно-позиційною електромеханічною системою. Його робота складається з послідовних операцій, що виконуються за умовами спрацювання датчиків, завершення таймерів і досягнення заданих координат. На відміну від неперервних технологічних процесів, тут основне значення мають події: поява команди, досягнення рівня, підтвердження вантажу, відкриття або закриття стопора, виникнення аварії.

Основними керованими параметрами є положення ліфта, напрям руху, швидкість руху, стан конвеєра, стан стопорів, наявність вантажу на платформі або конвеєрі, а також режим роботи системи. Основними контрольованими параметрами безпеки є стан аварійної кнопки, стан дверей, наявність перевантаження, досягнення крайніх положень і правильність сигналу енкодера.

Для PLC усі сигнали можна поділити на входні, вихідні та внутрішні. Вхідні сигнали надходять від датчиків, кнопок і HMI. Вихідні сигнали керують механізмами та індикацією. Внутрішні сигнали формуються програмою PLC і використовуються для зберігання станів автомата, таймерів, дозволів, блокувань, аварій і статистики.

Дискретні входи використовуються для сигналів, які мають два стани: активний або неактивний. До них належать кінцевики, дверні датчики,

					ДП.АКІТ.11647019.00.00.00.000 ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата		

фотоелектричні датчики, датчик перевантаження, стан стопорів і кнопки керування. Для енкодера доцільно використовувати високошвидкісний вхід, оскільки імпульси можуть надходити швидше, ніж звичайний цикл опитування дискретних входів.

Вихідні сигнали також поділяються на дискретні та аналогові. Дискретні виходи керують реле, контакторами, стопорами, конвеєром і сигналізацією.

Аналоговий вихід або комунікаційний канал може використовуватися для задання швидкості частотному перетворювачу. У спрощеній навчальній реалізації швидкість можна задавати дискретно: робоча швидкість, мала швидкість гальмування, зупинка.

Вхідні сигнали PLC автоматичного складу наведено у підрозділі 3.2 (таблиця 3.2). До них належать дискретні сигнали аварійної зупинки, контролю дверей, положення ліфта (Home, верхній, нижній кінцевики, датчики рівнів 1–3), наявності вантажу на конвеєрі та платформі, стану стопора, перевантаження, а також імпульсний сигнал енкодера на високошвидкісному вході HSC0.

Вихідні сигнали PLC автоматичного складу наведено у підрозділі 3.2 (таблиця 3.3). До них належать дискретні сигнали дозволу та напрямку руху ліфта (Lift_Up, Lift_Down), запуску конвеєра (Conveyor_Run), керування стопором (Stopper_Open, Stopper_Close), аварійної лампи та зумера, а також аналоговий вихід завдання швидкості ліфта (AQ0).

Наведений перелік вхідних і вихідних сигналів є орієнтовним і може уточнюватися залежно від обраної модифікації PLC та кількості модулів розширення. Однак сама структура сигналів відображає необхідний мінімальний набір для реалізації автоматичного, ручного, Jog та аварійного режимів. Повні таблиці адресації PLC наведено у розділі 3.

Важливо, що частина сигналів має критичне значення для безпеки. До таких сигналів належать Emergency_Stop, Door_Closed, Overload, Lift_Top і Lift_Bottom. Їх обробка не повинна залежати лише від логіки операторського

					ДП.АКІТ.11647019.00.00.00.000 ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата		

інтерфейсу. У програмі PLC ці сигнали мають найвищий пріоритет, а в електричній частині вони повинні бути враховані у колах безпечного вимкнення приводів.

Сигнал енкодера використовується для визначення поточної координати ліфта. Для цього у PLC формується внутрішня змінна Position_Current, значення якої збільшується або зменшується залежно від напрямку руху та кількості імпульсів. Для кожного рівня задається цільова координата Position_Level_N. Рух ліфта завершується тоді, коли поточна координата входить у допустиме вікно позиціонування.

Для перевірки коректності позиціонування доцільно використовувати не лише енкодер, а й дискретні датчики рівнів. Енкодер забезпечує точність, а датчики рівнів виконують функцію додаткового підтвердження. Якщо енкодер показує досягнення координати, але датчик відповідного рівня не активний, PLC повинен сформувати аварію позиціонування.

2.4. Вибір технічних засобів автоматизації

Вибір технічних засобів автоматизації виконується з урахуванням функціональних вимог до системи, кількості вхідних і вихідних сигналів, необхідності взаємодії з НМІ, можливості обробки сигналів енкодера, вимог до безпеки та умов експлуатації складської установки.

Для керування автоматичним складом доцільно використовувати промисловий логічний контролер Siemens S7-1200 або аналогічний PLC. Такий контролер підтримує дискретні та аналогові модулі, високошвидкісні лічильники, обмін даними з НМІ-панелями та програмування у середовищі TIA Portal [6]. Для даної роботи важливо, що PLC може виконувати логіку автомата станів, працювати з таймерами, лічильниками, внутрішніми змінними позиції та аварійними повідомленнями.

Як операторський інтерфейс доцільно використати НМІ-панель Siemens KTP Basic або іншу сумісну панель. НМІ потрібна для вибору режимів Auto,

					ДП.АКІТ.11647019.00.00.00.000 ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата		

Manual і Jog, задання рівня, запуску операцій “взяти” та “покласти”, відображення стану датчиків, перегляду аварій і статистики. Актуальна документація НМІ-панелей Siemens описує їх застосування для операторського керування, візуалізації технологічних параметрів та роботи з повідомленнями.

Для вертикального переміщення платформи можливі два варіанти приводу: асинхронний двигун з частотним перетворювачем або сервопривід. Асинхронний двигун з ПЧ є економічнішим і достатнім для навчальної або малогабаритної установки. Він забезпечує плавний пуск, регулювання швидкості та гальмування. Сервопривід забезпечує вищу точність позиціонування, але має більшу вартість і складніші вимоги до налаштування.

У межах даної роботи базовим варіантом приймається двигун ліфта з частотним перетворювачем та інкрементальним енкодером. Така структура дозволяє поєднати плавне керування швидкістю з контролем фактичного переміщення. Частотний перетворювач отримує від PLC команди на пряму та швидкості, а енкодер повертає інформацію про переміщення платформи.

Для конвеєра доцільно використати мотор-редуктор. Він забезпечує невелику швидкість руху, достатній крутний момент і компактну конструкцію. Конвеєр запускається тільки після дозволу PLC, коли ліфт перебуває у потрібному положенні, стопор відкритий, а зона видачі не заблокована.

Фотоелектричні датчики застосовуються для контролю наявності вантажу на конвеєрі та платформі. Їх перевагою є безконтактний принцип роботи, швидке спрацювання та можливість виявлення об’єктів без механічного контакту. У технічних матеріалах виробників фотоелектричних датчиків зазначається, що такі сенсори широко застосовуються у транспортних і складських системах для виявлення об’єктів.

Індуктивні датчики доцільно застосувати для контролю положення металевих елементів, наприклад стопорів або механічних упорів. Такі датчики стійкі до пилу, не потребують механічного контакту та мають достатню надійність для промислового середовища.

					ДП.АКІТ.11647019.00.00.00.000 ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата		

Таблиця 2.4

Обґрунтування вибору технічних засобів автоматизації

Елемент	Рекомендований тип	Призначення	Причина вибору
PLC	Siemens S7-1200 або аналог	Обробка сигналів і виконання алгоритму	Підтримка HMI, HSC, модулів I/O, таймерів і лічильників
HMI	Siemens KTP Basic або аналог	Операторське керування та візуалізація	Сумісність з PLC, підтримка екранів, аварій і статистики
Привід ліфта	Двигун з ПЧ / сервопривід	Вертикальне переміщення платформи	Плавний пуск, гальмування, керування швидкістю
Енкодер	Інкrementальний	Контроль координати ліфта	Можливість точного позиціонування за імпульсами
Конвеєр	Мотор-редуктор	Горизонтальна подача вантажу	Компактність, достатній момент, проста схема керування
Фото-датчик	Оптичний датчик	Виявлення вантажу	Безконтактний контроль і швидке спрацювання
Індуктивний датчик	Датчик наближення	Контроль стопорів/механічних положень	Стійкість до пилу та вібрацій
Кінцевик	Механічний або магнітний	Контроль крайніх положень і дверей	Простота, надійність, зрозумілий сигнал для PLC
Датчик перевантаження	Тензодатчик або реле навантаження	Захист ліфта	Виявлення перевищення допустимого навантаження
Реле безпеки	Safety relay	Контроль E-Stop і дверей	Безпечне відключення руху незалежно від логіки HMI

Кінцеві вимикачі використовуються як резервний захист крайніх положень. Навіть якщо позиціонування виконується за енкодером, верхній і нижній кінцевики повинні обмежувати рух ліфта та запобігати виходу механізму за допустимі межі. Дверні кінцевики використовуються для блокування руху при відкритій захисній зоні.

Датчик перевантаження потрібний для захисту механічної частини ліфта.

					ДП.АКІТ.11647019.00.00.00.000 ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата		

Якщо маса вантажу перевищує допустиме значення або виникає механічне заклинювання, система повинна зупинити рух і сформувати аварійне повідомлення. Для цього можна використати тензодатчик, реле контролю струму двигуна або спеціалізоване реле навантаження.

Для системи безпеки необхідно передбачити реле безпеки, яке контролює кнопку аварійної зупинки та дверні кінцевики. На відміну від звичайного дискретного входу PLC, реле безпеки може розривати коло дозволу руху приводів, що підвищує рівень захисту оператора та обладнання.

Запропонований набір технічних засобів забезпечує реалізацію всіх необхідних режимів роботи автоматичного складу. При цьому система залишається масштабованою: за потреби можна збільшити кількість рівнів, додати додаткові датчики вантажу, застосувати сервопривід замість частотного перетворювача або реалізувати обмін даними зі SCADA-системою.

У подальших розділах приймається, що керування виконується PLC, а операторський контроль реалізується через HMI. Такий підхід відповідає сучасній практиці побудови локальних систем автоматизації, де PLC відповідає за реальне керування механізмами, а HMI - за взаємодію з оператором.

2.5. Розроблення алгоритму роботи автоматичного складу

Алгоритм роботи автоматичного складу доцільно будувати за принципом скінченного автомата станів. Такий підхід дозволяє чітко визначити, на якому етапі перебуває система, які умови потрібні для переходу до наступного етапу та які дії повинні виконуватися у кожному стані.

Після ввімкнення живлення система переходить у режим ініціалізації. PLC перевіряє стан аварійної кнопки, дверних кінцевиків, датчика перевантаження, крайніх положень і зв'язок із HMI. Якщо активних аварій немає, система може виконати повернення ліфта у початкове положення Home. Це необхідно для синхронізації фактичної позиції механізму з внутрішньою координатою PLC.

					ДП.АКІТ.11647019.00.00.00.000 ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата		

У режимі очікування система не виконує руху, але постійно опитує датчики, оновлює НМІ та контролює аварійні умови. Оператор може вибрати автоматичний, ручний або Jog-режим. Запуск автоматичного циклу дозволяється лише тоді, коли система готова, двері закриті, E-Stop не натиснуто, перевантаження відсутнє, а ліфт перебуває у дозволеному положенні.

В автоматичному режимі оператор задає операцію та номер рівня. PLC перевіряє коректність введеного рівня, визначає цільову координату і порівнює її з поточним положенням ліфта. Якщо цільовий рівень розташований вище поточного положення, формується команда руху вгору; якщо нижче - команда руху вниз.

Під час руху ліфта PLC підраховує імпульси енкодера та контролює наближення до цільової координати. На певній відстані до рівня система переходить із робочої швидкості на швидкість гальмування. Це зменшує ризик перерегулювання та підвищує точність зупинки.

Після досягнення цільової координати PLC вимикає рух, перевіряє датчик рівня та фіксує стан "позиція досягнута". Якщо координата не досягнута за встановлений час, формується аварія тайм-ауту руху. Якщо енкодер не формує імпульси під час поданої команди руху, формується аварія енкодера або приводу.

Після позиціонування виконується передача вантажу. Залежно від операції PLC відкриває стопор або запускає конвеєр. Передача вважається виконаною лише після підтвердження фотоелектричного датчика. Якщо вантаж не з'явився або не зник із потрібної зони за заданий час, система зупиняє цикл і формує повідомлення про помилку передачі.

Після завершення передачі вантажу ліфт повертається у початкове положення Home. Це спрощує подальшу роботу, оскільки кожний новий цикл починається з відомого положення. Після досягнення Home PLC збільшує лічильник циклів, записує результат операції та переводить систему у режим очікування.

					ДП.АКІТ.11647019.00.00.00.000 ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата		

Таблиця 2.5

Стани алгоритму роботи автоматичного складу

Стан	Назва	Дія системи	Умова переходу
S0	Ініціалізація	Перевірка базових сигналів, підготовка змінних	Відсутність критичних аварій
S1	Номе-позиціонування	Повернення ліфта у початкове положення	Активний датчик Lift_Home
S2	Очікування	Система готова до команди оператора	Команда з HMI
S3	Перевірка умов	Контроль E-Stop, дверей, перевантаження, конвеєра	Усі умови дозволу виконані
S4	Вибір операції	Визначення режиму “взяти” або “покласти”	Операція та рівень задані
S5	Рух до рівня	Переміщення ліфта до цільової координати	Координата наближена до заданої
S6	Гальмування	Зниження швидкості перед рівнем	Позиція в зоні зупинки
S7	Точна зупинка	Фіксація платформи на рівні	Позиція підтверджена
S8	Передача вантажу	Керування стопором і конвеєром	Фото-датчик підтвердив операцію
S9	Повернення Номе	Повернення ліфта у початкове положення	Lift_Home = 1
S10	Завершення циклу	Оновлення статистики та HMI	Перехід до очікування
S_ERR	Аварія	Зупинка механізмів, повідомлення HMI	Ручне скидання після усунення причини

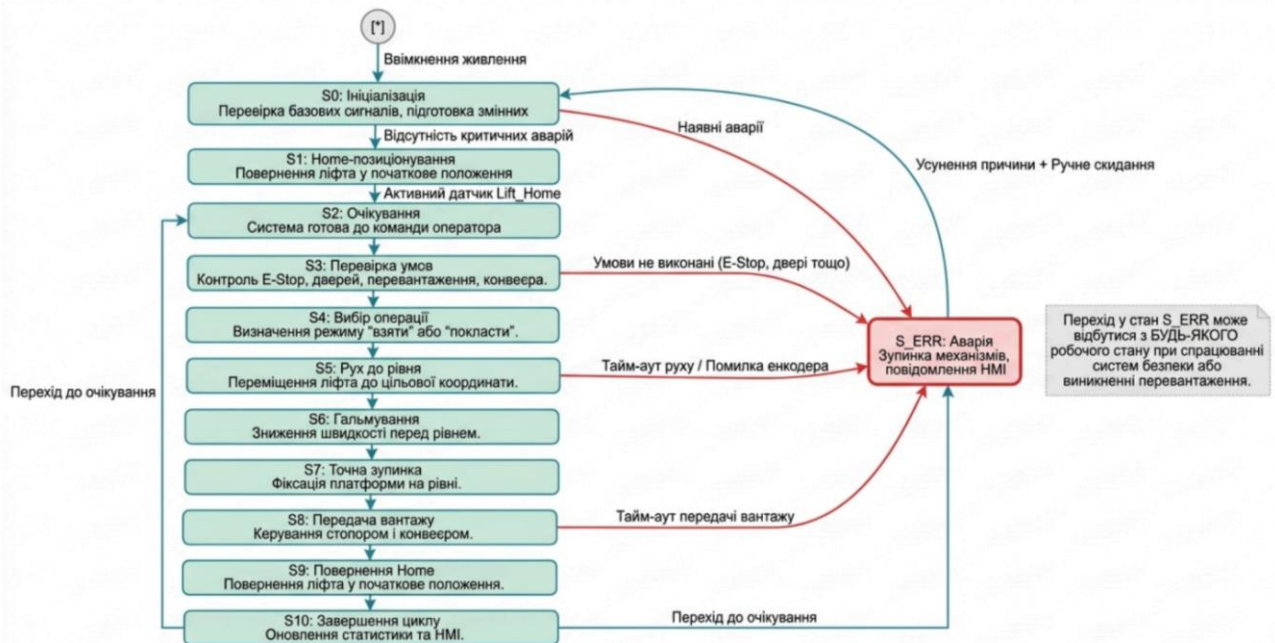


Рисунок 2.2 - Блок-схема алгоритму роботи автоматичного складу

Блок-схема на рисунку 2.2 показує загальну логіку автоматичного циклу. У реальній PLC-програмі кожний блок цієї схеми може відповідати окремому

стану або фрагменту функціонального блока. Така структура спрощує пошук помилок і налагодження, оскільки оператор або інженер може бачити, на якому саме етапі зупинився цикл.

Для ручного режиму алгоритм відрізняється тим, що оператор безпосередньо задає окремі команди руху або керування механізмами. Проте ручний режим не повинен обходити безпеку. Наприклад, команда “рух вгору” не виконується, якщо відкриті двері, активне перевантаження або натиснута аварійна кнопка. Так само забороняється одночасне формування команд Lift_Up і Lift_Down.

Jog-режим є різновидом ручного режиму з обмеженою швидкістю та короткочасною дією команди. Він потрібний для точного підведення платформи під час налагодження. Команда Jog виконується тільки поки оператор утримує відповідну кнопку на НМІ або фізичному пульті, а після відпускання кнопки рух одразу припиняється.

Аварійний режим має найвищий пріоритет. Якщо виникає аварійна умова, PLC повинен негайно скинути команди руху, зупинити конвеєр, закрити або заблокувати стопори, увімкнути аварійну сигналізацію та передати повідомлення на НМІ. Повернення до нормальної роботи можливе лише після усунення причини та ручного скидання аварії оператором.

2.6. Розроблення системи безпеки та аварійних блокувань

Система безпеки автоматичного складу повинна забезпечувати захист оператора, обладнання та вантажу. Оскільки установка містить рухомий ліфт, конвеєр і електромагнітні стопори, небезпечними факторами є затискання, падіння вантажу, перевантаження механізму, помилковий запуск при відкритих дверях, неконтрольований рух платформи та електричні несправності.

Основним елементом безпеки є кнопка аварійної зупинки E-Stop. Її

					ДП.АКІТ.11647019.00.00.00.000 ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата		

натискання повинно призводити до негайного зупинення руху ліфта і конвеєра незалежно від поточного режиму роботи. У програмі PLC сигнал E-Stop формує аварійний стан, блокує виходи керування та відображається на НМІ. В електричній схемі E-Stop повинен бути включений у коло реле безпеки.

Дверні кінцевики або датчики захисного огороження повинні забороняти рух ліфта при відкритій захисній зоні. Якщо двері відкриваються під час автоматичного циклу, система повинна зупинити рух і сформувати аварію або блокування. Після закриття дверей автоматичне продовження руху без підтвердження оператора не рекомендується, оскільки потрібно переконатися, що причина зупинки усунена.

Датчик перевантаження захищає привод і механічну частину ліфта. Перевантаження може виникнути через надмірну масу вантажу, заклинювання платформи або сторонній предмет у зоні руху. У разі спрацювання такого сигналу PLC повинен негайно вимкнути рух і заборонити запуск до ручного скидання.

Такий режим має практичний сенс. Наприклад, вдень сонячні панелі можуть частково або повністю покривати споживання будинку. Якщо потужності панелей недостатньо, навантаження підтримує акумулятор. Коли заряд батареї вже низький, тоді підключається мережа. За рахунок цього зменшується споживання електроенергії від постачальника, а акумулятор і сонячні панелі використовуються не тільки під час аварійних відключень.

Крайні кінцевики верхнього та нижнього положення виконують функцію апаратного захисту від виходу платформи за допустимий діапазон. Вони не повинні використовуватися як основний спосіб позиціонування рівнів, але мають обов'язково контролювати граничні положення. Якщо під час руху спрацьовує верхній або нижній кінцевик у невідповідному стані, система повинна перейти в аварію.

Тайм-аути операцій потрібні для виявлення прихованих несправностей. Наприклад, якщо PLC подав команду руху до рівня, але протягом заданого часу рівень не досягнуто, це може означати несправність приводу, заклинювання,

					ДП.АКІТ.11647019.00.00.00.000 ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата		

помилку енкодера або механічну перешкоду. Аналогічно, якщо після запуску конвеєра фотоелектричний датчик не підтвердив переміщення вантажу, система повинна зупинити цикл.

Важливим блокуванням є заборона одночасного руху ліфта вгору і вниз. Навіть якщо така ситуація виникла через помилку програми, електрична схема повинна виключати одночасне ввімкнення протилежних команд. У PLC це реалізується програмним міжзамиканням, а у силовій частині - взаємним блокуванням контакторів або логікою частотного перетворювача.

Для передачі вантажу також потрібні блокування. Стопор або шибєр не повинен відкриватися, якщо ліфт не досягнув заданого рівня, якщо конвеєр не готовий, якщо вантаж не підтверджений або якщо активна будь-яка аварія. Конвеєр не повинен запускатися, якщо зона видачі зайнята або якщо платформа ліфта не вирівняна з конвеєром.

Усі аварії доцільно поділити на критичні та технологічні. Критичні аварії пов'язані з безпекою оператора та обладнання: E-Stop, відкриті двері, перевантаження, вихід за межі руху. Технологічні аварії пов'язані з неможливістю завершити операцію: відсутність вантажу, зайнята зона видачі, тайм-аут передачі, помилка позиціонування. Для критичних аварій потрібне ручне скидання, а для частини технологічних можна передбачити повтор операції після підтвердження оператором.

Аварійні повідомлення повинні передаватися на НМІ у зрозумілому вигляді. Оператор має бачити не лише факт аварії, а й її причину: "Відкриті двері", "Перевантаження ліфта", "Не досягнуто рівня 2", "Не підтверджено вантаж на конвеєрі". Це спрощує діагностику та скорочує час відновлення роботи.

Для підвищення надійності системи доцільно зберігати журнал аварій із часом виникнення, назвою аварії та станом системи. Навіть якщо у навчальній реалізації журнал буде спрощеним, його наявність демонструє принцип промислового підходу до діагностики. У подальшому журнал можна передавати до SCADA або бази даних.

					ДП.АКІТ.11647019.00.00.00.000 ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата		

Таким чином, система безпеки автоматичного складу має бути побудована багаторівнево: апаратні засоби захисту, програмні блокування PLC, аварійні повідомлення НМІ та регламент ручного скидання після усунення причини.

Такий підхід дозволяє знизити ризик пошкодження обладнання, запобігти небезпечним ситуаціям і забезпечити контрольоване виконання технологічного циклу.

Результатом розділу є сформована структура автоматичного складу з ліфтом-підйомником, опис технологічного процесу, перелік інформаційних сигналів, вибір технічних засобів, алгоритм роботи та система аварійних блокувань. Ці матеріали є основою для подальшого розроблення щита керування, таблиці входів/виходів, НМІ-інтерфейсу та програмного забезпечення PLC.

					ДП.АКІТ.11647019.00.00.00.000 ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата		

3. РОЗРОБЛЕННЯ МОДУЛЯ КЕРУВАННЯ ЛІФТОМ-ПІДЙОМНИКОМ І КОНВЕЄРОМ

Розроблення модуля керування є завершальним етапом проектування автоматичного складу з ліфтом-підйомником. Якщо у попередньому розділі було визначено технологічний процес, структуру системи, склад сигналів та загальний алгоритм, то в цьому розділі розглядається практична реалізація керування на рівні щита, PLC-програми, HMI-інтерфейсу та імітаційної перевірки.

Модуль керування повинен забезпечувати узгоджену роботу ліфта-підйомника, горизонтального конвеєра, електромагнітних стопорів, датчиків положення, фотоелектричних датчиків, енкодера та засобів безпеки. Основним пристроєм керування є промисловий логічний контролер, який виконує обробку сигналів, керує виконавчими механізмами, формує аварійні повідомлення і передає інформацію на HMI-панель оператора.

Під час розроблення модуля керування враховано вимоги до безпечної роботи: аварійна зупинка має найвищий пріоритет, рух ліфта забороняється при відкритих дверях або перевантаженні, одночасне ввімкнення руху вгору та вниз блокується програмно, а кожна технологічна операція контролюється тайм-аутом. Такий підхід дозволяє підвищити надійність системи та зменшити ймовірність пошкодження вантажу або механізмів.

3.1. Розроблення щита керування автоматичного складу

Щит керування автоматичного складу призначений для розміщення електротехнічних і електронних компонентів системи керування. У ньому встановлюються пристрої захисту, блок живлення, PLC, модулі входів/виходів, реле безпеки, частотний перетворювач або серводрайвер, контактори, клемні колодки та елементи сигналізації. Така структура забезпечує централізоване

					ДП.АКІТ.11647019.00.00.00.000 ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата		

підключення датчиків і виконавчих механізмів та спрощує діагностику системи.

Силова частина щита забезпечує живлення двигуна ліфта-підйомника, двигуна горизонтального конвеєра та електромагнітних стопорів. Керуюча частина працює від напруги 24 В DC, що є типовим рішенням для промислових систем автоматизації. Відокремлення силових і керуючих кіл зменшує вплив електромагнітних завад на сигнали датчиків та підвищує надійність роботи PLC.

Блок живлення 24 В DC використовується для живлення контролера, дискретних датчиків, реле та сигнальних пристроїв. Привід ліфта підключається через частотний перетворювач або серводрайвер. Якщо використовується двигун з частотним перетворювачем, PLC передає команди дозволу руху, напрямку та завдання швидкості. Якщо використовується сервопривід, додатково може передаватися команда позиціонування або імпульсний сигнал керування.

Реле безпеки використовується для обробки сигналів аварійної зупинки та дверних кінцевих вимикачів. У разі натискання кнопки E-Stop або відкриття захисних дверей реле безпеки має розірвати ланцюг дозволу руху приводів незалежно від стану програми PLC. PLC при цьому отримує інформаційний сигнал про аварійну подію та відображає її на HMI.

					ДП.АКІТ.11647019.00.00.00.000 ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата		

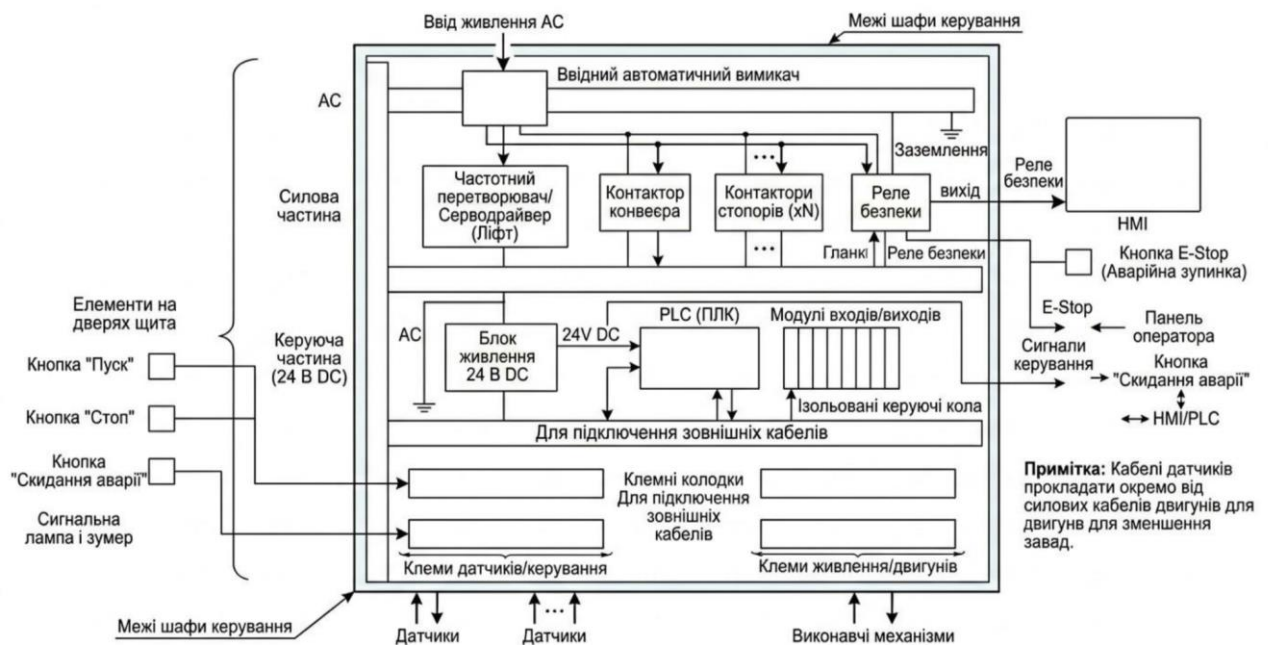


Рисунок 3.1 - Схема компонування щита керування автоматичного складу

Таблиця 3.1

Основні елементи щита керування

Елемент	Призначення	Особливості застосування
Ввідний автоматичний вимикач	Захист силового кола від короткого замикання та перевантаження	Встановлюється на вході живлення щита
Блок живлення 24 В DC	Живлення PLC, датчиків, реле та сигналізації	Повинен мати запас за струмом для підключення всіх споживачів
PLC	Центральний пристрій керування	Обробляє сигнали датчиків і формує команди виконавчим механізмам
Модулі входів/виходів	Розширення кількості сигналів	Використовуються для підключення додаткових датчиків і приводів
Реле безпеки	Контроль аварійної зупинки та дверей	Забезпечує апаратне блокування небезпечного руху
Частотний перетворювач або серводрайвер	Керування приводом ліфта	Забезпечує плавний пуск, гальмування і контроль швидкості
Контактори	Комутація силових ланцюгів	Застосовуються для конвеєра, стопорів або допоміжних механізмів
Клемні колодки	Підключення зовнішніх кабелів	Спрощують монтаж, обслуговування та діагностику
Сигнальна лампа і зумер	Світлова та звукова індикація	Інформують оператора про аварію або готовність системи

Під час компонування щита важливо забезпечити зручний доступ до

					ДП.АКІТ.11647019.00.00.00.000 ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата		

елементів, які потребують періодичної перевірки або обслуговування.

Автоматичні вимикачі та клемні колодки розміщують так, щоб оператор або електромонтер міг швидко виконати діагностику. Силові пристрої доцільно відокремити від низьковольтної частини, а кабелі датчиків прокладати окремо від силових кабелів двигунів.

Для забезпечення наочності роботи системи на дверях щита або поруч із НМІ можуть розміщуватися кнопки “Пуск”, “Стоп”, “Скидання аварії”, аварійна кнопка E-Stop і сигнальна лампа.

При цьому основне керування режимами, вибір рівня, перегляд станів і журнал аварій виконуються через НМІ-панель.

3.2. Розроблення таблиці входів/виходів PLC

Таблиця входів/виходів PLC є основою для подальшого програмування контролера та розроблення електричної схеми підключення. У ній визначаються адреси сигналів, їхні умовні позначення, типи та функціональне призначення.

Для автоматичного складу з ліфтом-підйомником використовуються дискретні входи, дискретні виходи, аналоговий вихід завдання швидкості та високошвидкісний вхід для обробки імпульсів енкодера.

Дискретні входи PLC призначені для приймання сигналів від кнопок, кінцевих вимикачів, фотоелектричних датчиків, індуктивних датчиків, датчика перевантаження та реле безпеки. Дискретні виходи використовуються для керування контакторами, електромагнітними стопорами, сигнальними лампами та дозволами роботи приводів. Аналоговий вихід може використовуватися для передавання завдання швидкості на частотний перетворювач.

Для контролю положення ліфта доцільно використати енкодер, підключений до високошвидкісного лічильника PLC. У контролерах промислового рівня, зокрема сімейства S7-1200, передбачено можливість

					ДП.АКІТ.11647019.00.00.00.000 ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата		

обробки швидкісних імпульсних сигналів, що дозволяє реалізувати підрахунок імпульсів енкодера та визначати поточну координату механізму.

Таблиця 3.2
Дискретні входи PLC

Адреса	Позначення	Джерело сигналу	Призначення
I0.0	Emergency_Stop	Кнопка E-Stop / реле безпеки	Аварійна зупинка системи
I0.1	Door_Closed	Дверний кінцевий вимикач	Підтвердження закриття захисних дверей
I0.2	Lift_Home	Кінцевий вимикач home	Початкове положення ліфта
I0.3	Lift_Top	Верхній кінцевий вимикач	Контроль верхнього крайнього положення
I0.4	Lift_Bottom	Нижній кінцевий вимикач	Контроль нижнього крайнього положення
I0.5	Box_On_Conveyor	Фотоелектричний датчик	Наявність вантажу на конвеєрі
I0.6	Box_On_Platform	Фотоелектричний датчик	Наявність вантажу на платформі ліфта
I0.7	Overload	Датчик перевантаження	Контроль перевищення допустимої маси
I1.0	Level_1	Датчик рівня 1	Підтвердження позиції першого рівня
I1.1	Level_2	Датчик рівня 2	Підтвердження позиції другого рівня
I1.2	Level_3	Датчик рівня 3	Підтвердження позиції третього рівня
I1.3	Stopper_Closed	Індуктивний датчик	Підтвердження закриття стопора
I1.4	Stopper_Opened	Індуктивний датчик	Підтвердження відкриття стопора

Таблиця 3.3
Вихідні сигнали PLC

Адреса	Позначення	Приймач сигналу	Призначення
Q0.0	Lift_Enable	Привід ліфта	Дозвіл роботи приводу
Q0.1	Lift_Up	Привід ліфта	Команда руху ліфта вгору
Q0.2	Lift_Down	Привід ліфта	Команда руху ліфта вниз
Q0.3	Conveyor_Run	Контактор/привід конвеєра	Запуск горизонтального конвеєра
Q0.4	Stopper_Open	Електромагнітний стопор	Відкриття стопора або шибера
Q0.5	Stopper_Close	Електромагнітний стопор	Закриття стопора або шибера
Q0.6	Alarm_Lamp	Сигнальна лампа	Світлова індикація аварії
Q0.7	Buzzer	Звуковий сигналізатор	Звукове попередження оператора
AQ0	Lift_Speed	Частотний перетворювач	Завдання швидкості руху ліфта

Адресація сигналів може бути уточнена під час остаточного вибору конкретної моделі PLC і модулів розширення. У роботі наведено типову таблицю сигналів, достатню для реалізації автоматичного, ручного та

					ДП.АКІТ.11647019.00.00.00.000 ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата		

аварійного режимів. Частину входів і виходів доцільно залишити резервними, щоб у майбутньому можна було розширити кількість рівнів зберігання або додати додаткові датчики.

Особливу увагу потрібно приділити сигналам безпеки. Сигнали E-Stop, Door_Closed і Overload не повинні використовуватися лише як інформаційні. Вони мають впливати на дозвіл руху приводів і програмно, і апаратно. Такий підхід дозволяє уникнути небезпечного руху навіть у разі помилки програми.

3.3. Розроблення HMI-інтерфейсу оператора

HMI-інтерфейс призначений для взаємодії оператора з автоматичним складом. Через панель оператор отримує інформацію про поточний стан системи, обирає режим роботи, задає операцію, вибирає рівень зберігання, переглядає аварії та виконує скидання помилок після усунення причин їх виникнення. HMI також використовується для відображення статистики циклів і налаштування технологічних параметрів.

У системі передбачено три основні режими роботи: автоматичний, ручний і Jog. В автоматичному режимі оператор задає лише операцію та номер рівня, а всі подальші дії виконує PLC. У ручному режимі оператор може окремо запускати ліфт, конвеєр і стопори для перевірки або обслуговування. Jog-режим використовується для коротких переміщень ліфта під час налагодження або точного встановлення механізму.

Панелі HMI промислового виконання підтримують роботу з екранами станів, кнопками керування, аварійними повідомленнями та обміном даними з PLC через промислові протоколи. Для систем на базі Siemens доцільно використовувати HMI-панелі, що інтегруються з PLC через середовище TIA Portal.

					ДП.АКІТ.11647019.00.00.00.000 ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата		

Структура HMI-інтерфейсу оператора

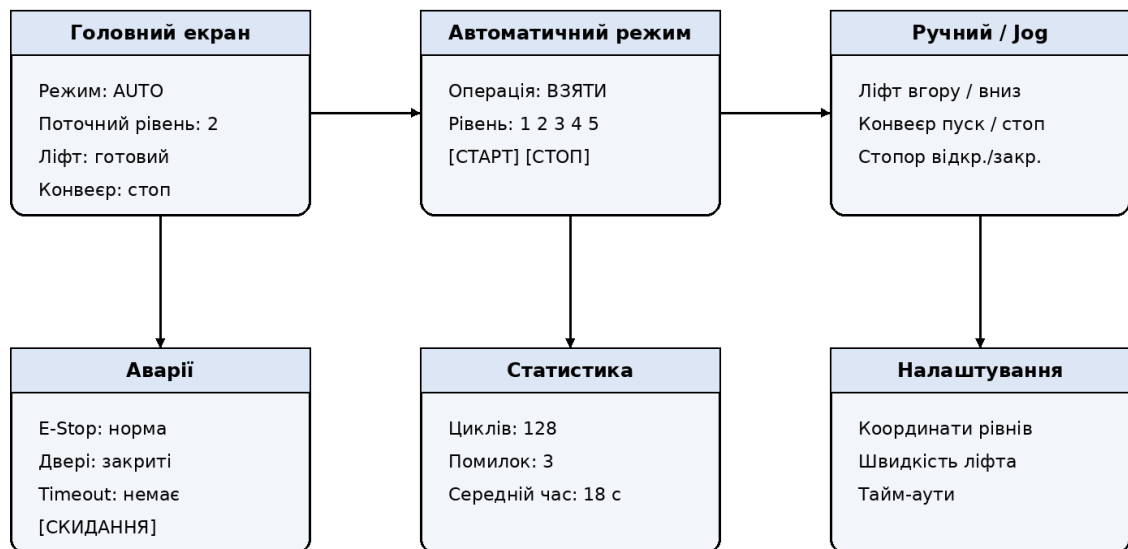


Рисунок 3.2 - Структура HMI-інтерфейсу оператора

Таблиця 3.4
 Призначення екранів HMI

Екран	Основні елементи	Призначення
Головний екран	Поточний режим, рівень, стан ліфта, стан конвеєра	Швидкий контроль загального стану системи
Автоматичний режим	Вибір операції, вибір рівня, кнопки Start/Stop	Запуск автоматичного циклу “взяти” або “покласти”
Ручний режим	Кнопки ліфта, конвеєра, стопорів	Перевірка механізмів і сервісне керування
Jog-режим	Кнопки короткого руху вгору/вниз	Точне налагодження положення ліфта
Аварії	Список активних аварій, кнопка Reset	Діагностика та скидання після усунення причини
Статистика	Лічильник циклів, кількість аварій, час роботи	Оцінка продуктивності та контролю роботи
Налаштування	Координати рівнів, швидкість, тайм-аути	Параметрування системи під конкретний стенд

На головному екрані оператор повинен бачити мінімальний набір критично важливих параметрів: режим роботи, поточний рівень, стан ліфта, стан конвеєра, стан дверей та наявність активної аварії. Це дозволяє швидко оцінити готовність системи до роботи без переходу між кількома екранами.

Екран автоматичного режиму має бути максимально простим. Оператор обирає операцію “взяти” або “покласти”, задає рівень і натискає кнопку запуску. Перед запуском PLC перевіряє умови безпеки. Якщо хоча б одна умова не виконана, запуск блокується, а на екрані відображається причина.

На екрані аварій відображаються активні та історичні повідомлення. Для кожної аварії бажано показувати назву, час виникнення і коротку рекомендацію щодо дій оператора. Наприклад, для аварії “Відкриті двері” вказується необхідність закрити двері, а для аварії “Timeout руху ліфта” - перевірити механічний вузол або датчики положення.

Екран налаштувань повинен бути захищений від випадкової зміни параметрів. До нього доцільно надати доступ лише персоналу, який виконує налагодження. Основними параметрами є координати рівнів, швидкість руху ліфта, зона гальмування, час очікування спрацювання датчиків і тайм-аут технологічних операцій.

3.4. Розроблення програмного забезпечення PLC

Програмне забезпечення PLC реалізує послідовну логіку роботи автоматичного складу, обробку режимів, керування приводами, контроль аварійних ситуацій і обмін даними з НМІ. Для підвищення надійності та зручності обслуговування програму доцільно будувати за модульним принципом, коли кожна функціональна частина системи реалізується окремим програмним блоком.

Головний цикл програми виконується в організаційному блоці OB1. У ньому послідовно викликаються блоки перевірки аварій, обробки режимів, керування ліфтом, позиціонування, керування конвеєром, керування стопорами та оновлення даних НМІ. Аварійний блок повинен викликатися на початку циклу, оскільки аварії мають найвищий пріоритет.

Логіка автоматичного режиму реалізується як автомат станів. Такий підхід зручний для систем, де операції виконуються у фіксованій послідовності: перевірка умов, рух до рівня, гальмування, зупинка, передача вантажу, підтвердження операції та повернення у початкове положення.

					ДП.АКІТ.11647019.00.00.00.000 ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата		

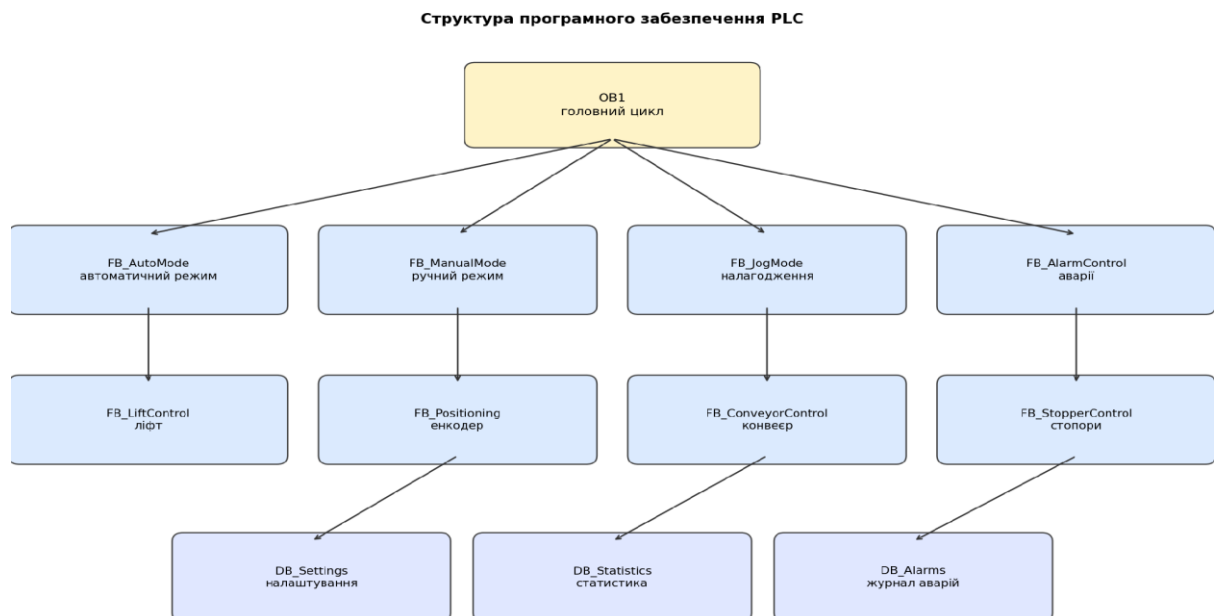


Рисунок 3.3 - Структура програмного забезпечення PLC

Таблиця 3.5

Програмні блоки PLC

Блок	Призначення	Основні функції
OB1	Головний цикл програми	Виклик основних функціональних блоків
FB_AutoMode	Автоматичний режим	Обробка команди, вибір рівня, виконання циклу
FB_ManualMode	Ручний режим	Окреме керування ліфтом, конвеєром і стопорами
FB_JogMode	Jog-режим	Короткі переміщення ліфта під час налагодження
FB_LiftControl	Керування ліфтом	Дозвіл руху, напрям, швидкість, зупинка
FB_Positioning	Позиціонування	Обробка енкадера, координати рівнів, зона гальмування
FB_ConveyorControl	Керування конвеєром	Запуск, зупинка, тайм-аут передачі вантажу
FB_StopperControl	Керування стопорами	Відкриття, закриття, контроль положення
FB_AlarmControl	Аварії	Формування, фіксація та скидання аварій
DB_Settings	Налаштування	Координати рівнів, швидкості, тайм-аути
DB_Statistics	Статистика	Лічильники циклів, час роботи, кількість аварій

Блок FB_LiftControl виконує керування вертикальним переміщенням. Він формує команди Lift_Up, Lift_Down і Lift_Enable, а також контролює умови, за яких рух дозволений. Якщо активна аварія, відкриті двері, спрацювало перевантаження або досягнуто крайнє положення, рух блокується.

Блок FB_Positioning обробляє імпульси енкадера і визначає поточне

					ДП.АКІТ.11647019.00.00.00.000 ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата		

положення ліфта. Для кожного рівня в DB_Settings зберігається цільова координата. Під час руху контролер порівнює поточне значення з цільовим. Коли ліфт наближається до заданого рівня, активується зона гальмування, після чого швидкість зменшується. Після досягнення цільової координати привід зупиняється.

Блок FB_ConveyorControl керує горизонтальним конвеєром. У режимі видачі він запускає конвеєр після підтвердження положення ліфта і відкриття стопора. У режимі приймання конвеєр працює до моменту, коли фотоелектричний датчик підтвердить наявність вантажу у потрібній зоні. Якщо підтвердження не отримано за встановлений час, формується аварія тайм-ауту.

Блок FB_AlarmControl контролює аварійні умови. До них належать E-Stop, відкриті двері, перевантаження, помилка енкодера, перевищення часу руху, відсутність підтвердження вантажу, конфлікт напрямів руху та помилка положення стопора. Аварія фіксується у пам'яті до ручного скидання оператором після усунення причини.

Таблиця 3.6

Логіка станів автоматичного режиму

Стан	Назва	Умова переходу до наступного стану
S0	Очікування	Натиснуто Start і задано операцію
S1	Перевірка умов	E-Stop не активний, двері закриті, перевантаження відсутнє
S2	Розрахунок цілі	Визначено координату потрібного рівня
S3	Рух до рівня	Ліфт досягнув зони гальмування
S4	Гальмування	Ліфт досягнув цільової координати
S5	Точна зупинка	Положення підтверджено енкодером або датчиком рівня
S6	Передача вантажу	Фото-датчик підтвердив зміну положення вантажу
S7	Повернення Home	Ліфт досягнув початкового положення
S8	Завершення	Оновлено статистику і HMI
S_ERR	Аварія	Причину усунуто і натиснуто Reset

Для ручного режиму логіка простіша, але вона також повинна враховувати блокування. Наприклад, команда руху вгору дозволяється лише тоді, коли не активний верхній кінцевик, двері закриті, аварія відсутня і не натиснута команда руху вниз. Аналогічно команда руху вниз блокується при спрацюванні нижнього кінцевого.

Log-режим відрізняється від ручного режиму тим, що рух відбувається

					ДП.АКІТ.11647019.00.00.00.000 ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата		

короткими імпульсами або лише під час утримання кнопки. Це зменшує ризик випадкового зміщення ліфта на велику відстань і корисно під час налагодження координат рівнів.

Дані для НМІ зберігаються у відповідних змінних: поточний режим, активний стан автомата, поточний рівень, цільовий рівень, поточна координата енкодера, активна аварія, кількість циклів і час останнього циклу. НМІ не повинна напряду керувати виходами PLC; вона лише передає команди, які перевіряються програмною логікою контролера.

3.5. Імітаційна перевірка роботи системи

Імітаційна перевірка потрібна для підтвердження правильності алгоритмів до підключення реального обладнання. Вона дозволяє перевірити послідовність станів, реакцію на сигнали датчиків, роботу тайм-аутів, формування аварій і відображення інформації на НМІ. Для системи на базі Siemens перевірку можна виконувати у середовищі TIA Portal із використанням програмної імітації PLC та НМІ.

Під час імітації замість реальних датчиків використовуються змінні, які вручну або за допомогою тестового блоку змінюють свій стан. Наприклад, для перевірки досягнення рівня змінюється значення координати енкодера або активується відповідний дискретний сигнал Level_1, Level_2 чи Level_3. Для перевірки фотоелектричного датчика задається сигнал Box_On_Conveyor або Box_On_Platform.

Перевірка має охоплювати не лише нормальні сценарії, а й аварійні. Це важливо, оскільки помилки у логіці безпеки можуть бути небезпечнішими, ніж помилки у звичайному технологічному циклі. Особливо потрібно перевірити, що аварійна зупинка має пріоритет над усіма командами, а після аварії система не запускається автоматично без участі оператора.

					ДП.АКІТ.11647019.00.00.00.000 ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата		

Таблиця 3.7

Сценарії імітаційної перевірки

Сценарій	Початкові умови	Очікувана реакція системи	Результат
Нормальний цикл “взяти”	Двері закриті, аварій немає, задано рівень	Ліфт рухається до рівня, вантаж передається, ліфт повертається Home	Виконано
Нормальний цикл “покласти”	Вантаж на конвеєрі, задано рівень	Ліфт приймає вантаж і переміщує його на заданий рівень	Виконано
Натиснуто E-Stop	Система виконує рух	Усі механізми зупиняються, формується аварія	Виконано
Відкриті двері	Система готова до старту	Запуск блокується, на НМІ показується повідомлення	Виконано
Перевантаження	Вантаж на платформі	Рух ліфта забороняється, формується аварія	Виконано
Не досягнуто рівня	Ліфт рухається довше допустимого часу	Формується Timeout руху	Виконано
Втрата імпульсів енкодера	Команда руху активна, імпульсів немає	Формується помилка енкодера	Виконано
Не підтверджено вантаж	Конвеєр працює, фото-датчик не спрацював	Цикл зупиняється, формується аварія	Виконано
Конфлікт напрямів	Активні команди вгору і вниз	Виходи руху відключаються, формується аварія	Виконано

У нормальному циклі “взяти” система повинна пройти стани S0-S8 без переходу в аварію. Після завершення циклу лічильник успішних циклів збільшується на одиницю, а на НМІ відображається повідомлення про готовність до наступної команди.

Під час перевірки аварійного сценарію E-Stop команда зупинки має виконуватися незалежно від поточного стану. Якщо аварійна кнопка натиснута під час руху ліфта або конвеєра, виходи Lift_Enable, Lift_Up, Lift_Down і Conveyor_Run повинні перейти у безпечний стан. Після відпускання E-Stop система не повинна самостійно продовжувати цикл; потрібне ручне скидання аварії.

Сценарій втрати сигналу енкодера перевіряє здатність системи виявляти ситуацію, коли команда руху активна, але імпульси положення не надходять. Така ситуація може виникнути при несправності енкодера, кабелю або механічного зв'язку з валом. У цьому випадку рух має бути зупинений, а оператор повинен отримати повідомлення про помилку позиціонування.

					ДП.АКІТ.11647019.00.00.00.000 ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата		

3.6. Оцінка ефективності роботи автоматичного складу

Оцінка ефективності автоматичного складу потрібна для визначення якості розробленої системи керування. Для цього використовуються показники, які характеризують швидкодію, точність, надійність і безпеку роботи.

Основними показниками є час циклу, точність зупинки ліфта, відсоток безпомилкових циклів, час реакції на аварію та кількість аварійних подій.

Час циклу визначається як інтервал від моменту натискання кнопки Start до моменту повернення ліфта у початкове положення та завершення операції. Цей показник залежить від висоти рівня, швидкості ліфта, часу гальмування, часу роботи стопора і конвеєра. Для різних рівнів час циклу може відрізнятися, тому доцільно вести статистику окремо за кожним рівнем.

Точність зупинки визначається як різниця між заданою координатою рівня та фактичною координатою ліфта після завершення позиціонування. При використанні енкодера точність залежить від його роздільної здатності, механічного люфту, налаштування гальмування та швидкості руху. Якщо похибка перевищує допустиме значення, система повинна повідомити оператора про помилку позиціонування.

Таблиця 3.8

Показники ефективності автоматичного складу

Показник	Метод визначення	Практичне значення
Час циклу	Вимірювання часу від Start до завершення циклу	Характеризує продуктивність системи
Точність зупинки	Порівняння заданої та фактичної координати	Визначає якість позиціонування ліфта
Відсоток безпомилкових циклів	Успішні цикли / загальна кількість циклів	Оцінює надійність роботи
Час реакції на аварію	Інтервал від аварійної події до зупинки	Характеризує рівень безпеки
Кількість аварій	Дані журналу НМІ	Допомагає виявляти проблемні вузли
Час повернення Home	Час від завершення операції до початкового положення	Впливає на готовність до наступного циклу

Відсоток безпомилкових циклів показує надійність роботи системи

					ДП.АКІТ.11647019.00.00.00.000 ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата		

протягом певного періоду. Він обчислюється як відношення кількості успішно завершених циклів до загальної кількості запущених циклів. Цей показник може виводитися на екран статистики HMI.

Для навчального або лабораторного стенда достатньо оцінювати показники в умовах імітаційної моделі. Для промислового застосування такі показники потрібно уточнювати під час пусконаладжувальних робіт на реальному обладнанні. Дані, отримані з HMI або SCADA, можуть бути використані для подальшої оптимізації швидкостей руху, зон гальмування і тайм-аутів.

Підвищення ефективності системи можливе за рахунок точнішого налаштування координат рівнів, використання сервоприводу замість двигуна з частотним перетворювачем, оптимізації алгоритму повернення в Home та зменшення часу простою між операціями. Додаткове підключення SCADA дозволить збирати статистику за тривалий період і аналізувати причини аварійних зупинок.

Таким чином, розроблений модуль керування забезпечує повний цикл роботи автоматичного складу з ліфтом-підйомником: приймання команди оператора, позиціонування ліфта, керування конвеєром і стопорами, контроль датчиків, формування аварій та виведення інформації на HMI. Це створює основу для практичної реалізації системи або її використання як навчального стенда з PLC-керуванням.

					ДП.АКІТ.11647019.00.00.00.000 ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата		

ВИСНОВКИ

У кваліфікаційній роботі розглянуто задачу розроблення автоматичного складу з ліфтом-підйомником, призначеного для переміщення ящиків або піддонів між рівнями стелажів і подачі вантажу на горизонтальний конвеєр видачі. Запропонована система поєднує вертикальне переміщення вантажу, конвеєрну подачу, датчиковий контроль, PLC-керування, HMI-візуалізацію та аварійні блокування.

Проведено аналіз сучасних автоматичних складських систем і визначено, що для компактної складської установки доцільно використовувати структуру з вертикальним ліфтом-підйомником, декількома рівнями зберігання, горизонтальним конвеєром та локальним контролером. Такий підхід забезпечує простішу механічну структуру порівняно зі складними AS/RS-системами, але дає можливість реалізувати основні функції автоматичного зберігання та видачі вантажів.

Проаналізовано системи вертикального переміщення вантажів і обґрунтовано використання ліфта-підйомника як базового механізму для автоматичного складу. Для підвищення точності зупинки на рівнях передбачено контроль положення за допомогою енкодера, а для обмеження крайніх положень — кінцеві вимикачі верхнього, нижнього та початкового положення.

Визначено склад технічних засобів автоматизації системи. До нього входять промисловий логічний контролер, HMI-панель, фотоелектричні датчики наявності вантажу, індуктивні датчики положення, енкодер приводу ліфта, датчик перевантаження, частотний перетворювач або сервопривід, мотор-редуктор конвеєра, електромагнітні стопори/шибери та реле безпеки.

Розроблено структурну схему автоматичного складу з ліфтом-підйомником. Центральним елементом системи є PLC, який приймає сигнали від датчиків, обробляє команди оператора з HMI, формує керувальні сигнали для приводу ліфта, конвеєра, стопорів і аварійної індикації.

Виконано аналіз об'єкта керування та інформаційних сигналів системи.

					ДП.АКІТ.11647019.00.00.00.000 ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата		

Сформовано перелік вхідних і вихідних сигналів PLC, зокрема сигнали аварійної зупинки, контролю дверей, наявності вантажу, положення ліфта, перевантаження, запуску конвеєра, керування рухом ліфта та аварійної сигналізації.

Розроблено алгоритм роботи автоматичного складу у вигляді послідовності станів. Алгоритм передбачає очікування команди, перевірку умов безпечного запуску, вибір операції “взяти” або “покласти”, рух ліфта до заданого рівня, гальмування, точну зупинку, передачу вантажу, підтвердження операції, повернення в початкове положення та завершення циклу.

Передбачено ручний режим і Jog-режим, які дозволяють оператору виконувати налагодження, перевірку датчиків, короткі переміщення ліфта та ручне керування окремими механізмами. Для запобігання небезпечним діям у ручному режимі зберігаються основні блокування безпеки.

Розроблено систему безпеки та аварійних блокувань. Вона включає контроль аварійної кнопки E-Stop, дверних кінцевиків, перевантаження, крайніх положень ліфта, тайм-аутів руху та передачі вантажу, помилки енкодера, помилки фотоелектричного датчика і заборони одночасного руху ліфта в протилежних напрямках.

Запропоновано структуру НМІ-інтерфейсу оператора. Вона включає головний екран, екран автоматичного режиму, екран ручного керування, Jog-режим, екран аварій, екран статистики та екран налаштувань. НМІ забезпечує вибір режиму роботи, вибір рівня, контроль стану ліфта і конвеєра, перегляд аварій та облік циклів.

Розроблено структуру програмного забезпечення PLC. Програма поділена на функціональні блоки автоматичного режиму, ручного режиму, Jog-режиму, керування ліфтом, обробки позиціонування, керування конвеєром, керування стопорами, формування аварій, збереження налаштувань і статистики.

Проведено імітаційну перевірку основних сценаріїв роботи системи. Перевірено нормальні цикли “взяти” та “покласти”, спрацювання аварійної

					ДП.АКІТ.11647019.00.00.00.000 ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата		

зупинки, відкриття дверей, перевантаження, втрату сигналу енкодера, відсутність підтвердження вантажу та перевищення часу руху.

Для оцінки ефективності автоматичного складу запропоновано використовувати такі показники: час одного циклу, точність зупинки ліфта, відсоток безпомилкових циклів, час реакції на аварію, кількість аварійних подій і час повернення ліфта у початкове положення.

Практичне значення роботи полягає в тому, що запропонована структура може бути використана як основа для навчального стенда, лабораторної моделі або компактної складської установки. Подальший розвиток системи може передбачати інтеграцію зі SCADA, підключення до бази даних складських операцій, RFID-ідентифікацію вантажів, розширення кількості рівнів зберігання та використання сервоприводу для підвищення точності позиціонування.

					ДП.АКІТ.11647019.00.00.00.000 ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата		

ПЕРЕЛІК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Методичні рекомендації до виконання кваліфікаційної роботи за освітнім ступенем “бакалавр” спеціальності 151 – Автоматизація та
2. комп’ютерно-інтегровані технології / під ред. А. І. Сегіна. Тернопіль: ЗУНУ, 2021. 36 с.
3. Review on Automated Storage and Retrieval System for Warehouse // Journal of Intelligent Warehousing and Engineering. 2024. URL: <https://journals.mmupress.com/index.php/jiwe/article/view/919>
4. Automated Storage and Retrieval Systems: A Comprehensive Review. ResearchGate. 2025. URL: https://www.researchgate.net/publication/388354352_Automated_Storage_and_Retrieval_Systems_A_Comprehensive_Review
5. Attabotics. Automated Storage and Retrieval Systems: Trends Report. 2023. URL: https://www.attabotics.com/wp-content/uploads/2023/03/Attabotics-ASRS-Trends-Report_2023.pdf
6. Rizqi Z. U. et al. Energy harvesting for automated storage and retrieval systems using regenerative braking system // Transportation Research Part D. 2024. URL: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S1366554524003727>
7. Survey on automated systems for smart warehouses. Politecnico di Torino. 2023. URL: <https://webthesis.biblio.polito.it/29879/1/tesi.pdf>
8. SSI SCHAEFER. The SSI LOGIMAT Vertical Lift Module at Logistics & Automation 2024. 2024. URL: <https://www.ssi-schaefer.com/en-de/newsroom/news/the-ssi-logimat-vertical-lift-module-at-logistics-automation-2024-1807650Y>
9. SSI SCHAEFER. Automation with the Vertical Lift Module. 2024. URL: <https://www.ssi-schaefer.com/lt/nauijenos/%C4%AFmon%C4%97s-tinklara%C5>

					ДП.АКІТ.11647019.00.00.00.000 ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата		

- %A1tis/let-s-talk-2024-automation-with-the-vertical-lift-module--1981932
- 10.Modula. Warehouse Automation Technology and Vertical Lift Modules. 2024.
URL: <https://modula.asia/modern-warehouse-technology/>
 - 11.Kardex. Vertical Lift Module (VLM) warehouse automation blog. 2026. URL:
<https://www.kardex.com/en-us/blog/tag/vertical-lift-module-vlm>
 - 12.Conveyor Systems Ltd. Complete Automation Solutions: Efficiency in Motion.
2026. URL:
https://conveyorsystemsltd.co.uk/wp-content/downloads/CSL-System-Sales-Broc_hure-2026.pdf
 - 14.STEIN Automation. Next Level Conveyor Technology. Image Brochure. 2024.
URL:https://www.stein-automation.de/wp-content/uploads/STEIN_Imagebrochuere_J an2024_EN.pdf
 - 15.PFlow Industries. Fully Automated Conveyor Systems. 2021. URL:
<https://www.pflow.com/fully-automated-conveyor-systems/>
 - 16.Almtireen N. PLC-Controlled Intelligent Conveyor System with AI-Based Vision for Waste Sorting // Applied Sciences. 2025. URL:
<https://www.mdpi.com/2076-3417/15/3/1550>
 - 17.Tomar B., Kumar N., Sreejeth M. Real Time Automation and Ratio Control Using PLC & SCADA in Industry 4.0. 2023. URL:
https://www.researchgate.net/publication/366764826_Real_Time_Automation_and_Ratio_Control_Using_PLC_SCADA_in_Industry_40
 - 18.Siemens AG. SIMATIC S7-1200 G2 Programmable Logic Controller. System Manual. 01/2025. URL:
https://support.industry.siemens.com/dl/files/011/109972011/att_1308257/v1/S71200_G2_system_manual_en-US.pdf
 - 19.Siemens AG. SIMATIC S7-1200 Programmable Controller. System Manual V4.7.12/2024.URL:https://support.industry.siemens.com/cs/attachments/109977302/s71200_system_manual_en-US.pdf
 - 20.Siemens AG. Basic Panels 2nd Generation. Operating Instructions. 10/2024.
URL:<https://support.industry.siemens.com/cs/attachments/90114350/HWBasic>

					ДП.АКІТ.11647019.00.00.00.000 ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата		

Panels2 GenUS_en-US.pdf

21. Siemens AG. SIMATIC HMI Unified Basic Panels. Operating Instructions, TIA V20. 12/2024. URL: <https://docs.rs-online.com/2eb8/A700000014066469.pdf>
22. Siemens AG. SIMATIC HMI Unified Basic Panels Control Panel V20. Operating Manual. 12/2024. URL: <https://www.industry-mobile-support.siemens-info.com/en/article/detail/109977708>
23. SICK AG. Photoelectric Sensors: Smart Sensors IO-Link. Technical Information. 2024. URL: https://www.sick.com/media/docs/7/97/697/technical_information_photoelectric_sensors_sick_smart_sensors_io_link_en_im0077697.pdf
24. SICK AG. SICK Innovations 2024/2025. 2024. URL: https://www.sick.com/media/docs/3/43/843/sickinnovations_innovations_magazine_edition_2024_2025_en_im0054843.pdf
25. Autonics. Product Catalog 2023–2024. Sensors, Controllers and Automation Components. URL: <https://pdf.directindustry.com/pdf/autonics/product-catalog-2023-2024/23164-1023519.html>
26. Autonics. 2024 Product Guide. 2024. URL: <https://www.valin.com/sites/default/files/2025-01/autonics-2024-product-guide.pdf>
27. OMRON. E2E NEXT Series Proximity Sensors. Datasheet. 2024. URL: https://assets.omron.eu/downloads/latest/datasheet/en/d121_e2e_next_datasheet_en.pdf
28. OMRON. E2E2 Long-Barrel Inductive Proximity Sensor. Datasheet. 2024. URL: https://www.ia.omron.com/data_pdf/cat/e2e2_ds_e4_6_csm1331.pdf?id=451
29. Schneider Electric. Altivar Solar ATV320 User Manual. 2024. URL: <https://www.se.com/in/en/download/document/PKR47019/>
30. Futura Automation. Introduction to Conveyor Systems in Automation. 2025. URL: <https://futura-automation.com/2025/06/18/introduction-to-conveyor-systems-in-automation/>

					ДП.АКИТ.11647019.00.00.00.000 ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата		

ДОДАТОК А

Структурна таблиця автоматичного складу з ліфтом-підйомником

Структурна таблиця відображає взаємодію оператора, НМІ-панелі, PLC, датчиків, виконавчих механізмів і засобів аварійної сигналізації.

Блок системи	Функціональне призначення	Зв'язок із системою керування
Оператор	Задає режим роботи, операцію та номер рівня	Передає команди через НМІ
НМІ-панель	Відображає стан системи, аварії та статистику	Обмін даними з PLC
PLC	Обробляє сигнали та формує команди керування	Центральний блок системи
Ліфт-підйомник	Переміщує вантаж між рівнями	Керується через привід ліфта
Горизонтальний конвеєр	Подає або приймає вантаж	Запускається виходом PLC
Датчики положення	Контролюють рівні, home, верхнє та нижнє положення	Передають DI-сигнали до PLC
Енкодер	Формує імпульси для контролю координати ліфта	Підключений до HSC-входу PLC
Фотоелектричні датчики	Контролюють наявність вантажу	Передають дискретні сигнали до PLC
Реле безпеки	Контролює E-Stop та дверні кінцевики	Дозволяє або блокує роботу механізмів
Аварійна індикація	Повідомляє про несправності	Керується виходами PLC

Таблиця А.1 – Узагальнена структурна таблиця системи керування автоматичним складом.

					ДП.АКІТ.11647019.00.00.00.000			
Розроб	Стиранка П.О				ЗУНУ.ФКІТ.АКІТ-41			
Перевірів	Заставний О.М							
Консульт	Заставний О.М							
Н.Контроль	Заставний О.М							
Затвердив	Сегін А.І.							

ДОДАТОК Б

Таблиця В.1 – Функціональні групи сигналів PLC-системи керування

Група сигналів	Склад групи	Обробка в PLC
Сигнали безпеки	Е-Stop, дверні кінцевики, перевантаження	Мають найвищий пріоритет, блокують рух
Сигнали положення	Номе, рівні 1–5, верхній і нижній кінцевики	Використовуються для позиціонування та контролю меж
Сигнали вантажу	Фото-датчик конвеєра, фото-датчик платформи	Підтверджують наявність або відсутність вантажу
Імпульсні сигнали	Енкодер приводу ліфта	Обробляються високошвидкісним лічильником
Керування ліфтом	Рух вгору, рух вниз, завдання швидкості	Формується блоком FB_LiftControl
Керування конвеєром	Пуск/зупинка конвеєра	Формується блоком FB_ConveyorControl
Керування стопорами	Відкрити/закрити стопор	Формується блоком FB_StopperControl
НМІ-обмін	Режими, команди, аварії, статистика	Передається через теги НМІ

					ДП.АКІТ.11647019.00.00.00.000									
Розроб		Стиранка П.О							Літ.		Арк.		Аркушів	
Перевірив		Заставний О.М												
Консульт		Заставний О.М							ЗУНУ.ФКІТ.АКІТ-41					
Н.Контроль		Заставний О.М												
Затвердив		Сегін А.І.												

ДОДАТОК В

Таблиця К.1 – Повна таблиця входів/виходів PLC

Адреса	Позначення	Тип	Джерело/приймач	Призначення
I0.0	Emergency_Stop	DI	Кнопка E-Stop	Аварійна зупинка системи
I0.1	Door_Closed	DI	Дверний кінцевик	Дозвіл роботи при закритих дверях
I0.2	Lift_Home	DI	Кінцевий вимикач	Початкове положення ліфта
I0.3	Lift_Top	DI	Кінцевий вимикач	Верхнє крайнє положення
I0.4	Lift_Bottom	DI	Кінцевий вимикач	Нижнє крайнє положення
I0.5	Box_On_Conveyor	DI	Фото-датчик	Наявність вантажу на конвеєрі
I0.6	Box_On_Platform	DI	Фото-датчик	Наявність вантажу на платформі ліфта
I0.7	Overload	DI	Датчик перевантаження	Контроль перевищення допустимого навантаження
I1.0	Level_1	DI	Датчик рівня	Положення першого рівня
I1.1	Level_2	DI	Датчик рівня	Положення другого рівня
I1.2	Level_3	DI	Датчик рівня	Положення третього рівня
I1.3	Level_4	DI	Датчик рівня	Положення четвертого рівня
I1.4	Level_5	DI	Датчик рівня	Положення п'ятого рівня
HSC0	Encoder_Pulse	HSC	Енкодер	Підрахунок імпульсів положення ліфта
Q0.0	Lift_Up	DO	Привід ліфта	Команда руху вгору
Q0.1	Lift_Down	DO	Привід ліфта	Команда руху вниз
Q0.2	Conveyor_Run	DO	Мотор-редуктор	Запуск горизонтального конвеєра
Q0.3	Stopper_Open	DO	Електромагнітний стопор	Відкриття стопора
Q0.4	Stopper_Close	DO	Електромагнітний стопор	Закриття стопора
Q0.5	Alarm_Lamp	DO	Сигнальна лампа	Аварійна світлова індикація
Q0.6	Buzzer	DO	Звуковий сигналізатор	Аварійний звуковий сигнал
AO0	Lift_Speed	AO	ПЧ/серводрайвер	Завдання швидкості руху ліфта

					ДП.АКІТ.11647019.00.00.00.000			
Розроб	Стиранка П.О				ЗУНУ.ФКІТ.АКІТ-41			
Перевірив	Заставний О.М							
Консульт	Заставний О.М							
Н.Контроль	Заставний О.М							
Затвердив	Сегін А.І.							

ДОДАТОК Г

Таблиця М.1 – Стани алгоритму автоматичного режиму

Крок	Операція	Умова переходу	Наступний стан
1	Очікування команди оператора	Команда отримана з НМІ	Перевірка умов
2	Перевірка E-Stop, дверей, перевантаження	Усі умови виконані	Вибір операції
3	Визначення операції “взяти” або “покласти”	Обрано рівень	Рух до рівня
4	Рух ліфта до заданої координати	Досягнуто зони гальмування	Гальмування
5	Зниження швидкості руху	Координата рівня досягнута	Точна зупинка
6	Зупинка ліфта і фіксація позиції	Позиція підтверджена	Передача вантажу
7	Робота конвеєра або стопора	Фото-датчик підтвердив операцію	Повернення home
8	Повернення ліфта в початкове положення	Home підтверджено	Завершення циклу
9	Запис статистики циклу	Дані записані	Очікування
ERR	Аварійна зупинка	Усунення причини та Reset	Очікування

					ДП.АКІТ.11647019.00.00.00.000										
Розроб		Стиранка П.О								Літ.		Арк.		Аркушів	
Перевішив		Заставний О.М													
Консульт		Заставний О.М								ЗУНУ.ФКІТ.АКІТ-41					
Н.Контроль		Заставний О.М													
Затвердив		Сегін А.І.													

ДОДАТОК Д

Таблиця О.1 – Аварійні ситуації та реакція системи

Аварія	Умова виникнення	Реакція PLC	Умова скидання
E-Stop	Emergency_Stop = 1	Негайне вимкнення руху ліфта, конвеєра і стопорів	Відпущена кнопка, натиснуто Reset
Відкриті двері	Door_Closed = 0	Блокування запуску та зупинка активного циклу	Двері закриті, Reset
Перевантаження	Overload = 1	Зупинка ліфта, аварійна індикація	Усунення перевантаження, Reset
Timeout руху	Рівень не досягнуто за встановлений час	Зупинка ліфта, запис аварії	Діагностика, Reset
Помилка енкодера	Немає імпульсів під час руху	Зупинка ліфта	Перевірка енкодера, Reset
Немає вантажу	Фото-датчик не підтвердив вантаж	Зупинка циклу	Повтор команди або Reset
Конфлікт напрямів	Lift_Up і Lift_Down активні одночасно	Відключення команд руху	Скидання помилки програми

					ДП.АКІТ.11647019.00.00.00.000												
Розроб		Стиранка П.О							Літ.		Арк.		Аркушів				
Перевірив		Заставний О.М															
Консульт		Заставний О.М															
Н.Контроль		Заставний О.М															
Затвердив		Сегін А.І.															
														ЗУНУ.ФКІТ.АКІТ-41			

ДОДАТОК Е

НМІ-екрани оператора

Екран	Основні елементи	Призначення
Головний екран	Режим, стан системи, поточний рівень, кнопки Start/Stop	Загальний контроль роботи складу
Автоматичний режим	Вибір “взяти/покласти”, вибір рівня, запуск циклу	Запуск автоматичного переміщення вантажу
Ручний режим	Кнопки руху вгору/вниз, запуск конвеєра, керування стопорами	Налагодження та ручне керування
Jog-режим	Короткі переміщення ліфта, контроль координати	Точне позиціонування при налаштуванні
Аварії	Активні аварії, журнал подій, кнопка Reset	Діагностика та скидання аварій
Статистика	Лічильник циклів, час роботи, кількість аварій	Оцінка ефективності роботи
Налаштування	Координати рівнів, швидкості, тайм-аути	Параметризація системи

Таблиця Р.1 – Орієнтовна структура НМІ-інтерфейсу оператора.

					ДП.АКІТ.11647019.00.00.00.000												
Розроб		Стиранка П.О							Літ.		Арк.		Аркушів				
Перевірив		Заставний О.М															
Консульт		Заставний О.М															
Н.Контроль		Заставний О.М															
Затвердив		Сегін А.І.															
														ЗУНУ.ФКІТ.АКІТ-41			

ДОДАТОК К

Фрагменти програмної логіки PLC

Нижче наведено приклад логіки автоматичного режиму у вигляді псевдокоду.

```
IF Emergency_Stop OR NOT Door_Closed OR Overload THEN
    System_State := S_ERR;
    Lift_Up := FALSE;
    Lift_Down :=
    FALSE;
    Conveyor_Run :=
    FALSE;
END_IF;

CASE System_State OF
    S0_WAIT:
        IF Auto_Start THEN
            System_State :=
            S1_CHECK;
        END_IF;

    S1_CHECK:
        IF Door_Closed AND NOT Overload AND NOT Emergency_Stop THEN
            System_State := S2_MOVE_TO_LEVEL;
        ELSE
            System_State :=
            S_ERR; END_IF;

    S2_MOVE_TO_LEVEL:
        IF Current_Position < Target_Position THENnwn :=
        TRUE; END_IF;
        IF ABS(Current_Position - Target_Position) < Brake_Distance
            THEN System_State := S3_BRAKE;
        END_IF;

    S3_BRAKE:
        Lift_Speed := Low_Speed;
        IF ABS(Current_Position - Target_Position) <= Position_Tolerance
            THEN Lift_Up := FALSE;
            Lift_Down := FALSE;
            System_State :=
            S4_TRANSFER;
        END_IF;

    S4_TRANSFER:
        Conveyor_Run
        := TRUE;
        Stopper_Open
        := TRUE;
        IF Box_On_Conveyor OR Box_On_Platform THEN
            Conveyor_Run := FALSE;
            Stopper_Open := FALSE;
            System_State :=
            S5_RETURN_HOME;
        END_IF;
```

		END_IF;			ДП.АКІТ.11647019.00.00.00.000						
		\$5_RETURN_HOME:									
		IF NOT									
Розроб	Стиранка П.О.	Lift_Home							Літ.	Арк.	Аркушів
Перевірив	Заставний О.М	THEN									
Консульт	Заставний О.М								ЗУНУ.ФКІТ.АКІТ-41		
Н.Контроль	Заставний О.М										
Затвердив	Сегін А.І.										

```

        Lift_Down
        := TRUE;
    ELSE
        Lift_Down := FALSE;
        Cycle_Counter := Cycle_Counter + 1;
        System_State := S0_WAIT;
    E
ND_IF;
END_CASE
;
```

					ДП.АКІТ.11647019.00.00.00.000			
Розроб	Стиранка П.О					Літ.	Арк.	Аркушів
Перевірив	Заставний О.М							
Консульт	Заставний О.М					ЗУНУ.ФКІТ.АКІТ-41		
Н.Контроль	Заставний О.М							
Затвердив	Сегін А.І.							

ДОДАТОК Л

Результати імітаційної перевірки

№	Сценарій	Очікувана реакція	Результат
1	Нормальний цикл "взяти"	Ліфт рухається до рівня, вантаж передається на конвеєр, цикл завершується	Успішно
2	Нормальний цикл "покласти"	Вантаж приймається з конвеєра і розміщується на заданому рівні	Успішно
3	Натиснення E-Stop	Усі механізми негайно зупиняються	Успішно
4	Відкриття дверей	Запуск заборонено, активний цикл зупиняється	Успішно
5	Перевантаження платформи	Ліфт зупиняється, на НМІ формується аварія	Успішно
6	Втрата сигналу енкодера	Рух ліфта блокується, система переходить в аварію	Успішно
7	Фото-датчик не підтвердив вантаж	Цикл зупиняється, формується повідомлення	Успішно
8	Перевищення часу руху	PLC формує аварію Timeout	Успішно
9	Спроба одночасного руху вгору і вниз	Команди руху вимикаються, формується помилка	Успішно

					ДП.АКІТ.11647019.00.00.00.000							
Розроб		Стиранка П.О							Літ.	Арк.	Аркушів	
Перевірив		Заставний О.М										
Консульт		Заставний О.М				ЗУНУ.ФКІТ.АКІТ-41						
Н.Контроль		Заставний О.М										
Затвердив		Сергін А.І.										