

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

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

Кафедра автоматизації та комп'ютерно-інтегрованих технологій

РОЗРАХУНКОВО-ПОЯСНЮВАЛЬНА ЗАПИСКА
ДО ВИПУСКНОЇ КВАЛІФІКАЦІЙНОЇ РОБОТИ БАКАЛАВРА

на тему «Автоматичне керування роботизованою системою Pick and Place»

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

Ганус А.Р.

(прізвище та ініціали)

Керівник Кулаєнко О.О., к.т.н., доц.

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

Рецензент Тимофєєв О.В.

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

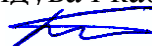
Харків – 2026 рік

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

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

Кафедра автоматизації та комп'ютерно-інтегрованих технологій
Освітньо-кваліфікаційний рівень бакалавр
Галузі знань 17 «Електроніка, автоматизація та електронні комунікації»
Спеціальність 151 «Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології»

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри АКІТ

_____ **БАРАНОВ О.О.**
«25» травня 2026 року

ЗАВДАННЯ
НА ВИПУСКНУ КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ БАКАЛАВРА

Ганус Артем Русланович

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

1. Тема проєкту (роботи) «Автоматичне керування роботизованою системою
Pick and Place»

керівник проєкту (роботи) Кулаєнко Олег Олександрович, канд. техн. наук, доцент
(прізвище, ім'я, по батькові, науковий ступінь, вчене звання)

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

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









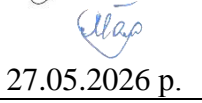

3. Вихідні дані до проєкту (роботи) Мета роботи: розробити систему автоматичного керування роботизованою системою Pick and Place. Предмет розробки: алгоритми автоматичного керування, технічна структура системи керування, 3D-модель виробничого процесу та керуюча програма для ПЛК/SoftPLC. Система повинна забезпечувати автоматичну подачу коробок у зону захоплення, подачу палети у зону укладання, захоплення коробки вакуумним пристроєм, перенесення коробки на палету, укладання заданої кількості коробок, відведення заповненої палети, а також контроль аварійних і нештатних ситуацій.

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

Розділ 1. Інформаційно-аналітичний огляд. Розділ 2. Розробка 3D-моделі виробничого процесу. Розділ 3. Розробка програмного забезпечення. Розділ 4. Технічна структура системи керування. Розділ 5. Охорона праці.

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

6. Консультанти розділів проекту (роботи)


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

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

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

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

Здобувач вищої освіти




(підпис)

Ганус А.Р.

(прізвище та ініціали)

Керівник



(підпис)

Кулаєнко О.О.

(прізвище та ініціали)

РЕФЕРАТ

Випускна кваліфікаційна робота присвячена розробленню системи автоматичного керування роботизованою системою Pick and Place, призначеною для автоматизованого транспортування коробок, подавання палет, захоплення коробок вакуумним пристроєм та їх укладання на палету. У роботі виконано інформаційно-аналітичний огляд виробничих ліній транспортування та укладання коробок, проаналізовано технологічний процес переміщення коробок з конвеєра на палети. Розроблено 3D-модель виробничого процесу в середовищі Factory I/O. На основі моделі сформовано алгоритми роботи обладнання, визначено послідовність технологічного циклу та розроблено програмне забезпечення для керування системою. Обґрунтовано технічну структуру системи керування. Розроблено схеми електричних підключень ПЛК, визначено вхідні та вихідні сигнали, а також передбачено можливість подальшого перенесення розробленої логіки на реальну апаратну платформу. У результаті виконання роботи сформовано комплекс технічних і програмних рішень, що забезпечує узгоджену роботу стрічкового конвеєра, роlikової транспортної лінії, порталного робота, вакуумного захоплення та системи контролю під час виконання циклу Pick and Place.

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

Випускна кваліфікаційна робота бакалавра містить 5 розділів загальним обсягом 124 сторінки, на яких розміщено 77 ілюстрацій, 8 таблиць. При написанні роботи було використано 29 джерел інформації.

Ключові слова: Pick and Place, система керування, імітаційне моделювання, алгоритми, програмування.

ABSTRACT

The final qualification work is devoted to the development of an automatic control system for a robotic Pick and Place system designed for automated transportation of boxes, pallet feeding, gripping of boxes with a vacuum device and their stacking on a pallet. The work includes an information and analytical review of the production lines for transporting and stacking boxes, an analysis of the technological process of moving boxes from the conveyor to pallets. A 3D model of the production process in the Factory I/O environment has been developed. Based on the model, algorithms for the operation of the equipment have been formed, the sequence of the technological cycle has been determined, and software for controlling the system has been developed. The technical structure of the control system has been substantiated. The electrical connection diagrams of the PLC have been developed, the input and output signals have been determined, and the possibility of further transferring the developed logic to a real hardware platform has been provided. As a result of the work, a set of technical and software solutions has been formed that ensures the coordinated operation of the belt conveyor, roller transport line, gantry robot, vacuum gripper and control system during the Pick and Place cycle.

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

The bachelor's final qualification work contains 5 sections with a total of 124 pages, which include 77 illustrations and 8 tables. 29 sources of information were used when writing the work.

Keywords: PICK and Place, control system, simulation modeling, algorithms, programming.

ЗМІСТ

ВСТУП	8
РОЗДІЛ 1. ІНФОРМАЦІЙНО-АНАЛІТИЧНИЙ ОГЛЯД.....	11
1.1 Загальна характеристика виробничих ліній транспортування та укладання коробок	11
1.2 Аналіз технологічного процесу переміщення коробок з конвеєра на палети	17
1.3 Аналіз роботи стрічкового конвеєра подачі коробок.....	24
1.4 Аналіз роботи роликowego конвеєра подачі та відведення палет	27
1.5 Характеристика трьохвісьової роботизованої системи порталного типу з вакуумним захопленням.....	31
Висновки до розділу 1	37
РОЗДІЛ 2. РОЗРОБКА 3D-МОДЕЛІ ВИРОБНИЧОГО ПРОЦЕСУ СКЛАДАННЯ ТА ТРАНСПОРТУВАННЯ КОРОБОК	40
2.1 Постановка задачі	40
2.2 Перелік основних елементів сцени виробничого процесу складання та транспортування коробок.....	42
Висновки до розділу 2	56
РОЗДІЛ 3. РОЗРОБКА ПРОГРАМНОГО ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ	59
3.1 Розроблення алгоритмів роботи обладнання	59
3.2 Розроблення програми логіки	62
Висновки до розділу 3	82
РОЗДІЛ 4. РОЗРОБЛЕННЯ ТЕХНІЧНОЇ СТРУКТУРИ СИСТЕМИ КЕРУВАННЯ.....	84
4.1 Вимоги до системи автоматичного керування	84
4.2 Структура комплексу технічних засобів	86
4.3 Паспортизація основних технічних засобів	89
4.4 Вибір програмованого логічного контролера	96
4.5 Розроблення схеми електричних підключень ПЛК.....	100
Висновки до розділу 4	103

РОЗДІЛ 5. ОХОРОНА ПРАЦІ	106
5.1 Організаційно-правові основи забезпечення безпеки праці.....	106
5.2 Характеристика об'єкта та виявлення потенційних небезпек.....	107
5.3 Дослідження ризику реалізації потенційних небезпек на об'єкті проектування та розробка заходів щодо їх попередження	110
5.3.1 Оцінювання ризику	110
5.3.2 Побудова спрощених дерев відмов.....	111
5.3.3 Заходи щодо зниження ризиків	113
Висновки до розділу 5	115
ВИСНОВКИ	117
ПЕРЕЛІК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ	121

ВСТУП

Сучасний розвиток промислового виробництва, пакувальних ліній, складської логістики та внутрішньовиробничого транспортування безпосередньо пов'язаний із широким використанням автоматизованих і роботизованих систем. Одним із поширених напрямів такої автоматизації є застосування роботизованих комплексів Pick and Place, які виконують повторювані операції захоплення, переміщення та укладання виробів із високою точністю і стабільністю. Такі системи дають змогу зменшити частку ручної праці, підвищити продуктивність виробничих процесів, забезпечити повторюваність технологічних операцій та знизити ризик помилок, пов'язаних із людським фактором.

У багатьох галузях промисловості готова продукція після виготовлення або пакування повинна бути переміщена до наступної технологічної позиції, згрупована, укладена на палету та підготовлена до подальшого транспортування або зберігання. Такі операції потребують узгодженої роботи конвеєрів, датчиків, виконавчих механізмів, роботизованого пристрою та системи керування. Особливо важливим є забезпечення правильної послідовності дій: подавання коробки, подавання палети, контроль їх положення, захоплення коробки, перенесення її до зони укладання та відведення заповненої палети.

Актуальність теми пояснюється необхідністю розроблення ефективних алгоритмів і технічних рішень для автоматичного керування роботизованою системою Pick and Place. Така система повинна забезпечувати не лише переміщення коробок, а й контроль готовності об'єктів до виконання операції, узгодження роботи стрічкового та роликового конвеєрів, безпечно переміщення портального робота, контроль вакуумного захоплення, реалізацію ручного та автоматичного режимів, а також оброблення аварійних ситуацій.

Об'єктом розроблення є роботизована виробнича ділянка Pick and Place, призначена для подавання коробок стрічковим конвеєром,

транспортування палет роликівими конвеєрами та укладання коробок на палету за допомогою трьохвісьового порталного робота з вакуумним захопленням.

Предметом розроблення є система автоматичного керування цією виробничою ділянкою, зокрема алгоритми роботи обладнання, 3D-модель технологічного процесу, програмне забезпечення для ПЛК або SoftPLC, структура комплексу технічних засобів, електричні підключення та заходи безпечної експлуатації роботизованої системи.

Метою є розроблення системи автоматичного керування роботизованою системою Pick and Place, яка забезпечує узгоджену роботу конвеєрів, порталного робота, вакуумного захоплення, датчиків і операторських засобів керування під час транспортування та укладання коробок на палету.

Для досягнення поставленої мети необхідно виконати такі завдання: проаналізувати виробничі лінії транспортування й укладання коробок; розглянути технологічний процес переміщення коробок з конвеєра на палету; дослідити будову та функції стрічкового конвеєра, роликівого конвеєра і трьохвісьової порталної системи; розробити 3D-модель виробничого процесу у середовищі Factory I/O; сформулювати алгоритм роботи обладнання; розробити програмну логіку керування; визначити структуру комплексу технічних засобів системи; обґрунтувати вибір основних елементів керування та захисту; розробити схеми підключення ПЛК; розглянути питання охорони праці та безпечної експлуатації роботизованої системи.

У роботі використано методи структурного аналізу технологічного процесу, функціонального опису елементів автоматизованої системи, моделювання виробничої сцени, алгоритмізації послідовності операцій, програмування логіки керування та оцінювання ризиків під час експлуатації роботизованого обладнання. Використання середовища Factory I/O дає змогу відтворити роботу виробничої ділянки у віртуальному просторі, перевірити

взаємодію датчиків і виконавчих механізмів та підготувати основу для тестування керуючої програми.

Практичне значення роботи полягає в тому, що запропонована система може використовуватися як навчальна або проєктна модель автоматизованої ділянки Pick and Place. Розроблена логіка керування, структура технічних засобів і 3D-модель можуть бути застосовані для відпрацювання принципів програмування ПЛК, тестування алгоритмів автоматичного та ручного режимів, аналізу аварійних ситуацій і подальшого перенесення розробленої програми на реальну апаратну платформу.

Пояснювальна записка складається з п'яти основних розділів. У першому розділі виконано інформаційно-аналітичний огляд виробничих ліній транспортування та укладання коробок. У другому розділі розроблено 3D-модель виробничого процесу складання та транспортування коробок. У третьому розділі розглянуто розроблення програмного забезпечення системи керування. У четвертому розділі сформовано технічну структуру системи керування та схеми підключення ПЛК. У п'ятому розділі розглянуто питання охорони праці та заходи зниження ризиків під час експлуатації роботизованої системи.

1 ІНФОРМАЦІЙНО-АНАЛІТИЧНИЙ ОГЛЯД

1.1 Загальна характеристика виробничих ліній транспортування та укладання коробок

Сучасні виробничі, пакувальні, складські та логістичні процеси значною мірою пов'язані з переміщенням штучних вантажів. До таких вантажів належать коробки, пакети, лотки, контейнери, ящики, палети з продукцією та інші одиниці, які мають визначену форму, габарити й масу. На багатьох підприємствах після виготовлення або пакування продукція повинна бути швидко переміщена до наступної технологічної позиції, згрупована, укладена на палету або передана на складську ділянку. Тому виробничі лінії транспортування та укладання коробок є важливою частиною загальної системи автоматизації підприємства.

Основне призначення таких ліній полягає у забезпеченні безперервного, керованого та впорядкованого руху продукції між окремими технологічними операціями. Якщо у простих виробничих умовах коробки можуть переміщуватися вручну, то при збільшенні обсягів виробництва такий спосіб стає малоефективним. Ручне перенесення коробок потребує значних фізичних зусиль, залежить від уважності й витривалості працівника та не завжди забезпечує однакову точність виконання операцій. Крім того, у разі тривалої монотонної роботи зростає ймовірність помилок, пошкодження тари або неправильного розміщення коробок на палеті.

Автоматизовані лінії дозволяють зменшити вплив людського фактора на виробничий процес. Вони забезпечують стабільну подачу коробок, контроль їх положення, точне позиціонування в зоні захоплення та узгоджену роботу транспортних і роботизованих механізмів. Завдяки цьому підвищується продуктивність, зменшується кількість простоїв, покращується якість виконання операцій і знижується фізичне навантаження на персонал. Працівник у такій системі переважно виконує функції контролю, налагодження, запуску, зупинки та технічного обслуговування обладнання.

Особливо важливе значення автоматизовані лінії мають у процесах пакування. Після формування готової продукції її необхідно підготувати до транспортування або зберігання. Для цього коробки часто укладаються на палети, після чого можуть обмотуватися плівкою, маркуватися та переміщуватися на склад. Якість укладання коробок впливає на стійкість вантажу, зручність подальшого транспортування, безпеку складських операцій і збереження продукції. Якщо коробки розміщені зі зміщенням або нерівномірно, палета може втратити стійкість під час переміщення, що створює ризик пошкодження продукції.

У сучасних пакувальних системах для переміщення коробок часто застосовуються роботизовані комплекси Pick and Place. Їх принцип роботи полягає у тому, що робот бере об'єкт з однієї позиції, переміщує його за заданою траєкторією та встановлює в іншу позицію. У промисловій практиці такі системи використовуються для сортування, пакування, комплектування, завантаження обладнання, укладання виробів у тару або розміщення коробок на палетах. За даними виробників промислових роботів, операції Pick and Place належать до найбільш поширених задач роботизованої автоматизації, оскільки вони є повторюваними, потребують швидкості та високої точності позиціонування [1;2].

Виробничі лінії для переміщення коробок (рисунок 1.1) зазвичай містять декілька функціональних частин [5]. До їх складу можуть входити стрічкові конвеєри для подачі коробок, роликові конвеєри для транспортування палет або контейнерів, датчики положення, напрямні, приводи, пневматичні або електромеханічні виконавчі механізми, роботизовані пристрої, панелі керування та засоби сигналізації. Кожен елемент виконує власну функцію, але ефективність усієї системи залежить від їх узгодженої взаємодії.

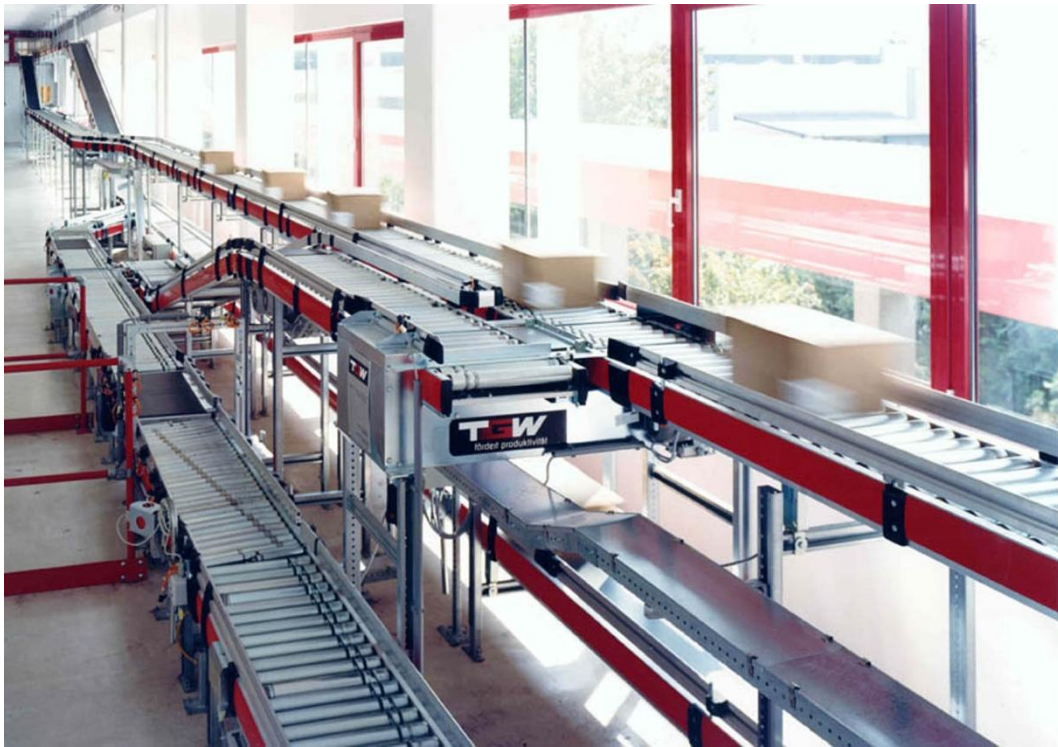


Рисунок 1.1 – Приклад автоматизованої конвеєрної системи для транспортування коробок

Стрічкові конвеєри доцільно використовувати для подачі коробок, оскільки вони мають суцільну опорну поверхню і забезпечують плавне переміщення вантажів. Це особливо важливо для картонної тари, яка може бути відносно легкою, мати нерівномірний розподіл маси або потребувати обережного транспортування. Стрічковий конвеєр може оснащуватися боковими напрямними, які вирівнюють коробку перед надходженням у зону захоплення. Завдяки цьому роботизований механізм отримує коробку у повторюваній позиції, що підвищує надійність захоплення.

Роликові конвеєри (рисунок 1.2) частіше застосовуються для переміщення палет, ящиків, контейнерів або інших вантажів із достатньо жорсткою нижньою поверхнею [6]. Їх перевагою є можливість транспортування важчих об'єктів, простота конструкції, зручність інтеграції датчиків і стопорних механізмів. У складських і логістичних системах роликові та стрічкові конвеєри часто працюють спільно, забезпечуючи переміщення як легких коробок, так і більш габаритних вантажних одиниць [3].



Рисунок 1.2 – Приклад роликового конвеєра для переміщення коробок, контейнерів або подібних штучних вантажів

Об'єктом розгляду в роботі є виробнича ділянка, у якій коробки надходять окремим стрічковим конвеєром, а палети подаються іншою транспортною лінією з роликівими конвеєрами. Переміщення коробок на палету виконує роботизований механізм Pick and Place портального типу з вакуумним захопленням. Така структура є характерною для автоматизованих ділянок, де потрібно поєднати два транспортні потоки: потік коробок і потік палет.

Портальний механізм Pick and Place доцільний для таких задач, оскільки його робочий орган переміщується у прямокутній робочій зоні за координатами. Зазвичай такий механізм має лінійні осі переміщення (рисунок 1.3), що дозволяють точно задавати положення захвата у просторі [7]. Для перенесення коробок достатньо забезпечити переміщення між двома основними зонами: зоною захоплення на стрічковому конвеєрі та зоною

укладання на палеті. Вертикальне переміщення потрібне для опускання захвата до коробки, її підйому та встановлення на палету.

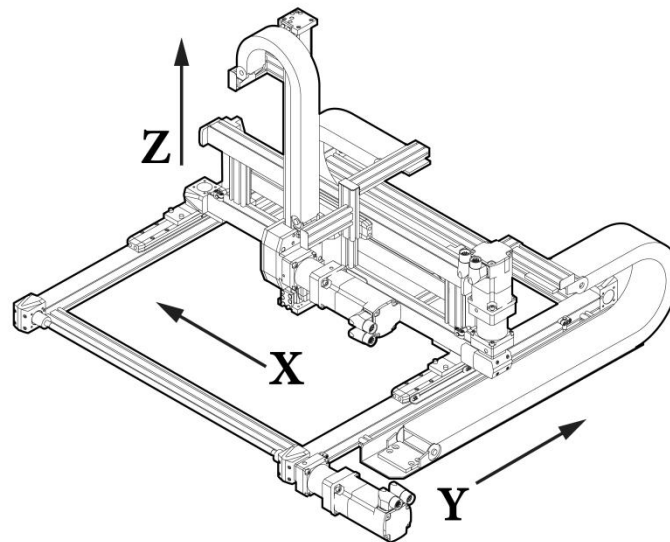


Рисунок 1.3 – Схема декартового або порталного робота з трьома ступенями руху

Вакуумний захват є зручним рішенням для роботи з картонними коробками. Він дозволяє захоплювати коробку за верхню площину без бокового стискання, що зменшує ризик деформації тари. При цьому важливим є контроль факту захоплення: система керування повинна отримувати сигнал про наявність вакууму або про утримання коробки. Якщо коробка не захоплена надійно, подальше переміщення повинно бути заблоковане, оскільки існує ризик падіння вантажу або порушення технологічного циклу.

Робота такої виробничої ділянки може бути описана як послідовність взаємопов'язаних операцій. Спочатку роликний конвеєр подає палету в зону укладання. Датчик присутності фіксує її положення і подає сигнал до системи керування. Паралельно стрічковий конвеєр переміщує коробку до зони захоплення. Після спрацювання датчика наявності коробки конвеєр зупиняється, а порталний механізм отримує дозвіл на виконання циклу Pick and Place. Робот опускає вакуумний захват, фіксує коробку, піднімає її, переміщує до палети та встановлює у задану позицію.

У разі необхідності цикл повторюється для наступної коробки. Після укладання заданої кількості коробок палета переміщується далі роликівим конвеєром до наступної операції. Такою операцією може бути обмотування плівкою, маркування, контроль ваги або передача на складську ділянку. Отже, роботизований комплекс Pick and Place не працює ізольовано, а є частиною ширшої транспортно-технологічної системи.

Перевагою такої організації процесу є можливість чіткого розподілу функцій між обладнанням. Стрічковий конвеєр відповідає за подачу коробок, роликівий конвеєр – за переміщення палет, датчики – за контроль положення, а порталний механізм – за точне перенесення вантажу. Система керування об'єднує ці елементи в єдиний автоматичний цикл. Завдяки цьому досягається повторюваність операцій, скорочення ручної праці та підвищення стабільності виробничого процесу.

Упровадження автоматизованих ліній транспортування та укладання коробок є особливо актуальним для підприємств харчової, фармацевтичної, косметичної, поліграфічної, електротехнічної та логістичної галузей. У цих сферах продукція часто має вигляд окремих пакованих одиниць, які потрібно швидко переміщувати, сортувати, комплектувати та готувати до відвантаження. Використання роботизованих комплексів дозволяє підвищити продуктивність таких операцій і зробити їх менш залежними від фізичної праці персоналу.

Таким чином, виробничі лінії транспортування та укладання коробок є важливим об'єктом автоматизації. Вони забезпечують кероване переміщення штучних вантажів, підвищують точність позиціонування, зменшують ручну працю та створюють умови для стабільного виробничого циклу. Для розглянутої роботи найбільш важливим є дослідження взаємодії стрічкового конвеєра подачі коробок, роликівий транспортної лінії палет і порталного механізму Pick and Place з вакуумним захопленням, оскільки саме ця взаємодія визначає ефективність автоматичного керування всією системою.

1.2 Аналіз технологічного процесу переміщення коробок з конвеєра на палети

Технологічний процес переміщення коробок з конвеєра на палету є типовою задачею внутрішньовиробничої автоматизації, у якій потрібно узгодити роботу транспортних механізмів, датчиків положення та роботизованого виконавчого пристрою. У дипломній роботі розглядається виробнича ділянка, де коробки надходять окремим стрічковим конвеєром у зону захоплення, палети переміщуються роликовою транспортною лінією у зону укладання, а перенесення коробок виконує роботизований механізм Pick and Place портального типу з вакуумним захопленням.

За своїм функціональним призначенням така ділянка належить до автоматизованих систем оброблення штучних вантажів. Її основна задача полягає не лише у фізичному переміщенні коробки з однієї позиції в іншу, а й у забезпеченні стабільної послідовності дій: подати коробку, подати палету, перевірити наявність обох об'єктів, виконати захоплення, перенести коробку, встановити її у визначене місце та передати завантажену палету до вихідної зони. Саме тому процес розглядається як взаємодія кількох підсистем, які повинні працювати синхронно.

У промислових джерелах операція Pick and Place описується як одна з поширених задач роботизованої автоматизації, коли виріб береться з однієї позиції, переміщується та встановлюється в іншу позицію з необхідною орієнтацією. Для розглянутої виробничої ділянки такою операцією є перенесення картонної коробки зі стрічкового конвеєра на поверхню палети. При цьому якість виконання операції залежить від правильного позиціонування коробки, точності зупинки палети, надійності вакуумного захоплення та коректної роботи алгоритму керування.

Першою ділянкою технологічного процесу є зона подачі коробок. Для цього використовується стрічковий конвеєр, який забезпечує плавне переміщення коробки до місця захоплення. Стрічкові конвеєри доцільні для

роботи з легкими та середніми штучними вантажами, оскільки суцільна поверхня стрічки зменшує ймовірність перекосу тари, забезпечує рівномірне переміщення та дозволяє використовувати напрямні елементи для попереднього вирівнювання коробки. У складських і виробничих системах конвеєри для коробок застосовуються як неперервні автоматизовані засоби транспортування легких вантажів.

У розглянутій системі коробка надходить на стрічковий конвеєр з попередньої технологічної операції або умовного джерела подачі. Під час руху вона спрямовується до зони захоплення, де її положення має бути достатньо повторюваним для стабільної роботи вакуумного захвата. Якщо коробка підходить до зони захоплення з помітним відхиленням, робот може взяти її не по центру, що збільшує ризик перекосу під час перенесення. Тому в конструкції такої ділянки доцільно передбачати бокові напрямні, датчики присутності та логіку зупинки конвеєра у визначений момент.

Коли коробка досягає зони захоплення, датчик наявності коробки формує сигнал для системи керування. На основі цього сигналу конвеєр зупиняється, а програма переходить до очікування готовності палети. Важливо, що рух робота не повинен починатися лише за фактом появи коробки. Для безпечного й правильного циклу необхідно, щоб у зоні укладання одночасно була зафіксована палета, а сам робот знаходився у дозволеному початковому положенні.

Другою транспортною частиною процесу (рисунок 1.4) є переміщення палет роликівими конвеєрами [9]. Палета має більші габарити та масу порівняно з коробкою, тому для її транспортування доцільно застосовувати роликову поверхню. Роликові конвеєри використовують ряд обертових роликів, які підтримують вантаж знизу та забезпечують його переміщення по заданій траєкторії. У довідкових матеріалах щодо конвеєрних систем зазначається, що роликові конвеєри часто використовують для транспортування важчих

одиничних вантажів, зокрема палет, контейнерів і подібних вантажних одиниць [8].



Рисунок 1.4 – Роликова транспортна система для переміщення штучних вантажів і палет

У даній виробничій ділянці роликова лінія виконує дві основні функції: подає порожню палету в зону укладання та відводить її після завершення циклу розміщення коробок. На етапі подачі палета повинна зупинитися у фіксованому положенні під робочою зоною порталного механізму. Для цього використовується датчик присутності палети або стопорний елемент, який разом із системою керування забезпечує точну зупинку. Неточна зупинка палети може призвести до зміщення коробок відносно заданої схеми розміщення.

Датчики у такій системі виконують роль інформаційного зв'язку між фізичним процесом і програмою керування. Вони не керують процесом безпосередньо, але повідомляють контролеру про стан об'єктів: чи є коробка в зоні захоплення, чи є палета в зоні укладання, чи перебуває робот у початковому або робочому положенні, чи утворено достатній вакуум для

утримання коробки. У сучасних декартових системах Pick and Place часто застосовують датчики наявності виробу, датчики вакууму, кінцеві вимикачі та інші елементи контролю для підвищення надійності перенесення.

Після підтвердження наявності коробки та палети система керування дозволяє роботу виконати цикл Pick and Place. Портальний механізм переміщується над коробкою, опускає пневматичну присоску до її верхньої поверхні та вмикає вакуум. Вакуумний захват доцільний для роботи з картонною тарою, оскільки він не потребує бокового стискання коробки. Це зменшує механічне навантаження на тару та дозволяє працювати з коробками, які можуть мати різну висоту або незначні відмінності у жорсткості поверхні.

Виконавчий механізм повинен працювати у визначеній робочій зоні, одержувати дозвіл на рух від системи керування та виконувати послідовність операцій без участі оператора. У розглянутому портальному варіанті Pick and Place переміщення реалізується за координатами X, Y та Z: горизонтальні осі забезпечують перехід між зоною захоплення і зоною укладання, а вертикальна вісь використовується для опускання та піднімання захоплення.

Після вмикання вакууму контролер повинен отримати підтвердження, що коробка захоплена. Якщо сигнал вакууму відсутній або нестабільний, переміщення коробки не повинно виконуватися. Така умова потрібна для запобігання падінню коробки під час руху маніпулятора. Якщо захоплення підтверджене, робот піднімає коробку на безпечну висоту, переміщується до позиції укладання на палеті, опускає коробку та вмикає вакуум. Далі захват піднімається, а робот повертається у вихідне положення або переходить до наступного циклу.

Важливою особливістю процесу є те, що укладання може виконуватися не в одну точку, а за декількома позиціями. Наприклад, якщо на одну палету потрібно розмістити дві коробки, система повинна зберігати інформацію про номер поточного кроку. Після першої коробки лічильник збільшується, а друга

коробка встановлюється в іншу координату. Після досягнення заданої кількості коробок палета отримує дозвіл на переміщення до вихідної зони.

Таким чином, технологічний процес містить не лише механічне переміщення вантажу, а й логічне керування станами. Кожний наступний крок дозволяється тільки за умови завершення попереднього. Це дає можливість уникнути ситуацій, коли робот намагається взяти коробку за її відсутності, укласти коробку без палети або відвести палету до завершення циклу. Саме тому для системи Pick and Place важливо формувати чітку послідовність переходів між станами: очікування, подача, зупинка, захоплення, перенесення, укладання, підрахунок і відведення.

Робочим органом, який безпосередньо контактує з коробкою, є вакуумний захват (рисунок 1.6). У наукових джерелах відзначається, що застосування кількох вакуумних присосок може підвищувати стійкість утримання об'єктів із великою площею контакту, зокрема коробок [11]. Для розглянутої системи це означає, що площина верхньої кришки коробки повинна забезпечувати достатнє прилягання присосок, а контролер має перевіряти сигнал вакууму перед початком перенесення.

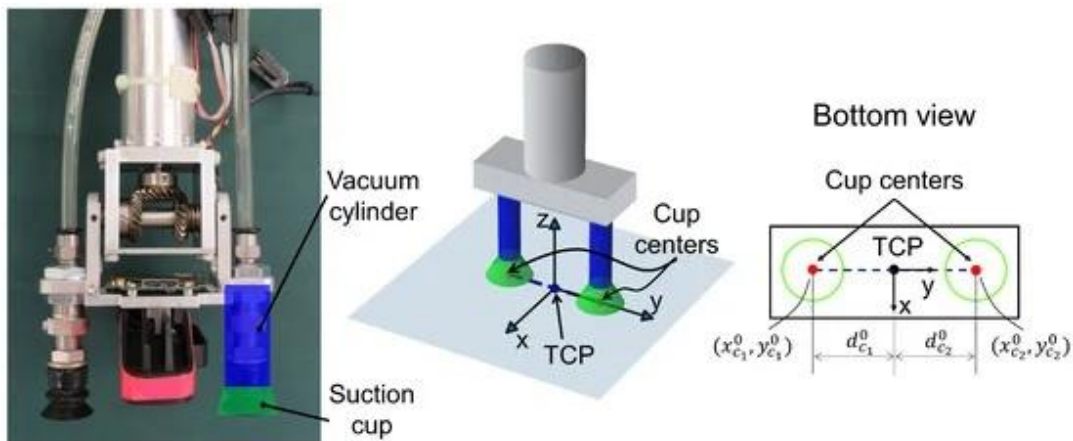


Рисунок 1.6 – Схема вакуумного захвата з присосками для утримання об'єктів

Узагальнену послідовність роботи виробничої ділянки наведено в таблиці 1.1. Вона показує, які операції виконуються в межах одного циклу та які сигнали або умови мають бути враховані системою керування.

Таблиця 1.1 – Послідовність технологічного процесу переміщення коробок з конвеєра на палету

№ етапу	Операція	Основне обладнання	Умова переходу до наступного етапу
1	Подача палети до зони укладання	Роликовий конвеєр подачі палет	Спрацювання датчика присутності палети
2	Подача коробки до зони захоплення	Стрічковий конвеєр подачі коробок	Спрацювання датчика наявності коробки
3	Зупинка транспортних механізмів у робочих позиціях	Приводи конвеєрів, датчики положення	Коробка і палета знаходяться у визначених зонах
4	Опускання захвата та створення вакууму	Портальний механізм, пневматична присоска	Підтверджено надійне захоплення коробки
5	Перенесення коробки на палету	Лінійні осі X, Y, Z робота	Робот досяг координат позиції укладання
6	Відпускання коробки та повернення захвата	Вакуумний захват, вісь Z	Коробку встановлено на палету
7	Підрахунок укладених коробок	Контролер, внутрішній лічильник	Досягнуто або не досягнуто заданої кількості коробок
8	Відведення палети до вихідної зони	Вихідний роликовий конвеєр	Цикл укладання завершено

Для забезпечення стабільності циклу система керування повинна контролювати не тільки наявність коробки й палети, а й стан виконавчих механізмів. Якщо один із необхідних сигналів відсутній, автоматичний цикл має бути заблокований до усунення причини (таблиця 1.2). Такий підхід дозволяє зменшити кількість аварійних ситуацій, уникнути пошкодження коробок і забезпечити повторюваність роботи виробничої ділянки.

Таблиця 1.2 – Основні контрольовані умови під час виконання циклу Pick and Place

Контрольована умова	Призначення в технологічному процесі	Можлива реакція системи керування
Наявність коробки у зоні захоплення	Дозволяє почати цикл захоплення	Зупинка стрічкового конвеєра, дозвіл на рух робота
Наявність палети у зоні	Підтверджує готовність	Блокування руху робота за

укладання	місця для розміщення коробки	відсутності палети
Стан вакуумного захвата	Підтверджує утримання коробки	Заборона перенесення при відсутності вакууму
Положення робота	Забезпечує контроль вихідної та робочих позицій	Перехід до наступного кроку тільки після досягнення позиції
Кількість встановлених коробок	Визначає завершення циклу для поточної палети	Запуск вихідного роликowego конвеєра
Стан аварійної зупинки	Забезпечує безпеку персоналу та обладнання	Негайне вимкнення руху конвеєрів і робота

Окремо слід відзначити значення вихідної зони. Після укладання заданої кількості коробок палета не повинна залишатися у робочій зоні, оскільки це блокує подачу наступної палети та знижує продуктивність лінії. Тому після завершення циклу система керування запускає вихідний роликівий конвеєр. Палета переміщується до наступної ділянки технологічного процесу, а зона укладання звільняється для нового циклу.

Розглянута послідовність роботи показує, що ефективність виробничої ділянки визначається узгодженістю трьох основних потоків: руху коробок, руху палет і руху робота-маніпулятора. Якщо один із цих потоків не синхронізований з іншими, виникають затримки, пропуски циклів або помилки позиціонування. Тому під час розробки системи автоматичного керування необхідно передбачити логічні блокування, контроль датчиків, облік кількості коробок і чіткий порядок переходів між етапами.

Отже, технологічний процес переміщення коробок з конвеєра на палету є послідовним автоматизованим циклом, у якому стрічковий конвеєр забезпечує подачу коробок, роликіві конвеєри забезпечують подачу та відведення палет, датчики контролюють положення об'єктів, а порталний механізм Pick and Place з вакуумним захопленням виконує основну операцію перенесення. Надалі саме ця послідовність є основою для розроблення алгоритму керування, визначення вхідних і вихідних сигналів та побудови програмної логіки роботи системи.

1.3 Аналіз роботи стрічкового конвеєра подачі коробок

Стрічковий конвеєр доцільно застосовувати для транспортування коробок прямокутної форми, оскільки плоска стрічка забезпечує значну площу контакту з вантажем, плавний рух без різких ударів і можливість точного позиціонування перед захопленням.

У роботизованій системі конвеєр працює циклічно. Після отримання дозволу від контролера електропривод приводить у рух стрічку, коробка переміщується вздовж напрямних, проходить контрольні датчики та зупиняється у фіксованій позиції. Після підтвердження готовності робот виконує захоплення коробки, переносить її на палету або в іншу зону укладання, а конвеєр переходить до підготовки наступного циклу. Така організація роботи дає змогу забезпечити повторюваність процесу та зменшити ймовірність помилки при захопленні.

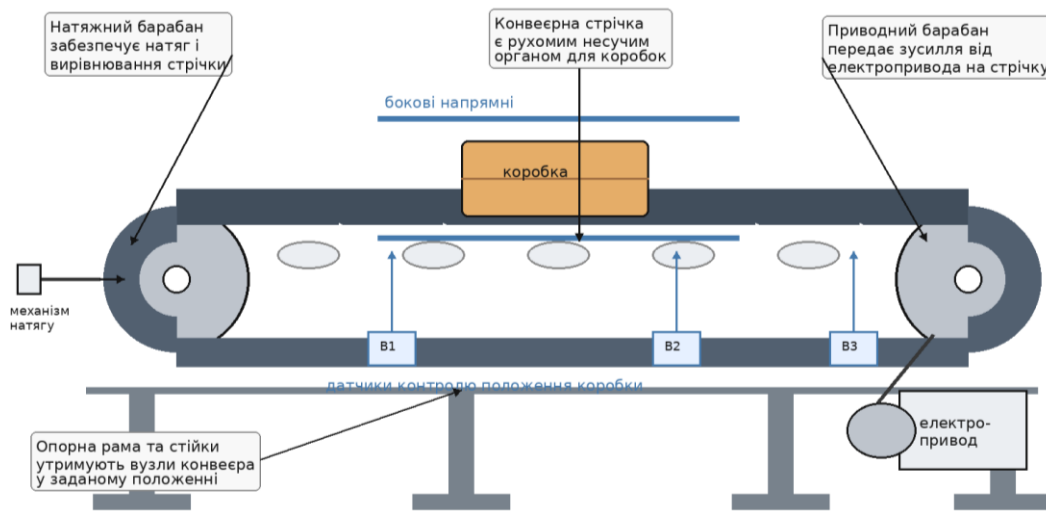


Рисунок 1.7 – Узагальнена будова стрічкового конвеєра подачі коробок:
B1 – датчик входу; B2 – датчик позиції захоплення; B3 – датчик контролю зайнятості/переповнення

Основними елементами стрічкового конвеєра є приводний барабан, натяжний барабан, конвеєрна стрічка, електропривод, бокові напрямні, опорна рама зі стійками та датчики контролю положення коробки. Сукупність цих

вузлів формує транспортний модуль, здатний переміщувати вантаж із заданою швидкістю та зупиняти його в контрольованій точці.

Електропривод забезпечує рух стрічки і складається з електродвигуна, передавального механізму, комутаційної апаратури та, за потреби, частотного перетворювача. Якщо система потребує лише простої подачі до фіксованого упора або датчика, керування може виконуватися пускачем чи реле. Якщо ж необхідні плавний пуск, регулювання швидкості, точне підведення до зони захоплення та зменшення ударних навантажень, доцільним є використання частотного керування. У такому випадку контролер може задавати різні режими: швидку подачу, повільне позиціонування та повну зупинку.

Напрявні встановлюються вздовж стрічки і призначені для обмеження бокового зміщення коробки. Вони формують транспортний коридор, у межах якого коробка поступово вирівнюється відносно осі конвеєра. Відстань між напрямними повинна бути дещо більшою за ширину коробки, щоб уникнути заклинювання, але достатньо малою для стабільної орієнтації. Особливо важливими напрямні є перед зоною захоплення, де положення коробки має відповідати геометрії захватного пристрою робота.

Датчики контролю положення коробки використовуються для виявлення наявності виробу, контролю його проходження, визначення моменту зупинки та блокування надлишкової подачі. Найчастіше для таких задач застосовують фотоелектричні датчики, оскільки вони забезпечують безконтактне виявлення коробки і можуть бути встановлені збоку, над стрічкою або знизу. У промисловій моделі доцільно передбачити щонайменше три контрольні точки: датчик входу, датчик позиції захоплення та датчик зайнятості зони перед роботом.

Рівномірна подача коробок до зони захоплення є основною технологічною функцією конвеєра. Стрічка повинна забезпечувати рух без ривків і різких змін швидкості, оскільки нестабільна подача ускладнює роботу алгоритму позиціонування. Рівномірність подачі досягається правильним

вибором електропривода, налаштуванням швидкості, підтриманням натягу стрічки та відсутністю механічних перешкод на шляху руху коробки.

Орієнтація коробки за допомогою напрямних необхідна для того, щоб коробка входила в зону захоплення в однаковому положенні. Навіть невелике бокове зміщення або поворот коробки може призвести до помилки при захопленні, особливо якщо захват має фіксоване положення присосок або механічних губок. Напрямні повинні плавно підводити коробку до центральної осі, не створюючи надмірного тертя і не пошкоджуючи упаковку. У конструкції бажано передбачати можливість регулювання ширини транспортного коридору під різні типорозміри коробок.

Зупинка коробки у фіксованій позиції забезпечує повторюваність операції Pick and Place. Для цього в зоні захоплення встановлюється датчик позиції, а в програмі контролера задається умова зупинки електропривода. У найпростішому випадку коробка зупиняється за фронтом сигналу датчика. У більш точному варіанті використовується додаткова затримка або повільний підхід, що враховує геометричне розташування датчика відносно центру захоплення. Якщо коробки мають різну довжину, доцільно контролювати не лише передній фронт, а й наявність коробки в усій зоні захоплення.

Синхронізація роботи з роботом-маніпулятором є ключовою умовою безпечної та стабільної роботи системи. Конвеєр не повинен подавати наступну коробку, якщо робот ще виконує захоплення або зона захоплення зайнята. З іншого боку, робот не повинен починати рух до коробки, доки вона не зупинена і контролер не сформував сигнал готовності. Для цього між контролером конвеєра та контролером робота можуть використовуватися дискретні сигнали типу BoxReady, RobotReady, RobotBusy і PickDone. Такий обмін дозволяє реалізувати чітку послідовність дій і уникнути конфліктів між рухом стрічки та рухом захвату.

Запобігання накопиченню коробок перед зоною захоплення необхідне для збереження інтервалу між виробами і недопущення механічного стискання

упаковки. Якщо робот тимчасово не готовий, конвеєр повинен зупинити подачу або передати команду заборони на попередній транспортний модуль. Для цього використовуються датчики зайнятості та логіка блокування. Якщо зона захоплення зайнята, а датчик накопичення фіксує появу нової коробки, контролер зупиняє стрічку або переводить її у режим очікування. Після завершення операції роботом подача відновлюється.

На рисунку 1.8 наведено алгоритм взаємодії стрічкового конвеєра з роботом-маніпулятором.

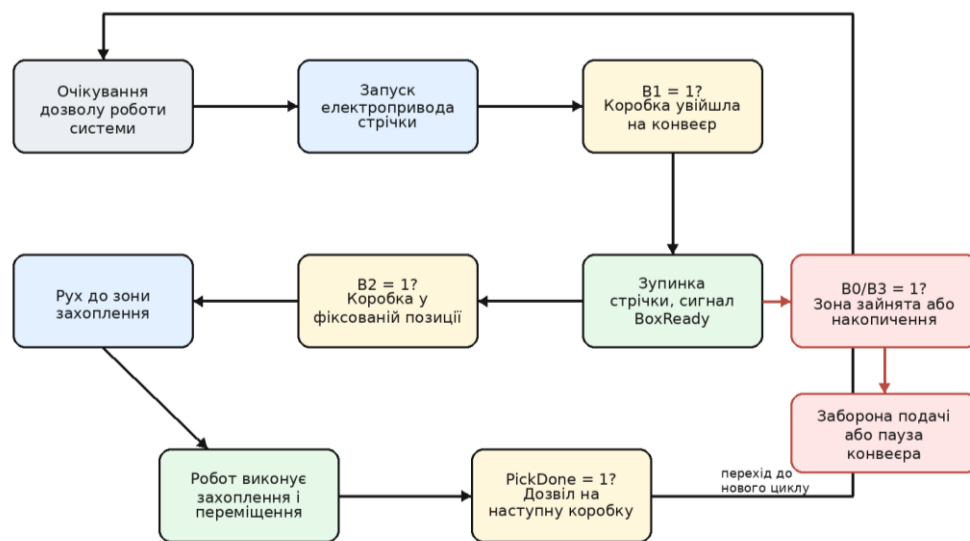


Рисунок 1.8 – Алгоритм взаємодії стрічкового конвеєра з роботом-маніпулятором

1.4 Аналіз роботи роликового конвеєра подачі та відведення палет

Роликовий конвеєр у роботизованій системі Pick and Place призначений для транспортування порожніх палет до зони укладання коробок і відведення заповнених палет після завершення циклу палетування. На відміну від стрічкового конвеєра подачі коробок, роликовий конвеєр працює з вантажем більшої маси та габаритів, тому його конструкція повинна забезпечувати високу жорсткість, надійне сприйняття вертикального навантаження, точне позиціонування палети та безпечну взаємодію з роботом-маніпулятором.

У складі роботизованої системи роликів конвеєр виконує не лише транспортну функцію. Він формує робочу позицію для укладання коробок, утримує палету під час роботи робота, контролює наявність порожньої та заповненої палети, а також запобігає зіткненню палет у зонах подачі та відведення. Тому такий конвеєр доцільно розглядати як керований модуль автоматизованої лінії, що поєднує механічну частину, електропривод, датчики, стопорні пристрої та програмну логіку керування.

Типовий цикл роботи роликів конвеєра (рисунок 1.9) складається з подачі порожньої палети, її підведення до фіксованої позиції, зупинки та фіксації, очікування завершення укладання коробок роботом, розблокування стопорів і відведення заповненої палети до наступного транспортного модуля або буферної зони. Узгодження цих операцій із роботом-маніпулятором є обов'язковою умовою стабільної роботи всієї системи.

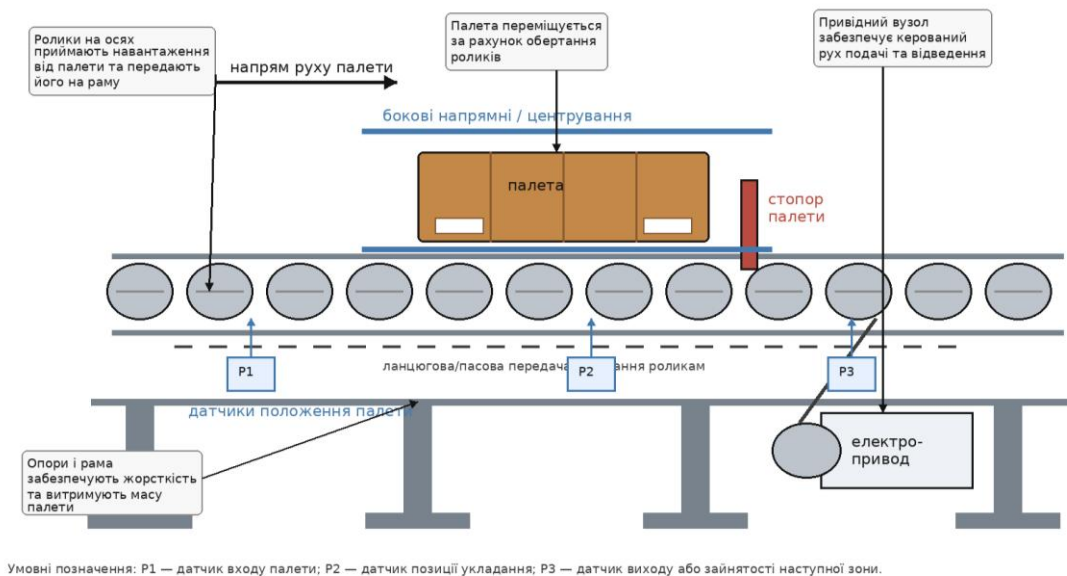


Рисунок 1.9 – Будова роликів конвеєра подачі та відведення палет:

P1 – датчик входу палети; P2 – датчик позиції укладання; P3 – датчик виходу або зайнятості наступної зони

Принцип роботи роликів конвеєра полягає у переміщенні палети по ряду обертових роликів. Якщо конвеєр є неприводним, рух може відбуватися під дією сили тяжіння на похилій ділянці. У роботизованій системі Pick and

Place доцільніше використовувати приводний роликів конвеєр, оскільки він дозволяє запускати, зупиняти і блокувати рух палети за командами контролера.

Після отримання дозволу на подачу контролер вмикає привід роликів вхідної зони. Порожня палета починає рухатися у напрямку зони укладання. Датчик входу підтверджує, що палета зайшла на конвеєр, після чого система контролює її переміщення до фіксованої позиції. Коли палета досягає датчика позиціонування або механічного стопора, електропривод зупиняється, а стопорний пристрій утримує палету в заданому положенні.

У зоні укладання ролики повинні бути зупинені або заблоковані, щоб палета не переміщувалася під дією ударів від коробок, вібрацій або нерівномірного навантаження. Після фіксації палети контролер формує сигнал PalletReady для робота-маніпулятора. Робот виконує послідовне укладання коробок згідно із заданою схемою палетування. Поки робот працює, подача нової палети в робочу зону заборонена.

Після завершення укладання робот або контролер палетизатора формує сигнал PalletFull. Перед відведенням заповненої палети контролер перевіряє стан вихідної зони. Якщо зона відведення вільна, стопор опускається, привод роликів вмикається, і палета переміщується на наступний конвеєр або в буфер. Якщо вихід зайнятий, система утримує палету в робочій зоні до звільнення наступної ділянки. Такий підхід запобігає зіткненню палет і перевантаженню транспортної лінії.

Для підвищення точності позиціонування може застосовуватися двошвидкісний режим: на основній ділянці палета рухається з робочою швидкістю, а перед стопором або датчиком позиції швидкість зменшується. Це знижує ударне навантаження на стопор і зменшує ризик зміщення палети. У системах із важкими палетами також доцільно застосовувати контроль струму двигуна або захист від перевантаження, що дозволяє виявити заклинювання чи надмірний опір руху.

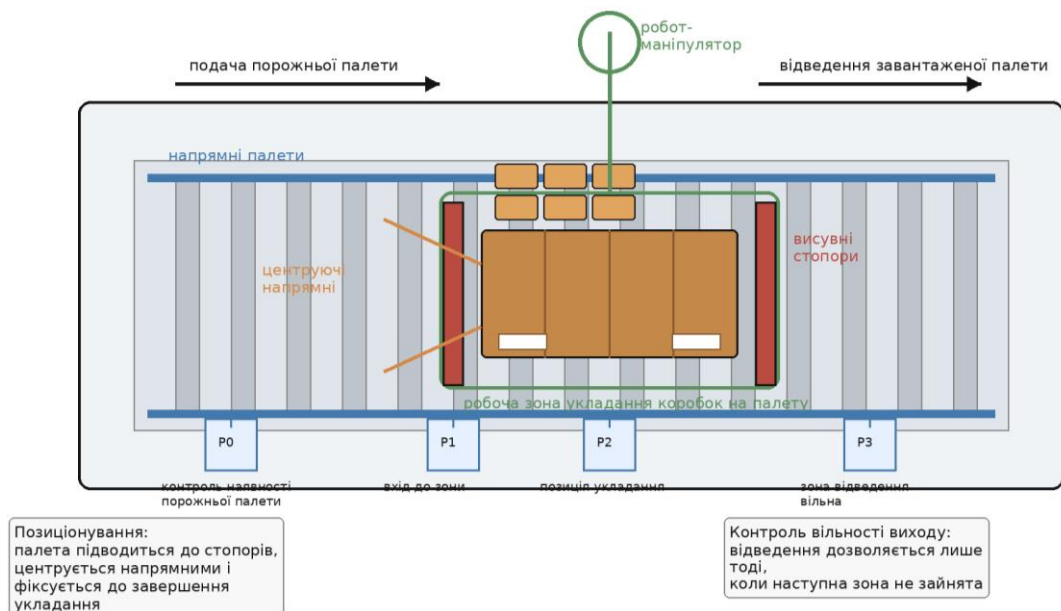


Рисунок 1.10 – Схема позиціонування палети у зоні укладання коробок

Подача порожньої палети до зони укладання є першою технологічною функцією роликового конвеєра. Палета повинна надходити в робочу зону лише тоді, коли попередній цикл завершено, робот готовий до роботи, а зона укладання вільна. Якщо палета подається занадто рано, виникає ризик її зіткнення із заповненою палетою або входу в зону, де ще працює робот.

Точне позиціонування палети необхідне для формування правильного шару коробок. Робот виконує переміщення за координатами, тому фактичне положення палети повинно відповідати розрахунковій координатній системі. Для цього використовуються напрямні, стопори, центруючі пристрої та датчики. Якщо палета зупинена з перекосом або зміщенням, коробки можуть вийти за її межі, порушити схему укладання або зменшити стійкість сформованого штабеля.

Утримання палети під час укладання є важливою умовою стабільності процесу. Під час роботи робот може укласти коробки з різних боків палети, і навантаження розподіляється нерівномірно. Тому палета повинна залишатися нерухомою до завершення циклу. Для цього ролики зупиняються, а стопор або центратор утримує палету в заданій позиції.

Відведення заповненої палети виконується після отримання сигналу про завершення укладання. На цьому етапі конвеєр має забезпечити плавний старт, оскільки різке прискорення може спричинити зміщення верхніх коробок або порушення стійкості вантажу. Для важких і високих штабелів доцільно застосовувати плавний розгін, обмеження швидкості та контроль вільності вихідної зони.

Синхронізація роботи з роботом-маніпулятором реалізується через обмін дискретними або мережевими сигналами. Роликовий конвеєр повідомляє роботу, що палета встановлена і готова до укладання, а робот повідомляє конвеєру про завершення шару або всієї палети. Поки робот перебуває у робочій зоні, рух палети блокується. Це дозволяє уникнути ситуації, коли палета починає рухатися під час укладання коробок.

Запобігання накопиченню палет забезпечується зонним керуванням. Кожна зона конвеєра має власний датчик зайнятості, а рух палети в наступну зону дозволяється лише тоді, коли вона вільна. Якщо вихідний буфер зайнятий, заповнена палета залишається в зоні укладання, а подача наступної порожньої палети блокується. Це дає змогу підтримувати безпечний інтервал між палетами та уникати аварійних ситуацій.

1.5 Характеристика трьохвісьової роботизованої системи порталного типу з вакуумним захопленням

Трьохвісьова роботизована система порталного типу є основним виконавчим механізмом автоматизованого комплексу Pick and Place. Вона призначена для захоплення коробки з конвеєра подачі, її переміщення у просторі та укладання на палету у задану позицію. На відміну від шарнірних маніпуляторів, портална система має прямокутну робочу зону і виконує переміщення за трьома взаємно перпендикулярними лінійними осями X, Y та Z. Така структура зручна для палетування, оскільки координати точки захоплення і точки укладання можуть задаватися у декартовій системі координат.

У складі роботизованої системи порталний робот виконує функції точного позиціонування, переміщення коробки між транспортними модулями, контролю факту захоплення, формування заданої схеми укладання на палеті та синхронізації з конвеєрами. Вакуумний захват забезпечує безпечне утримання коробки за верхню поверхню без складного механічного затискання. Це особливо доцільно для коробок із рівною плоскою поверхнею, які мають достатню жорсткість і не деформуються під час прикладання розрідження.

Типовий цикл роботи системи (рисунок 1.11) складається з очікування коробки в зоні захоплення, переміщення порталу до точки захоплення, опускання осі Z, створення вакууму, контролю надійності утримання, піднімання коробки, переміщення до координати на палеті, опускання до висоти поточного шару, вимкнення вакууму та повернення у безпечну позицію. Кожний етап циклу повинен виконуватися лише після підтвердження відповідних датчиків і сигналів готовності суміжних механізмів.

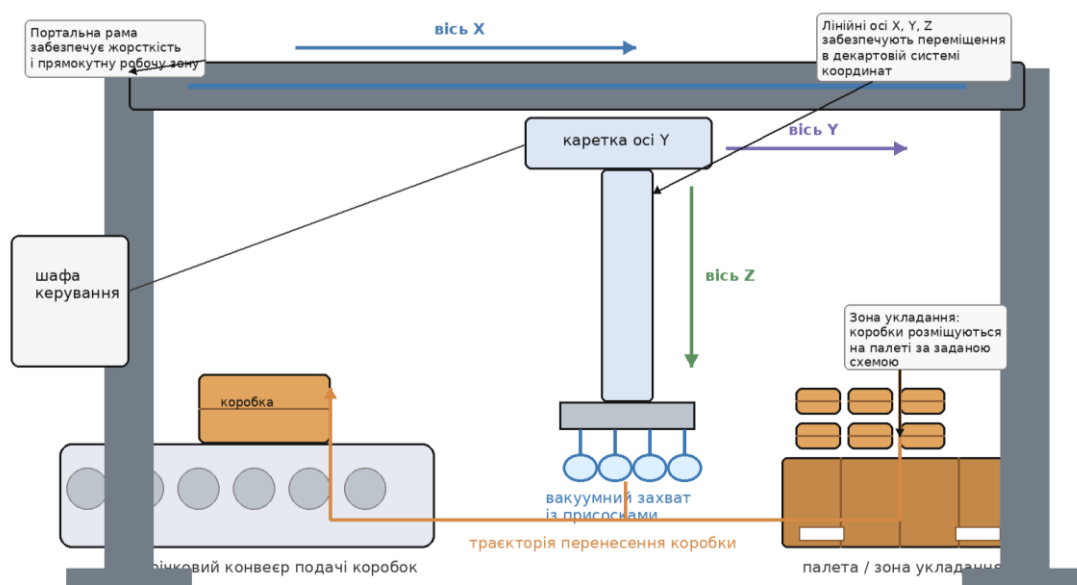


Рисунок 1.11 – Загальна будова трьохвісьової порталної системи Pick and Place

Основними елементами трьохвісьової порталної системи є несуча портална рама, лінійні осі X, Y та Z, каретки, напрямні, приводні механізми, сервоприводи або крокові двигуни, датчики кінцевих і референтних положень, контролер руху, вакуумний захватний пристрій та система безпеки. Усі ці

елементи повинні працювати узгоджено, оскільки помилка позиціонування або втрата вакууму може призвести до неправильного укладання коробки чи її падіння.

Портальна рама є базовою механічною конструкцією системи. Вона складається з опорних стійок, поперечних балок і монтажних плит, на яких закріплюються напрямні та приводи. Жорсткість порталу визначає точність і повторюваність руху. Якщо рама має недостатню жорсткість, під час прискорення або гальмування можуть виникати коливання, які погіршують точність зупинки і збільшують час стабілізації перед захопленням або відпусканням коробки.

Вісь X зазвичай забезпечує переміщення вздовж основної довжини робочої зони, наприклад від конвеєра подачі до зони палетування. Вісь Y виконує поперечне переміщення, що дає змогу розміщувати коробку в різних рядах на палеті. Вісь Z забезпечує вертикальний рух захвату: опускання до поверхні коробки, піднімання вантажу, опускання до палети та повернення у безпечну висоту. Координоване керування трьома осями формує просторову траєкторію руху кінцевого ефектора.

Лінійні напрямні та каретки підтримують точність руху осей і сприймають механічні навантаження. Для осей портального робота можуть застосовуватися зубчасто-ремінні передачі, кулькові гвинтові пари, зубчасто-рейкові передачі або лінійні двигуни. Ремінні передачі доцільні для швидких переміщень з відносно невеликим навантаженням, гвинтові передачі забезпечують високу точність, а рейкові передачі зручні для великих ходів. Вибір типу приводу залежить від маси коробки, необхідної швидкості, точності та розмірів робочої зони.

Сервоприводи або крокові двигуни забезпечують керований рух осей. Для промислових систем з високими вимогами до точності перевагу мають сервоприводи з енкодерами, оскільки вони дають змогу контролювати фактичне положення, швидкість і прискорення. Крокові двигуни можуть

використовуватися у навчальних або простіших системах, але потребують правильного вибору моменту та захисту від пропуску кроків. Для кожної осі задаються обмеження швидкості, прискорення, робочого ходу і допустимих зон переміщення.

Датчики кінцевого та референтного положення використовуються для початкового встановлення координат і захисту від виходу за межі робочої зони. Під час запуску система виконує процедуру повернення в нульове положення, після чого всі координати руху відлічуються від заданої базової точки. Крім того, програмно задаються обмеження робочої області, які не дозволяють захвату вийти за межі конвеєра, палети або безпечної зони.

Контролер руху або програмований логічний контролер формує траєкторії переміщення, обробляє сигнали датчиків, керує сервоприводами і вакуумним захватом, а також обмінюється сигналами з конвеєрами. Для операції Pick and Place контролер повинен зберігати координати точки захоплення, координати точок укладання на палеті, поточний номер коробки, висоту шару та стан вакууму.

Робота трьохвісьової портальної системи виконується за послідовним циклом. На початку контролер перевіряє готовність конвеєра подачі коробок, наявність коробки у фіксованій позиції, готовність палети та відсутність аварійних сигналів. Якщо всі умови виконані, робот переходить у режим захоплення.

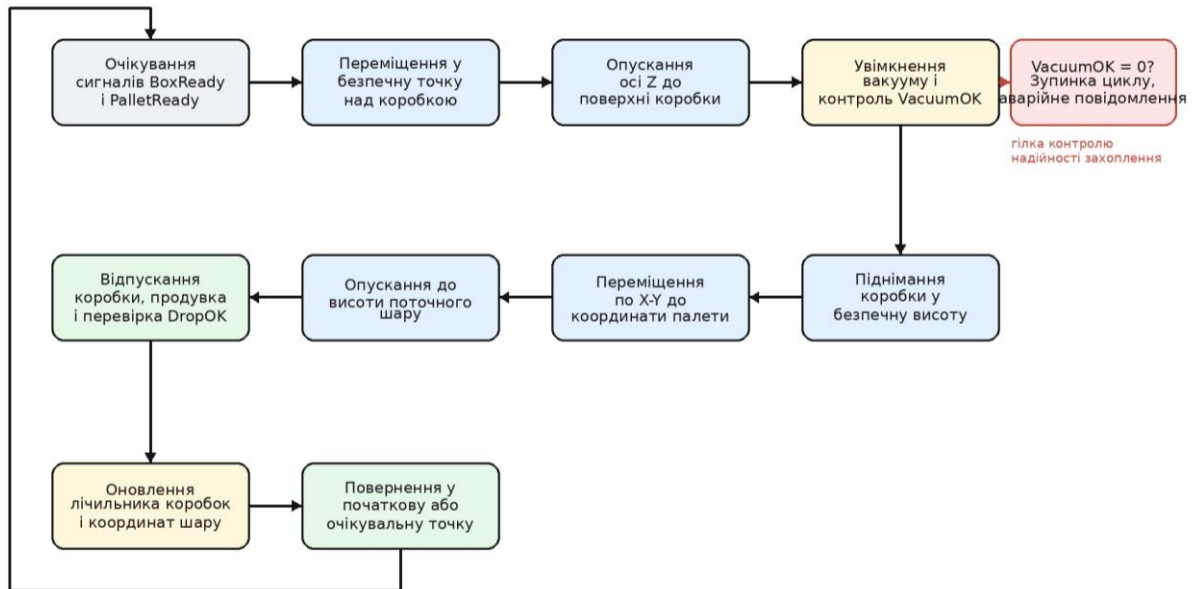
Першим етапом є переміщення захвату у безпечну точку над коробкою. Для уникнення зіткнень рух по осях X та Y виконується на безпечній висоті Z . Після досягнення координати захоплення вісь Z опускає вакуумний захват до поверхні коробки. Далі вмикається вакуум, і після досягнення заданого рівня розрідження формується сигнал VacuumOK. Лише після цього дозволяється піднімання коробки.

Другий етап полягає у перенесенні коробки до палети. Захват піднімається у безпечну висоту, після чого осі X та Y переміщують коробку до

заданої координати укладання. Траєкторія повинна враховувати габарити коробки, висоту вже укладених шарів, положення напрямних, конвеєрів та інших елементів системи. Для зменшення ризику втрати вантажу прискорення та гальмування мають бути обмежені відповідно до утримувальної здатності вакуумного захвату.

Третій етап – укладання коробки. Вісь Z опускає коробку до висоти поточного шару. Після досягнення заданої координати контролер вимикає вакуум і, за потреби, подає короткий імпульс продувки для швидкого відпускання. Потім захват піднімається у безпечну висоту, а лічильник укладених коробок збільшується. Якщо поточний шар не заповнений, обчислюється наступна координата укладання. Якщо шар завершено, змінюється висота Z для наступного шару. Якщо палета заповнена, формується сигнал на її відведення.

Алгоритм повинен передбачати обробку нештатних ситуацій. Якщо датчик вакууму не підтвердив захоплення, робот повинен зупинити цикл, не піднімати коробку і сформувати повідомлення оператору. Якщо під час переміщення рівень вакууму знизився нижче допустимого порога, необхідно виконати контрольовану зупинку або повернення до безпечної позиції. Якщо осі не досягли заданих координат за допустимий час, система повинна перейти в аварійний стан.



Кожний перехід виконується лише після підтвердження датчиків положення, вакууму, готовності конвеєрів і відсутності аварійних умов.

Рисунок 1.12 – Алгоритм циклу Pick and Place для портальної системи з вакуумним захопленням

Портальна система працює у декартовій системі координат, де кожна точка робочої зони описується координатами X, Y та Z. Точка захоплення P_pick задається відносно положення коробки на стрічковому конвеєрі, а точки укладання P_place визначаються схемою палетування. Для кожної коробки контролер формує набір координат, за якими виконується переміщення.

Для забезпечення безпеки траєкторія зазвичай розбивається на декілька проміжних точок: безпечна висота над коробкою, точка контакту з коробкою, безпечна висота перенесення, точка над палетою, точка укладання та точка відходу. Такий підхід дозволяє уникнути зіткнення з коробками, що вже знаходяться на палеті, а також з елементами конвеєрів і напрямних.

Схема палетування визначає послідовність позицій, у які робот повинен укласти коробки. Найпростішим варіантом є розміщення коробок у прямокутній сітці. У більш складних випадках використовують чергування орієнтації коробок, зміщення рядів або формування шарів із різною структурою

для підвищення стійкості штабеля. У межах даної системи кожна нова коробка отримує координату залежно від номера в шарі та номера шару.

Координата Z змінюється залежно від висоти палети та кількості вже укладених шарів. Якщо висота коробки дорівнює h , то для кожного наступного шару точка укладання піднімається на величину h з урахуванням технологічного зазору. При цьому безпечна висота перенесення повинна бути більшою за висоту найвищої перешкоди в робочій зоні.

Точність координатного керування залежить від механічної жорсткості порталу, люфтів передач, налаштувань приводу, точності датчиків і правильності калібрування. Під час налагодження системи необхідно визначити нульові положення осей, координати конвеєра подачі, координати початку палети та параметри коробки. Після цього програма може автоматично формувати координати укладання без ручного введення кожної точки.

Висновки до розділу 1

Розглянуто особливості побудови та функціонування виробничих ліній транспортування і укладання коробок. Встановлено, що такі лінії є важливою складовою сучасних пакувальних, складських і логістичних процесів, оскільки забезпечують безперервне переміщення штучних вантажів, їх позиціонування, підготовку до палетування та подальше транспортування. Автоматизація цих операцій дає змогу зменшити вплив людського фактора, підвищити продуктивність, стабільність і повторюваність технологічного процесу.

Проаналізовано технологічний процес переміщення коробок з конвеєра на палети. З'ясовано, що він є послідовним автоматизованим циклом, у якому необхідно узгодити подачу коробок, подачу та фіксацію палет, роботу датчиків, виконання операції захоплення, перенесення та укладання коробки. Ефективність такого процесу визначається не лише механічним переміщенням вантажу, а й правильною логікою керування станами, що передбачає перевірку готовності коробки, палети, робота-маніпулятора та виконавчих механізмів.

Визначено, що стрічковий конвеєр подачі коробок виконує ключову функцію у підготовці об'єкта до захоплення. Його основними завданнями є рівномірна подача коробок, орієнтація за допомогою напрямних, зупинка у фіксованій позиції та передача системі керування сигналу про готовність коробки до захоплення. Стабільна робота стрічкового конвеєра безпосередньо впливає на точність роботи вакуумного захвата і надійність усього циклу Pick and Place.

Розглянуто роботу роликового конвеєра подачі та відведення палет. Встановлено, що цей модуль забезпечує транспортування порожніх палет у робочу зону, їх точне позиціонування під час укладання коробок, утримання палети в нерухомому стані та відведення заповненої палети після завершення циклу. Для стабільної роботи роликового конвеєра важливими є наявність датчиків положення, стопорних або центруючих пристроїв, а також логіка блокування руху в разі зайнятості наступної зони.

Охарактеризовано трьохвісьову роботизовану систему порталного типу з вакуумним захопленням. Показано, що портална структура з осями X, Y та Z є доцільною для задач палетування, оскільки забезпечує прямолінійні координатні переміщення між зоною захоплення коробки та зоною укладання на палеті. Вакуумний захват дозволяє утримувати коробку за верхню площину без бокового стискання, що знижує ризик деформації картонної тари та підвищує якість укладання.

Установлено, що надійність роботизованої системи Pick and Place значною мірою залежить від синхронізації всіх підсистем. Стрічковий конвеєр повинен подавати коробку лише тоді, коли зона захоплення вільна, роликовий конвеєр має фіксувати палету до завершення операції укладання, а робот-маніпулятор повинен виконувати рух лише після підтвердження сигналів готовності. Такий підхід дає змогу уникнути зіткнень, помилок позиціонування, падіння коробки та передчасного переміщення палети.

У результаті аналізу визначено основні технічні вимоги до системи автоматичного керування: контроль положення коробки і палети, перевірка стану вакуумного захвата, блокування рухів у небезпечних режимах, облік кількості укладених коробок, формування сигналів готовності та завершення операцій, а також обробка нештатних ситуацій. Реалізація цих вимог є необхідною умовою стабільної, безпечної та повторюваної роботи автоматизованої лінії.

Отримані результати інформаційно-аналітичного огляду створюють підґрунтя для подальшого розроблення 3D-моделі виробничого процесу, формування алгоритму керування та визначення складу вхідних і вихідних сигналів системи. Узагальнені відомості про стрічковий конвеєр, роликівий конвеєр і порталну роботизовану систему Pick and Place дають змогу перейти до практичного етапу проєктування автоматизованого комплексу переміщення та укладання коробок на палети.

2 РОЗРОБКА 3D-МОДЕЛІ ВИРОБНИЧОГО ПРОЦЕСУ СКЛАДАННЯ ТА ТРАНСПОРТУВАННЯ КОРОБОК

2.1 Постановка задачі

Розробка 3D-моделі виробничого процесу складання та транспортування коробок є необхідним етапом створення автоматизованої системи Pick and Place. Така модель дає змогу відтворити роботу виробничої ділянки у віртуальному середовищі, перевірити взаємодію механізмів і датчиків, а також оцінити правильність алгоритму керування до використання реального обладнання.

Моделювання було проведено в середовищі Factory I/O. У даній роботі це середовище використовується як інструмент для побудови віртуальної промислової сцени, розробки алгоритмів роботи обладнання та тестування керуючих програм для програмованого логічного контролера. Завдяки цьому можна перевірити реакцію системи на вхідні сигнали, правильність формування вихідних команд, послідовність переходів між етапами циклу та роботу логічних блокувань.

Необхідність моделювання пояснюється тим, що розробка програми ПЛК без попередньої перевірки може призвести до помилок у роботі реальної установки. Такі помилки можуть проявлятися у неправильній послідовності запуску конвеєрів, несвоєчасній зупинці коробки, відсутності блокування руху робота, некоректному обліку укладених коробок або неправильній реакції на аварійну зупинку. Віртуальна модель дозволяє виявити ці недоліки на етапі проектування та усунути їх без ризику пошкодження обладнання.

Об'єктом моделювання є автоматизована виробнича ділянка, призначена для подачі коробок, транспортування палет, захоплення коробок роботизованою системою та їх укладання на палету. До складу моделі повинні входити стрічковий конвеєр подачі коробок, роликовий конвеєр подачі палет, вихідний роликовий конвеєр, трьохвісьова портална роботизована система з

вакуумним захопленням, датчики положення, елементи керування та сигналізації.

Предметом моделювання є логіка взаємодії транспортних механізмів, датчиків і робота-маніпулятора під керуванням ПЛК. У моделі необхідно забезпечити таку послідовність роботи, за якої кожна наступна дія виконується лише після підтвердження завершення попередньої. Це дає змогу уникнути ситуацій, коли робот виконує захоплення за відсутності коробки, укладає коробку без палети або палета починає рухатися до завершення циклу палетування.

Метою моделювання є створення функціональної 3D-моделі виробничого процесу складання та транспортування коробок у середовищі Factory I/O для подальшої розробки, налагодження та тестування керуючих програм ПЛК.

Модель повинна забезпечити можливість перевірки основного автоматичного циклу, ручного керування окремими механізмами, сигналів запуску і зупинки, умов безпечної роботи, аварійних блокувань, а також правильності взаємодії між віртуальними об'єктами та програмою контролера.

Для досягнення поставленої мети необхідно виконати такі завдання:

- створити у Factory I/O 3D-сцену виробничої ділянки, яка відображає процес подачі коробок, транспортування палет і укладання коробок на палету;
- розмістити основні елементи сцени: стрічковий конвеєр подачі коробок, роликові конвеєри палет, порталний робот, вакуумний захват, датчики, панель керування та сигнальні пристрої;
- налаштувати логіку появи коробок і палет, їх переміщення, зупинку в робочих позиціях та видалення готових палет із вихідної зони;
- визначити перелік вхідних сигналів для ПЛК: датчики наявності коробки, датчики положення палети, сигнали положення робота, сигнал наявності вакууму, кнопки керування та аварійної зупинки;

- визначити перелік вихідних сигналів ПЛК: керування приводами конвеєрів, командами руху робота, вакуумним захопленням, світловою та звуковою сигналізацією;
- розробити послідовність роботи системи у вигляді алгоритму автоматичного циклу Pick and Place;
- перевірити правильність роботи алгоритму в нормальному режимі та під час виникнення типових нештатних ситуацій;
- підготувати модель до використання як віртуального стенда для налагодження програми ПЛК.

1.2 Перелік основних елементів сцени виробничого процесу складання та транспортування коробок

В роботі розглянуто конвеєрну лінію транспортування піддонів (палет), яка передбачає зупинку палети в зоні завантаження та укладання на неї коробок з іншої конвеєрної лінії за допомогою трьохосової станції з пневматичним захопленням. Загальний вигляд виробничої сцени, що було розроблено, наведено на рисунку 2.1.



Рисунок 2.1 – Загальний вигляд виробничої сцени

Розроблена модель системи містить три синхронізовані конвеєри: конвеєр А для подачі порожніх палет, конвеєр В для відведення готових палет і конвеєр

С для подачі коробок. До складу лінії також входять триосьовий робот-маніпулятор з пневматичним присосковим захватом, система датчиків, захисні огороження, панель оператора та сигнальна колона (рисунки 2.2 та 2.3). Робот-маніпулятор циклічно захоплює одну коробку з конвеєра С і точно укладає дві коробки на кожен порожню палету, зупинену в зоні навантаження на конвеєрі А. Завдяки програмованим координатам і регульованому тиску присосок 0,4-0,6 МПа зменшується ризик деформації картонних коробок, забезпечується правильна геометрія штабеля та повторюваність позиціонування з похибкою не більше 1-2 мм. Після укладання двох коробок палета автоматично переміщується на конвеєр В, лічильник готових палет збільшується, а система переходить до обробки наступної палети.

Отже, розроблена роботизована лінія мінімізує вплив людського фактора, забезпечує повну комплектність палет і знижує ризик механічного пошкодження коробок. Вона підтримує стабільну продуктивність незалежно від тривалості роботи та відповідає сучасним вимогам до автоматизованих процесів палетування.

Конвеєр подачі палет (Pallet Feeder Conveyor) є роликівим і має окремий привід. Конвеєр подачі коробок (Box Feeder Conveyor) є стрічковим, також має окремий привід і оснащений центрувальними напрямними. Вихідний конвеєр готових палет (Exit Conveyor) є роликівим та обладнаний окремим приводом. Усі конвеєри розміщені в межах захисного металевого огороження. За огороженням встановлено панель керування оператора з кнопками, перемикачами, світловою індикацією та сигнальною колоною.



Рисунок 2.2 – Конвеєр подачі

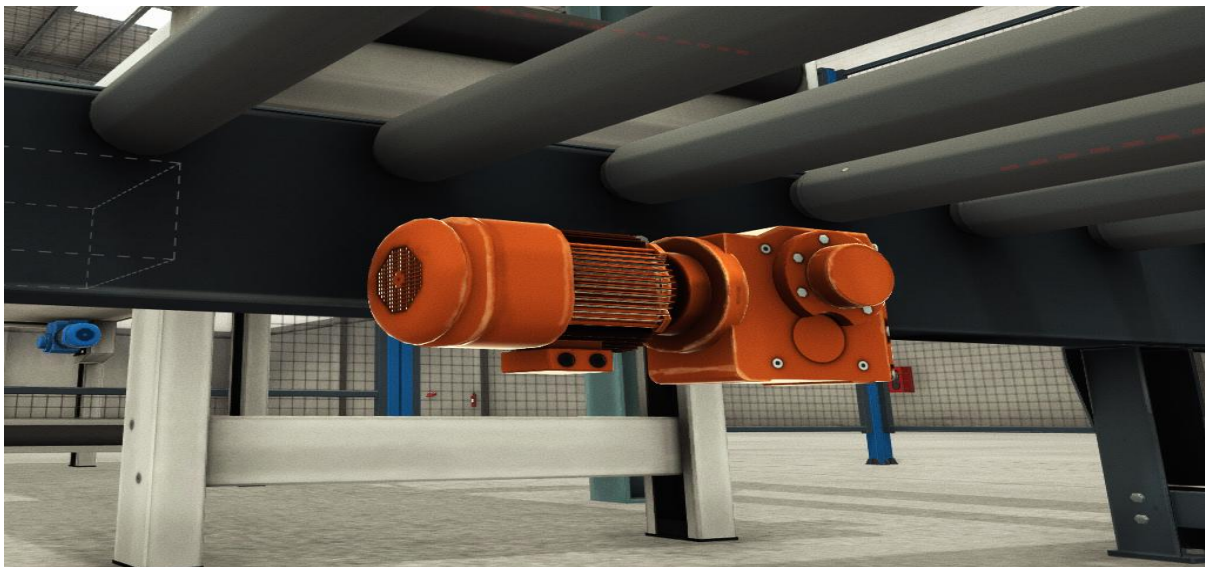


Рисунок 2.3 – Привід конвеєра подачі палет



Рисунок 2.4 – Стрічковий конвеєр подачі коробок із центрувальними напрямними

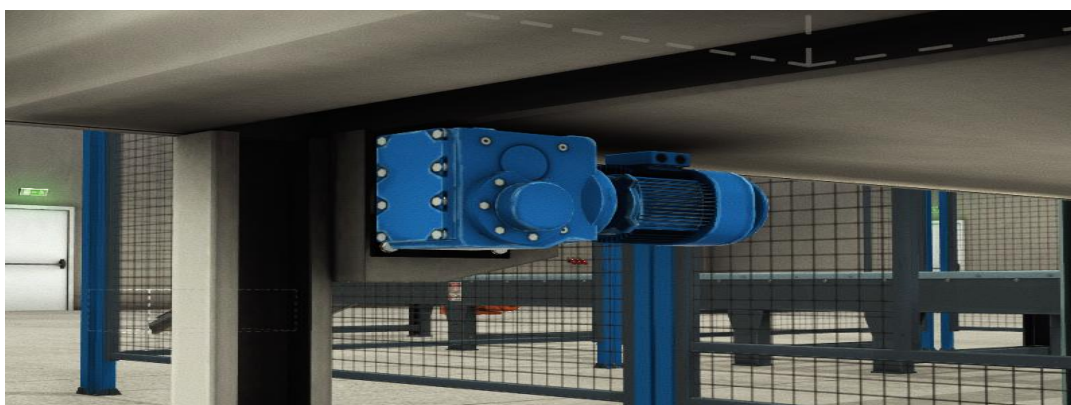


Рисунок 2.5 – Привід стрічкового конвеєра подачі коробок

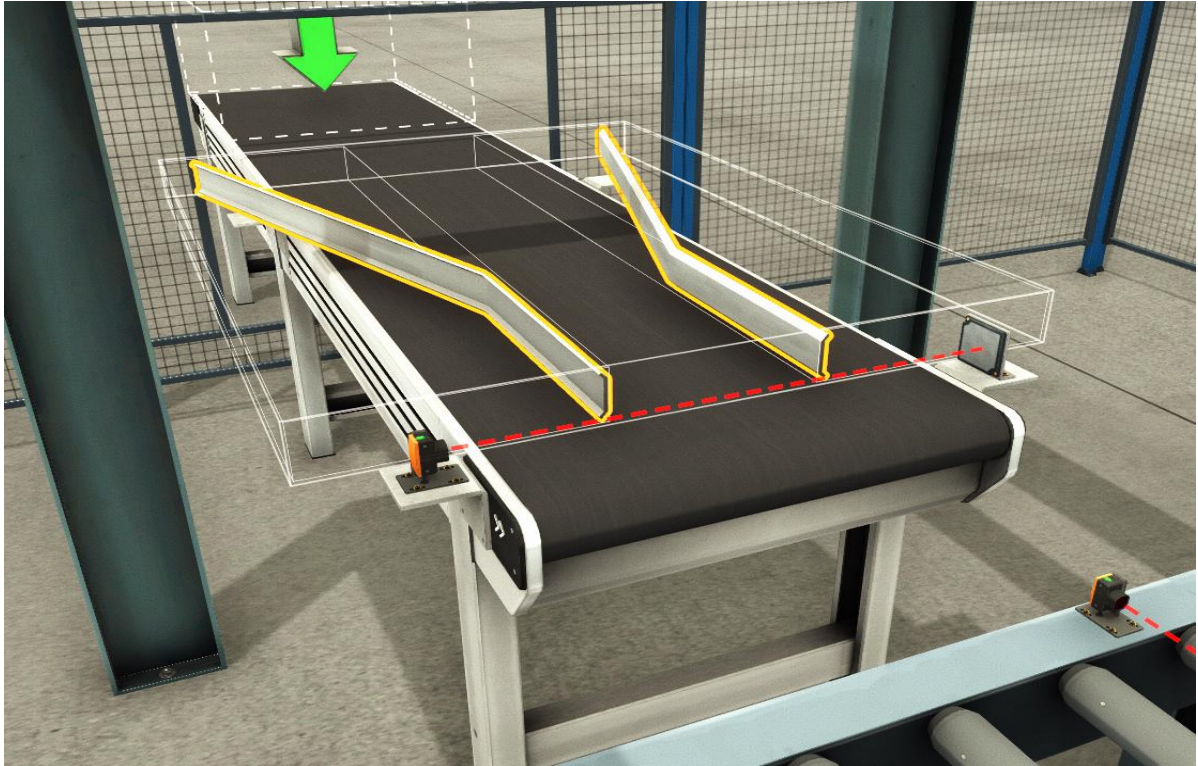


Рисунок 2.6 – Центрувальні напрямні на конвеєрі подачі коробок



Рисунок 2.7 – Вихідний роликівий конвеєр готових палет

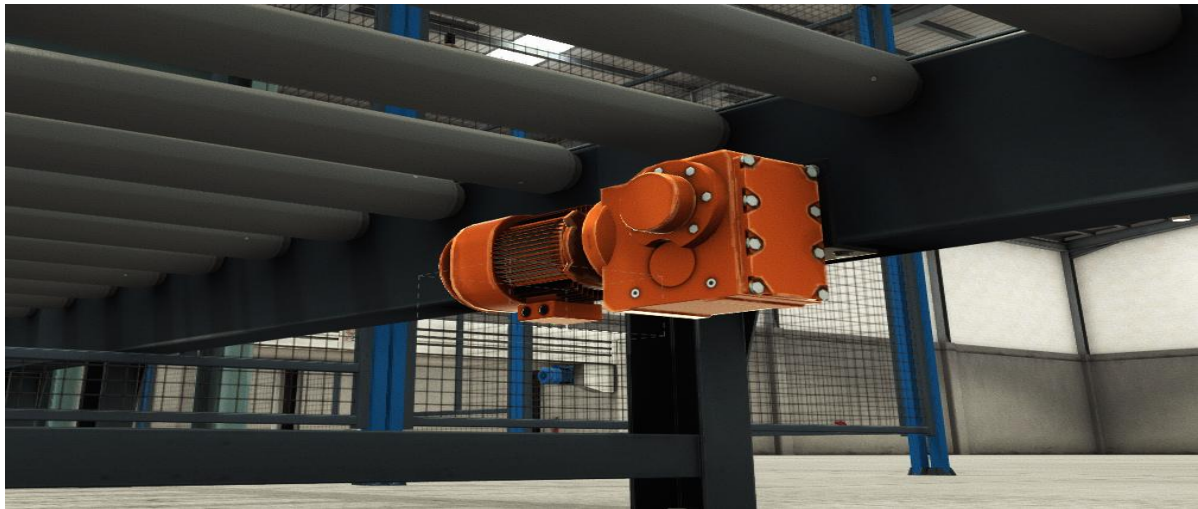


Рисунок 2.8 – Привід вихідного конвеєра готових палет

У центральній частині лінії розташована зона точного позиціонування (рисунок 2.9). Палета зупиняється нормально замкненим датчиком Pallet Present Sensor точно в зоні укладання, а коробка аналогічним датчиком Box Present Sensor зупиняється безпосередньо під зоною захвату робота [13;14].

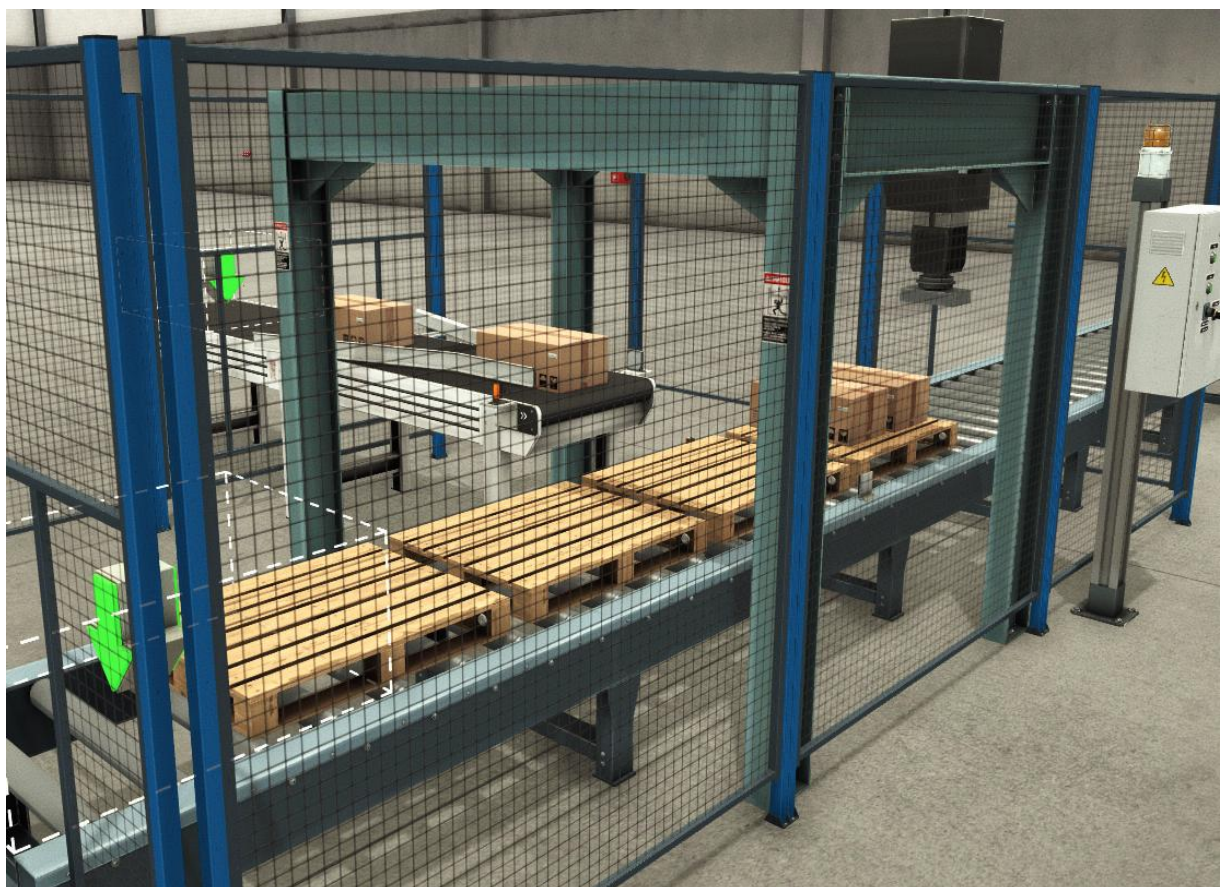


Рисунок 2.9 – Зона укладання із зупиненою палетою та коробкою



Рисунок 2.10 – Датчик присутності палети



Рисунок 2.11 – Датчик присутності коробки

Триосьовий робот-маніпулятор (X,Y,Z) оснащено пневматичним захватом-присоскою з датчиком наявності вакууму або коробки, датчиком присутності об'єкта під захватом, а також поворотною віссю на 90° та датчиком кута повороту. У межах цього проєкту поворотна вісь і датчик кута не використовуються.



Рисунок 2.12 – Загальний вигляд робота-маніпулятора



Рисунок 2.13 – Пневматичний захват і датчик вакууму

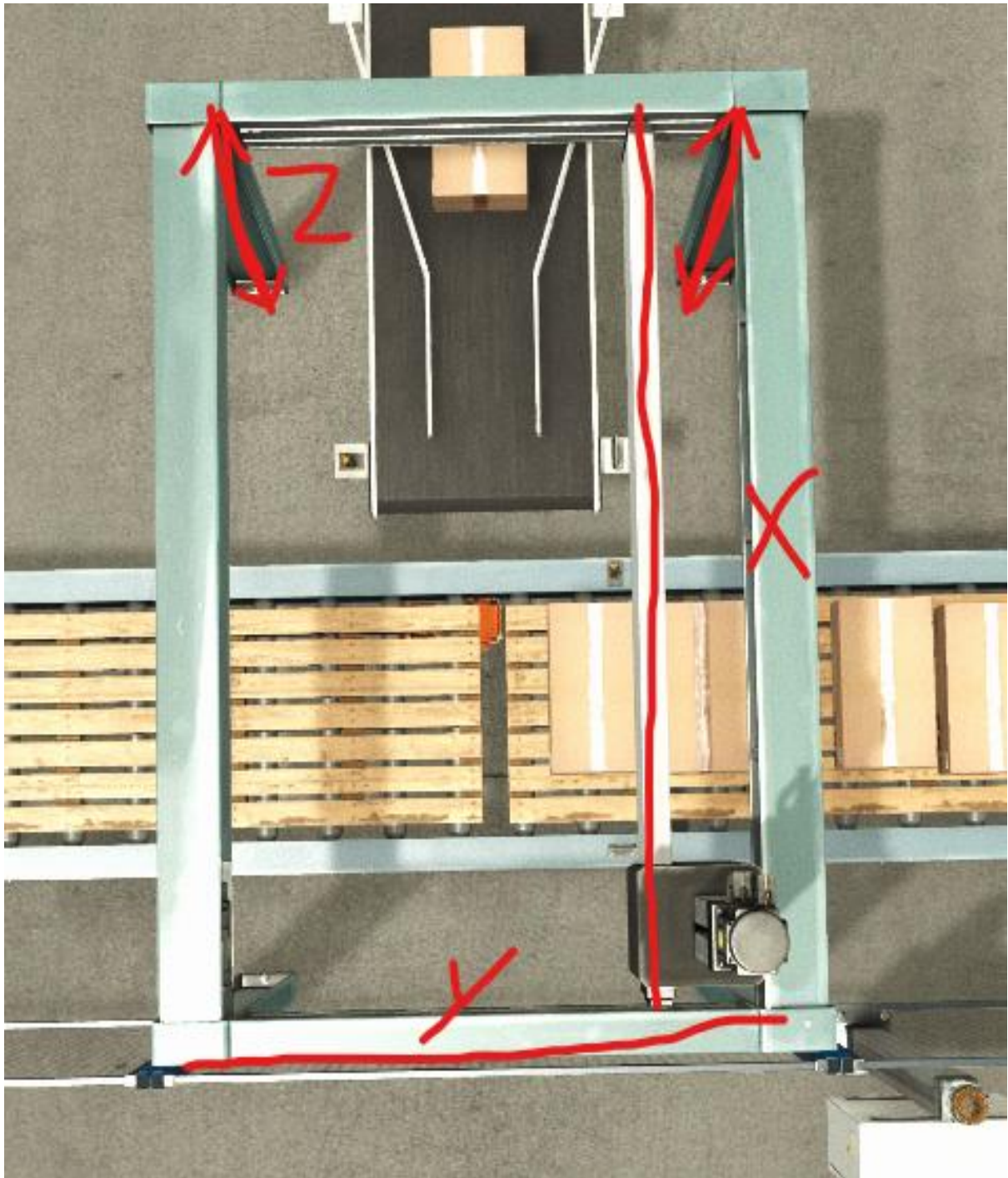


Рисунок 2.15 – Робот у положенні «Home» та координатні осі X,Y,Z

На вході лінії розміщено два генератори. Emitter 1 формує порожні палети, а Emitter 2 подає коробки на стрічковий конвеєр. На виході після вихідного конвеєра встановлено жолоб (Chute), за яким розташовано елемент Remover. Він умовно відвантажує готові палети з коробками.

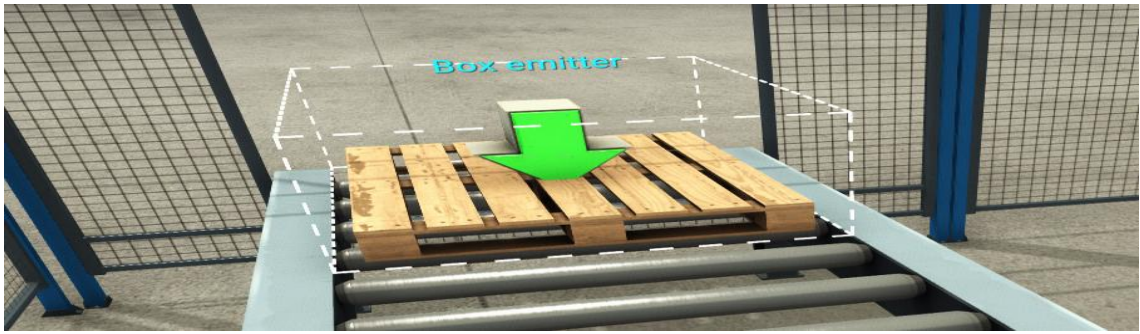


Рисунок 2.15 – Генератор палет (Emitter Pallet)



Рисунок 2.16 – Генератор коробок (Emitter Box)

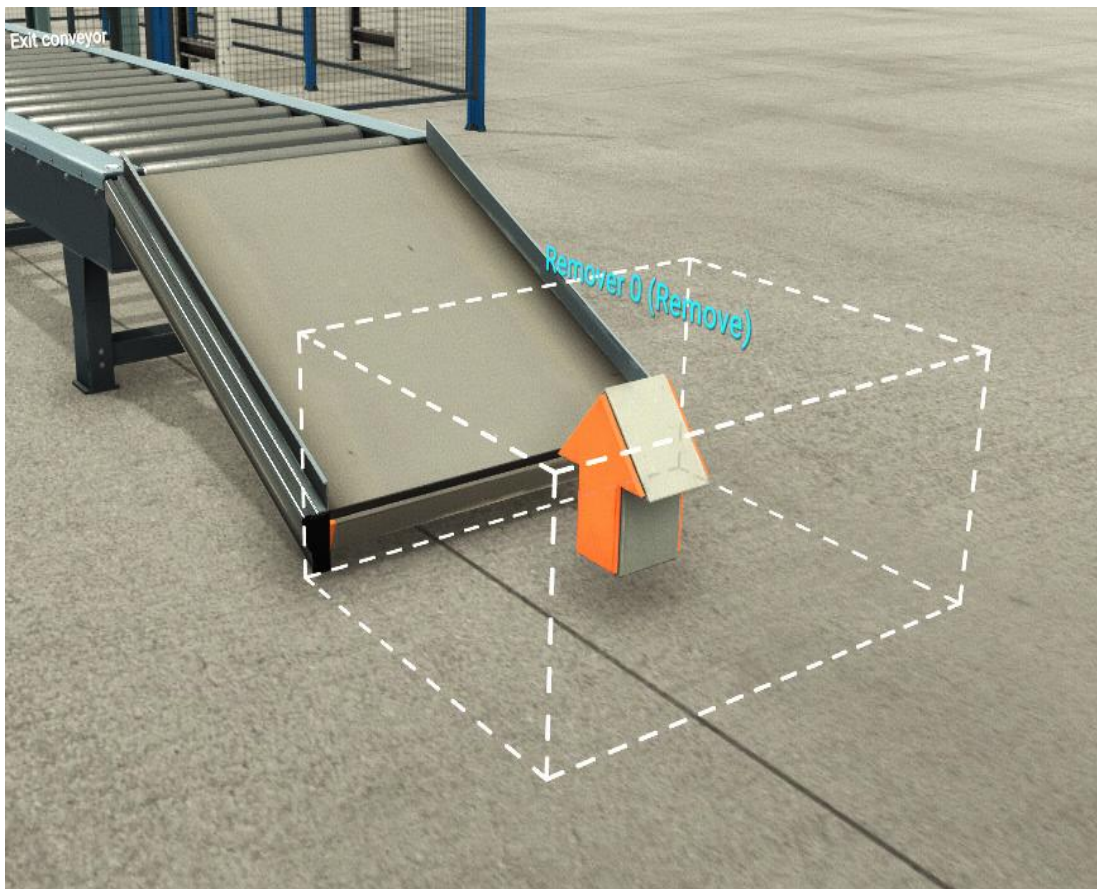


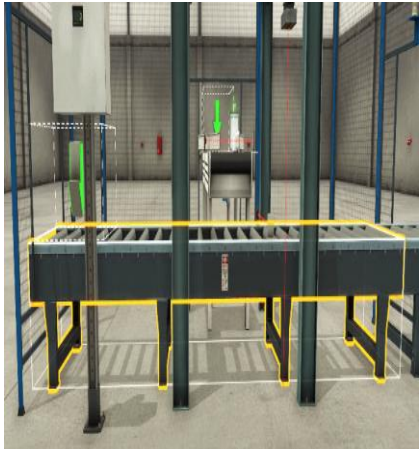
Рисунок 2.17 – Вихідний жолоб і Remover




На початку циклу Emitter формує порожню палету, після чого роликові конвеєри переміщують її до зони укладання. Датчик фіксує положення палети та зупиняє її точно під роботом. Інший Emitter формує коробку, яку стрічковий конвеєр із центрувальними напрямними подає до зони захвату. Після спрацювання датчика коробка зупиняється у потрібному положенні. Робот-маніпулятор захоплює коробку, піднімає її, переміщує до палети та відпускає в позиції 1. Далі цикл повторюється для другої коробки, яка укладається в позиції 2.

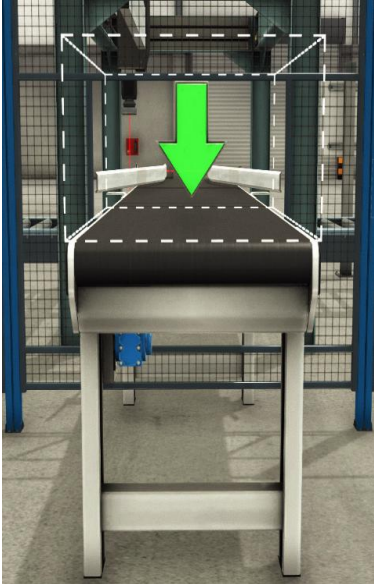
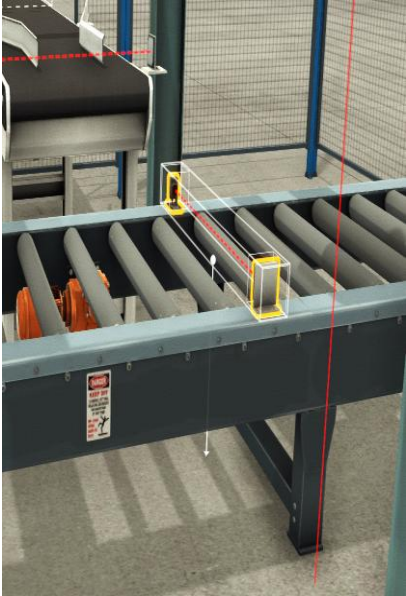
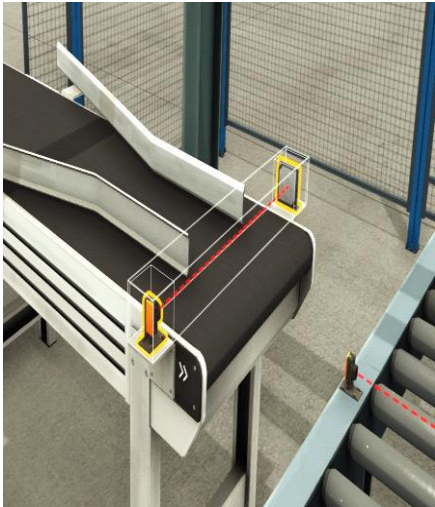
Після укладання двох коробок вихідний конвеєр переміщує готову палету до жолоба, а Remover умовно виконує її відвантаження.

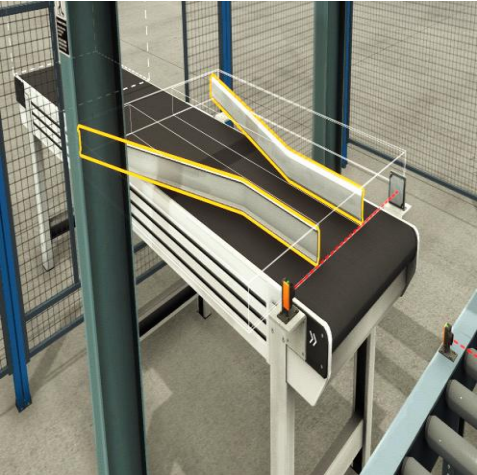

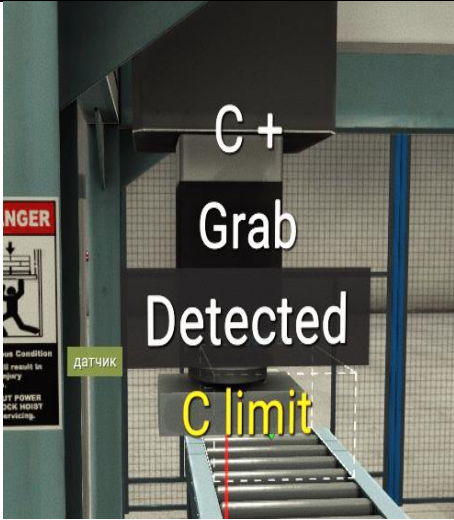
У таблиці 2.1 подано специфікацію основного обладнання та конфігурацію елементів 3D-моделі виробничої сцени. Отже, розроблена роботизована лінія забезпечує повністю автоматичне укладання двох коробок на кожен палету з точним позиціонуванням і подальшим транспортуванням готових партій.

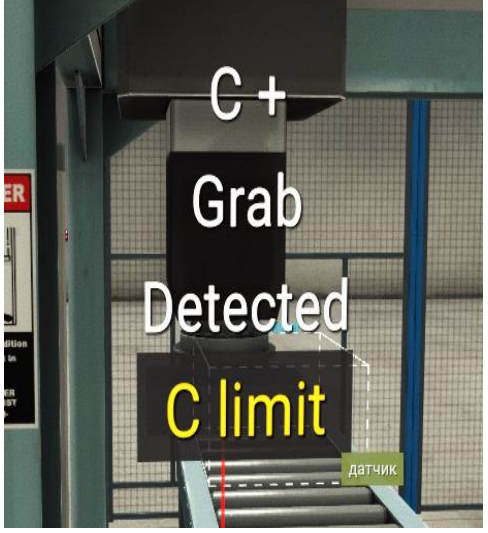


Таблиця 2.1 – Перелік елементів сцени та їх налаштування



№	Назва елемента	Налаштування / специфікація	Зображення
1	Роликовий конвеєр №1 (Feeder Conveyor) – конвеєр А для подачі палет	Roller Conveyor Lengths: 6 m Configurations: Digital	

2	<p>Роликовий конвеєр №2 (Entry Conveyor) – конвеєр В, що переміщує палети до зони відвантаження</p>	<p>Roller Conveyor Lengths: 4 m Configurations: Digital</p>	
3	<p>Конвеєр №3 (Box Feeder) – конвеєр С для подачі коробок</p>	<p>Belt Conveyor Lengths: 4 m Configurations: Digital</p>	
4	<p>Генератор палет (Emitter Pallet) – елемент, що створює порожні палети або піддони</p>	<p>Configurations: User-Defined Base to Emit: Pallet Part to Emit: None Max Time: 0 Min Time: 0 Up to: 0</p>	

5	<p>Генератор коробок (Emitter Box) – елемент, що подає коробки для подальшого укладання</p>	<p>Configurations: User-Defined Base to Emit: None Part to Emit: Box (M) Max Time: 1 Min Time: 1 Up to: 0</p>	
6	<p>Позиційний датчик палети на конвеєрі А, призначений для її зупинки в зоні укладання</p>	<p>Box at place</p>	
7	<p>Датчик присутності коробки на виході конвеєра С, що контролює наявність коробки перед центруванням і захопленням</p>	<p>Part at place</p>	

8	<p>Центрувальний елемент / напрямна коробок (Aligner), що забезпечує вирівнювання коробки по центру перед захопленням</p>	<p>Configurations: White</p>	
9	<p>Трьохосьова підіймально-позиціонувальна станція з вакуумним захопленням (Pick-and-Place Robot, VAC Gripper)</p>	<p>Configurations: Analog</p>	
10	<p>Датчик контролю зняття коробки, який фіксує, що коробку захоплено або прибрано із заданої позиції</p>	<p>No settings Default</p>	

11	Датчики контролю укладання на палеті, які визначають рівень укладання та кількість розміщених коробок, наприклад лівий, правий або верхній датчик	No settings Default	
12	Сигнальна колона з трьома індикаторами: червоним, жовтим і зеленим	Configurations: Default	
13	Шафа керування, до складу якої входять PLC, кнопки Start, Stop, Emergency, Reset, перемикачі режимів, цифровий індикатор, аналогові потенціометри, елементи ручного керування, керування захватом і аварійна сигналізація	Components: Start Button x3 items, Stop Button, Reset Button, Emergency Stop, Selector (0-1 Position) x2 items, Digital Display, Warning Light, Analog Potentiometer x3 items	

14	<p>Remover (вивантажувач) - елемент для видалення заповнених палет з кінцевої ділянки конвеєра, що імітує відвантаження готової продукції.</p>	<p>Configuration: User-Defined Default or all apply to deleting</p>	
15	<p>Захисне огороження / рамка безпеки, розміщена навколо робочої зони</p>	<p>Configuration: Default for both/all</p>	

Висновки до розділу 2

У другому розділі було розроблено 3D-модель виробничого процесу складання та транспортування коробок, яка відображає роботу автоматизованої ділянки Pick and Place у віртуальному середовищі Factory I/O.

Було визначено призначення віртуальної моделі, її основні функції та вимоги до роботи. Обґрунтовано, що попереднє моделювання дозволяє перевірити послідовність технологічних операцій, правильність взаємодії датчиків і виконавчих механізмів, роботу логічних блокувань, а також реакцію системи на запуск, зупинку та можливі нештатні ситуації. Це дає змогу зменшити ризик помилок під час подальшого впровадження програми ПЛК на реальному обладнанні.

У складі 3D-сцени сформовано виробничу лінію, яка містить три основні конвеєрні модулі: роликовий конвеєр подачі порожніх палет, стрічковий конвеєр подачі коробок і вихідний роликовий конвеєр для транспортування готових палет. Така структура забезпечує розділення потоків коробок і палет, а також дає можливість узгодити їх рух у центральній зоні укладання.

Окрему роль у моделі виконує трьохвісьовий робот-маніпулятор із пневматичним вакуумним захопленням. Його використання дозволяє реалізувати операцію Pick and Place, тобто захоплення коробки зі стрічкового конвеєра, переміщення її за координатами X, Y, Z і точне встановлення на палету. Вакуумний захват забезпечує обережне утримання коробки без бокового стискання, що зменшує ризик деформації тари під час перенесення.

У моделі передбачено систему датчиків, які контролюють наявність палети у зоні укладання, наявність коробки у зоні захоплення, положення об'єктів, стан захоплення та готовність окремих механізмів до виконання наступної операції. Завдяки цим сигналам забезпечується зв'язок між фізичною логікою 3D-сцени та алгоритмом керування ПЛК. Це є необхідною умовою для побудови надійної автоматичної послідовності роботи.

Розроблена сцена також містить допоміжні елементи: генератори палет і коробок, вихідний жолоб, елемент Remover, захисне огороження, панель оператора та сигнальну колону. Наявність цих елементів робить модель більш наближеною до реальної виробничої ділянки, оскільки дозволяє відтворити

повний цикл роботи від появи порожньої палети та коробки до умовного відвантаження готової палети.

Технологічний цикл роботи моделі побудовано як послідовність взаємопов'язаних операцій: формування палети, подача палети до зони укладання, подача коробки до зони захоплення, зупинка об'єктів у робочих позиціях, захоплення коробки роботом, її перенесення та укладання на палету. Після розміщення двох коробок на палеті вихідний конвеєр переміщує готову палету до зони відведення. Така послідовність є основою для подальшої розробки алгоритму автоматичного керування.

Важливою перевагою створеної 3D-моделі є можливість перевірки керуючої програми без використання реального обладнання. У середовищі Factory I/O можна багаторазово відпрацьовувати автоматичний цикл, перевіряти правильність оброблення вхідних сигналів, виявляти конфлікти між рухом конвеєрів і робота, а також тестувати аварійні та блокувальні умови. Це підвищує якість налагодження програми ПЛК і скорочує час майбутнього впровадження системи.

Отже, у результаті виконання розділу було створено віртуальну модель виробничого процесу складання та транспортування коробок, яка відображає склад, структуру та принцип роботи автоматизованої лінії. Розроблена модель може бути використана як віртуальний стенд для подальшого формування таблиці вхідних і вихідних сигналів, розробки алгоритму керування, написання програми ПЛК та перевірки її працездатності в умовах, наближених до реального виробництва.

3 РОЗРОБКА ПРОГРАМНОГО ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ

3.1 Розроблення алгоритмів роботи обладнання

У даній роботі розглянуто систему автоматичного керування роботизованою лінією, до складу якої входять робот-маніпулятор і три конвеєри: Vox, Exit та Part. Робот виконує операції захоплення, піднімання, переміщення й укладання коробок, а конвеєри забезпечують їх транспортування в межах робочої зони. Робота системи має чітко визначену послідовність дій і належить до циклічних систем автоматичного керування, оскільки після завершення всіх операцій лінія повертається у вихідний стан і готова до нового циклу.

Кожний крок алгоритму відповідає окремому етапу роботи: запуску автоматичного режиму, руху конвеєрів, захопленню та підніманню коробки, її транспортуванню, укладанню і поверненню маніпулятора в нульові координати. Дії робота та конвеєрів виконуються як послідовно, так і паралельно з урахуванням часових затримок, що забезпечує узгоджену роботу всіх елементів системи.

В узагальненій формі алгоритм руху можна подати таким чином:

$$Y = A+ (B+ t*B1+) (B- B1-) C+ C1+ C2+ (C- C1-) D+ D1+ C2- (t*B1+) (B1- D1- D-) C+ C1+ C2+ (C- C1-) F+ F1+ C- F1- F- B+ B-$$

У таблиці 3.1 наведено перелік основних кроків алгоритму та відповідних дій.

Таблиця 3.1 – Перелік кроків алгоритму та відповідних дій

Крок	Умовні позначення	Умови переходу	Дія
Автоматичне керування лінією			
1	A+	$B13*B12*B6*B4$	Дозвіл на запуск автоматичного керування та початок автоматичної роботи лінії
2	B+	$B0*B2*B10*B6*B4$ $F0*B9*B6*B4$	Рух конвеєрів Vox та Exit
3	B1+	$B0*(B3*t)*B10*B6*B4$	Рух конвеєра Part
4	B-	$B2*B6*B4$ $B7*F0*B2*B6*B4$	Припинення руху конвеєрів Vox та Exit
5	B1-	$B3*B6*B4$	Припинення руху конвеєра Part

6	C+	B2*B3*F0*B6*B4	Дозвіл роботу-маніпулятору почати рух до позиції захоплення коробки 1
7	C1+	FX*FY*FZ*F0*B6*B4	Дозвіл роботу-маніпулятору виконати піднімання коробки у позиції захоплення
8	C2+	BG3*B6*B4	Підняття коробки
9	D+	BG3*BD0*F0*B6*B4	Дозвіл роботу-маніпулятору рухатися до позиції відвантаження 1
10	D1+	FX*FY*FZ*BD0*F0*B6*B4	Робот відпускає коробку в позиції відвантаження 1
11	D-	BD0*F0*B4*B6*B4	Робот переміщується до нульових координат і очікує наступного дозволу
12	D1-	BD0*F0*B6*B4	Робот припиняє утримувати коробку
16	F+	BG3*BD0*F0*B6*B4	Дозвіл роботу-маніпулятору рухатися до позиції відвантаження 2
17	F1+	FX*FY*FZ*BD0*F0*B6*B4	Робот відпускає коробку в позиції відвантаження 2
18	F-	BD0*F0*B4*B6*B4	Робот переміщується до нульових координат і очікує наступного дозволу
19	F1-	BD0*F0*B6*B4	Робот припиняє утримувати коробку
Ручне керування			
1	A1+-	B8*B6*B4*B5	Керування рухом конвеєрів Вох та Exit
2	B1+-	B8*B6*B4*B10	Керування рухом конвеєра Part
3	B11+	B8*B6*B4*B11	Піднімання коробки
4	B11-	B8*B6*B4*B12	Відпускання коробки
6	C1+	B8*B6*B4*FX5	Рух робота вперед/назад уздовж осі X
7	C11+	B8*B6*B4*FY4	Рух робота вперед/назад уздовж осі Y
8	C21+	B8*B6*B4*FZ3	Рух робота вперед/назад уздовж осі Z

Під час розроблення системи автоматичного керування роботизованою лінією важливо мати не лише логічний опис послідовності дій, а й її наочне графічне подання. Це дає змогу візуально простежити зміну станів виконавчих механізмів та взаємодію між окремими елементами системи.

Найбільш зручною формою такого подання є циклограма типу «переміщення – крок». На ній кожний виконавчий механізм, зокрема

робот-маніпулятор і конвеєри Вох, Part та Exit, має власну горизонтальну часову лінію. Верхній рівень відповідає активному стану (1), тобто руху або виконанню операції, а нижній рівень – стану спокою (0).

Циклограма дає змогу визначити момент активації кожного пристрою, порядок передавання сигналів між конвеєрами та роботом, паралельність або послідовність операцій, а також повний технологічний цикл – від запуску автоматичного режиму до виведення готової палети та повернення системи у вихідний стан.

Для циклічних систем така діаграма поєднує ознаки діаграми переміщень і діаграми керування. Вона відображає рухи маніпулятора, зокрема піднімання, перенесення та укладання коробок, а також сигнали датчиків і команди керування, наприклад дозвіл на рух конвеєра або підтвердження захоплення.

Завдяки циклограмі можна оцінити логічну послідовність, синхронізацію та коректність усіх кроків робочого циклу. На рисунку 3.1 наведено графічне подання повного робочого циклу робота-маніпулятора в координатах «переміщення – крок».

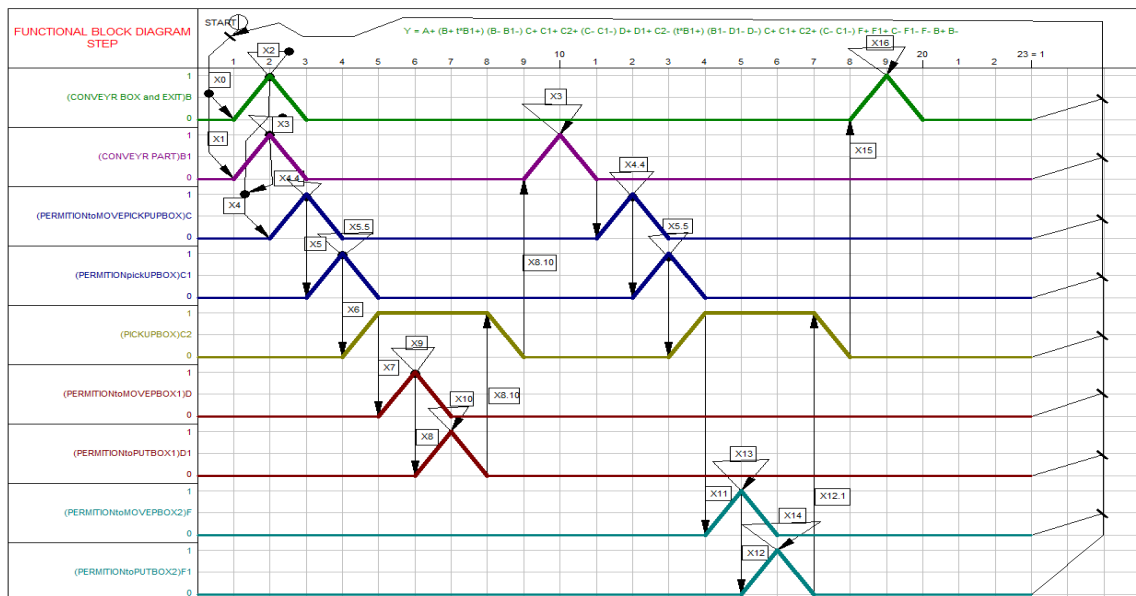


Рисунок 3.1 – Діаграма «переміщення – крок», загальний вигляд

$$\begin{aligned}
X0 &= B0 \cdot B2 \cdot B10 \cdot B6 \cdot B4 \\
X1 &= B0 \cdot (B3 \cdot t) \cdot B10 \cdot B6 \cdot B4 \\
X2 &= B2 \cdot B6 \cdot B4 \\
X3 &= B3 \cdot B6 \cdot B4 \\
X4 &= B2 \cdot B3 \cdot F0 \cdot B6 \cdot B4 \\
X5 &= FX \cdot FY \cdot FZ \cdot F0 \cdot B6 \cdot B4 \\
X6 &= BG3 \cdot B6 \cdot B4 \\
X7 &= BG3 \cdot BD0 \cdot F0 \cdot B6 \cdot B4 \\
X8 &= FX \cdot FY \cdot FZ \cdot BD0 \cdot F0 \cdot B6 \cdot B4 \\
X9 &= BD0 \cdot F0 \cdot B4 \cdot B6 \cdot B4 \\
X10 &= BD0 \cdot F0 \cdot B6 \cdot B4 \\
X11 &= BG3 \cdot BD0 \cdot F0 \cdot B6 \cdot B4 \\
X12 &= FX \cdot FY \cdot FZ \cdot BD0 \cdot F0 \cdot B6 \cdot B4 \\
X13 &= BD0 \cdot F0 \cdot B4 \cdot B6 \cdot B4 \\
X14 &= BD0 \cdot F0 \cdot B6 \cdot B4 \\
X15 &= F0 \cdot B9 \cdot B6 \cdot B4 \\
X16 &= B7 \cdot F0 \cdot B2 \cdot B6 \cdot B4
\end{aligned}$$

Рисунок 3.3 – Пояснення до змінних X

3.2 Розроблення програми логіки

В дипломній роботі було виконано задачу розробки SoftPLC та створення програми керування алгоритмом роботи системи транспортування та складання коробок на палети.

Використання SoftPLC у даній дипломній роботі є обґрунтованим з огляду на відсутність реального програмованого логічного контролера для проведення експериментальної перевірки системи керування. SoftPLC дозволяє реалізувати логіку роботи ПЛК у програмному середовищі та виконати налагодження алгоритму без підключення фізичного контролера, виконавчих механізмів і датчиків. Це особливо важливо для роботизованої системи Pick and Place, оскільки її робота передбачає узгоджену взаємодію конвеєрів, трьохвісьового робота-маніпулятора, вакуумного захоплення, датчиків положення та елементів сигналізації.

Застосування SoftPLC дає змогу перевірити правильність послідовності технологічного циклу, роботу автоматичного та ручного режимів, умови запуску і зупинки, логічні блокування, аварійні ситуації та

облік укладених коробок. При цьому налагодження виконується у безпечному віртуальному середовищі, без ризику пошкодження реального обладнання або продукції. Такий підхід дозволяє виявити помилки в алгоритмі керування ще на етапі проєктування та своєчасно внести необхідні зміни до програми.

Важливою перевагою використання SoftPLC є можливість подальшого перенесення розробленої програми на реальну апаратну платформу ПЛК. Оскільки логіка керування будується за принципами, характерними для промислових контролерів, після завершення моделювання програма може бути адаптована до конкретного ПЛК шляхом заміни або налаштування адрес вхідних і вихідних сигналів, уточнення апаратних параметрів, часу спрацювання датчиків і виконавчих механізмів. Таким чином, SoftPLC у межах дипломної роботи виступає як ефективний інструмент попереднього налагодження, який дозволяє підготувати програмну логіку до подальшої реалізації на реальному обладнанні.

Окремо слід відзначити можливість тестування аварійних ситуацій. У реальних умовах перевірка аварійної зупинки, втрати сигналу датчика, відсутності вакууму або неправильного положення палети може бути пов'язана з ризиком пошкодження обладнання чи продукції. У разі використання SoftPLC та Factory I/O такі ситуації можна безпечно змодельовати, проаналізувати реакцію програми та внести необхідні зміни до алгоритму.

Розглянемо програму логіки для SoftPLC на прикладі робота-маніпулятора з пневматичним приводом і трьома конвеєрами. Для проведення імітаційного моделювання та перевірки працездатності розробленого алгоритму створено керуючу програму в середовищі Control I/O. Програму реалізовано мовою Function Block Diagram (FBD) [15;16].

Структура програми керування мовою FBD складається із семи програмних модулів:

1. Модуль №1. «ПУСК-СТОП».
2. Модуль №2. «Формування сигналів дозволу».
3. Модуль №3. «Формування сигналів керування в автоматичному режимі».
4. Модуль №4. «Індикація та сигналізація».
5. Модуль №5. «Лічильник локальний та загальний».
6. Модуль №6. «Автоматичний режим роботи».
7. Модуль №7. «Ручний режим роботи».

Програмний модуль №1. «ПУСК–СТОП»

На рисунку 3.4 наведено програмний модуль «ПУСК–СТОП».

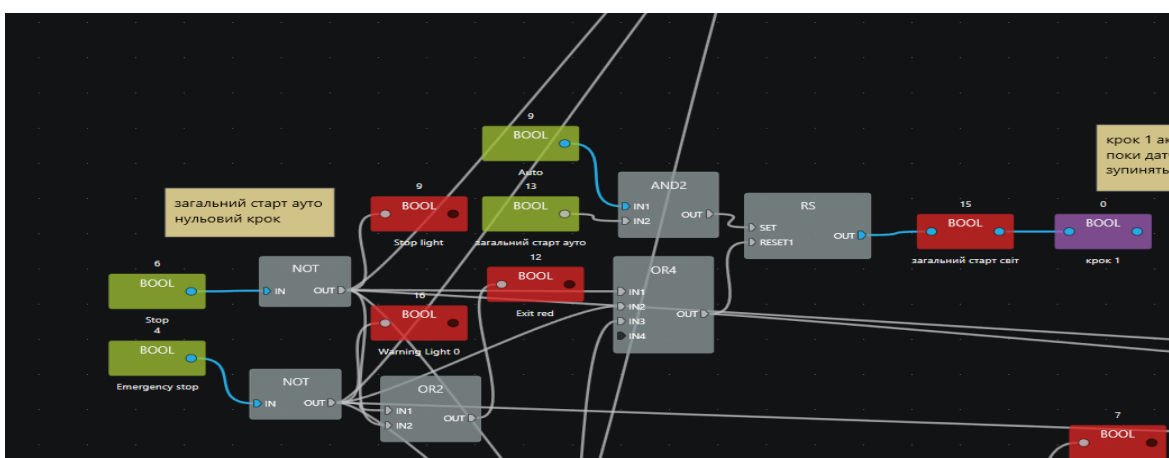


Рисунок 3.4 – Програмний модуль «ПУСК–СТОП»

Цей модуль реалізує запуск і зупинку всієї системи керування. Запуск виконується короткочасним натисканням нормально розімкненої кнопки «Старт» за умови вибору автоматичного режиму. У цей момент формується сигнал «Загальний старт авто», який встановлює RS-тригер. На виході тригера з'являється стійкий сигнал «Загальний старт світ» = 1, що свідчить про перехід системи з нульового стану в активний режим.

Зупинка системи здійснюється двома нормально замкненими кнопками «Стоп» та «Аварійна зупинка» (Emergency Stop). Після натискання будь-якої з них контакт розмикається, формується логічний «0», який інвертується в «1» і через елемент OR2 подається на вхід RESET тригера. У результаті тригер скидається, а система миттєво переходить у

неактивний стан. Додаткове скидання тригера відбувається під час перемикання в ручний режим (сигнал Manual = 1), що унеможливило одночасну роботу автоматичного та ручного циклів.

Програмний модуль №2. «Формування сигналів дозволу»

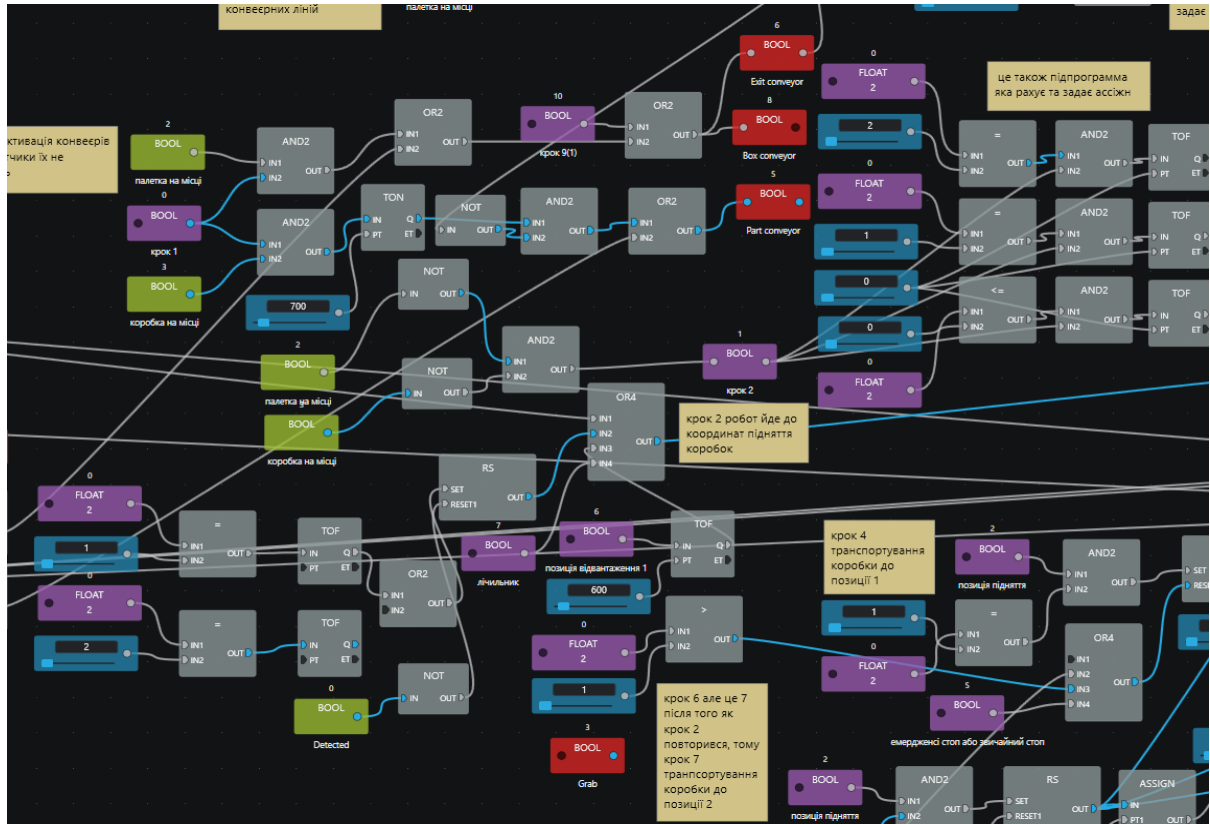


Рисунок 3.5 – Програмний модуль «Формування сигналів дозволу»

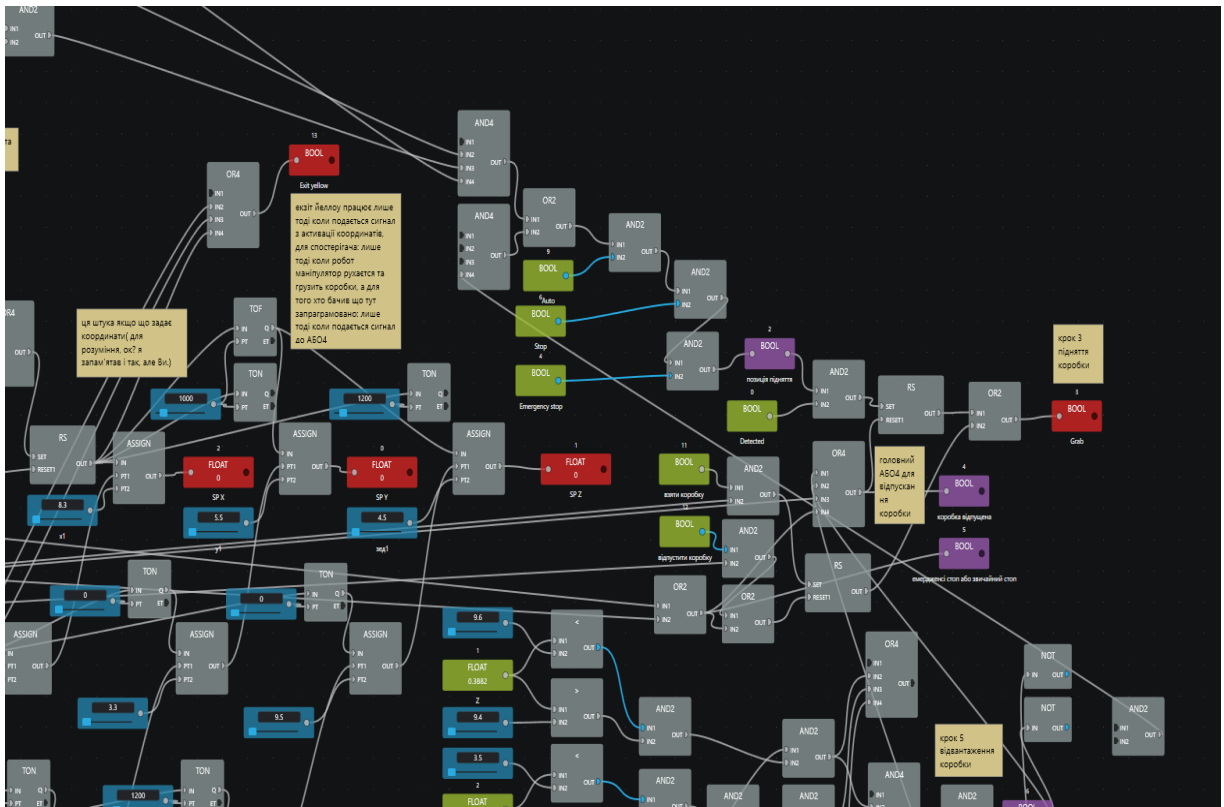


Рисунок 3.6 – Програмний модуль «Формування сигналів дозволу»

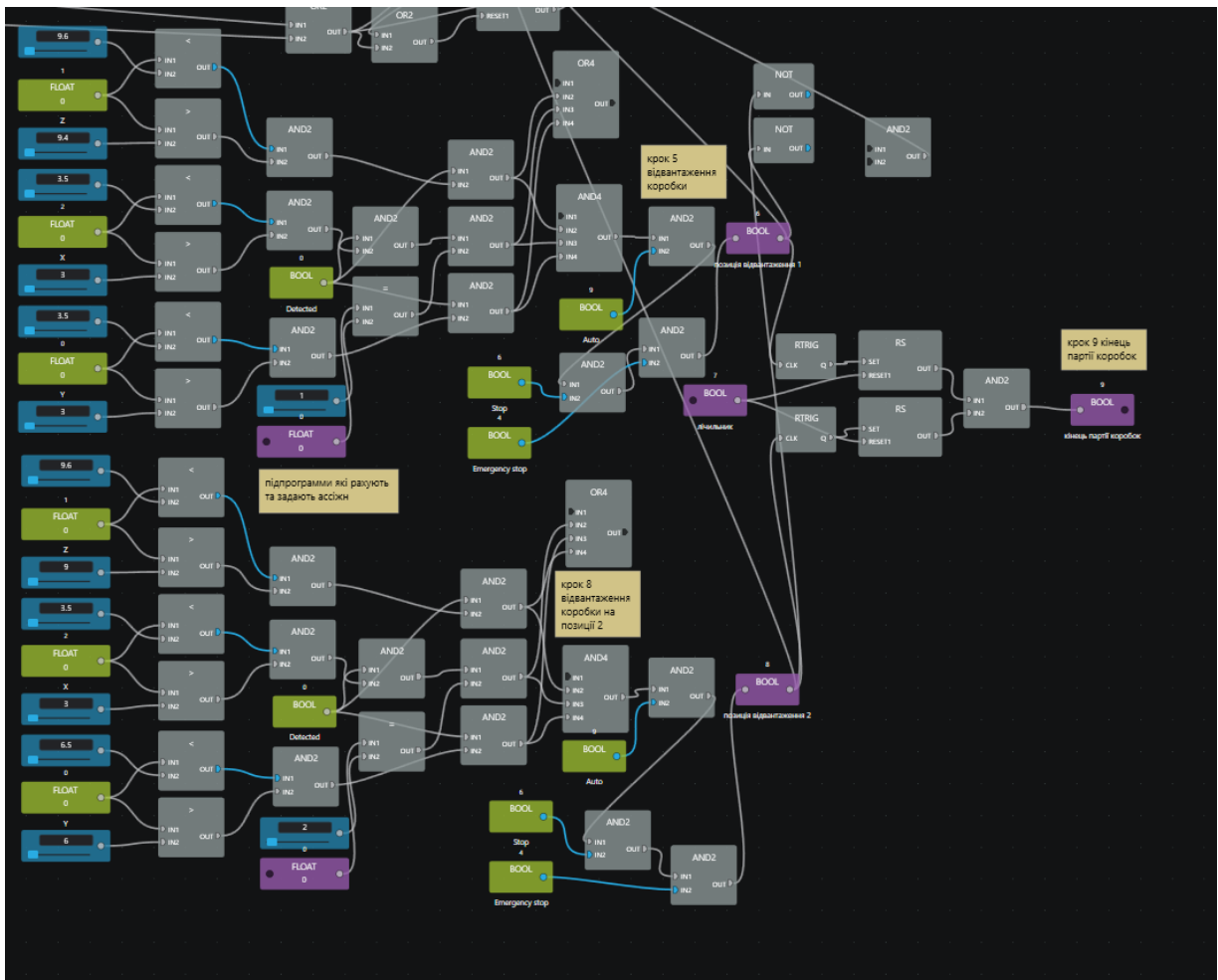


Рисунок 3.7 – Програмний модуль «Формування сигналів дозволу»

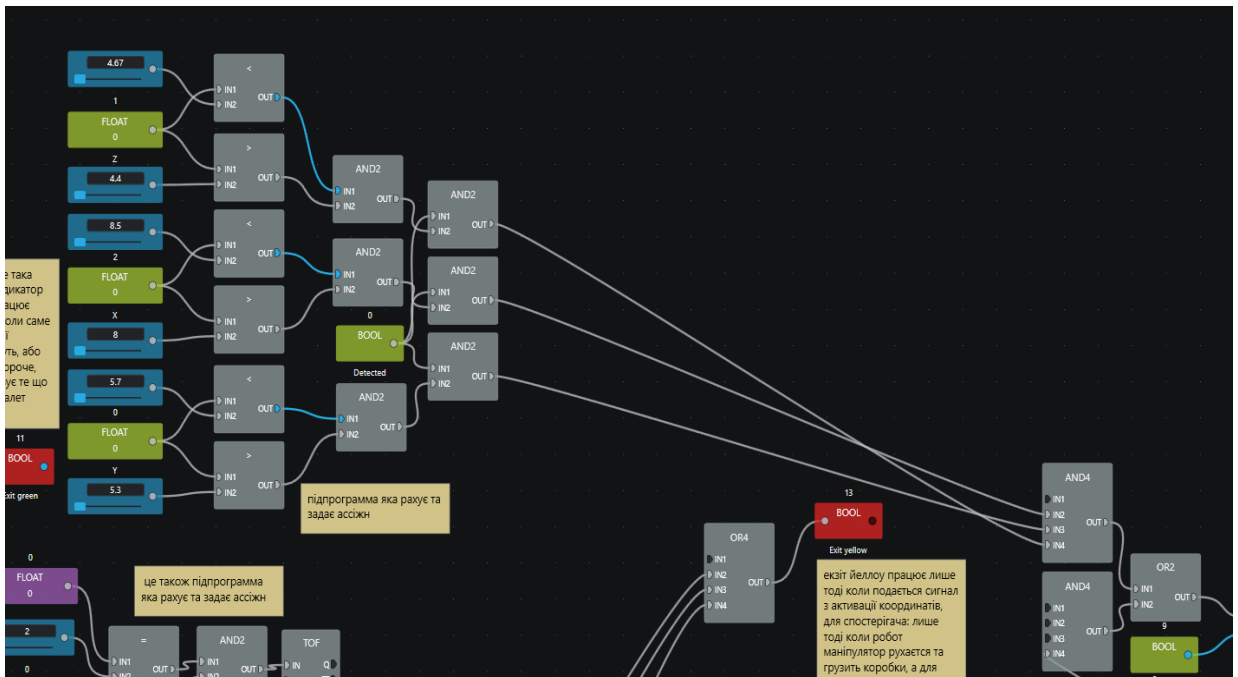


Рисунок 3.8 – Програмний модуль «Формування сигналів дозволу»

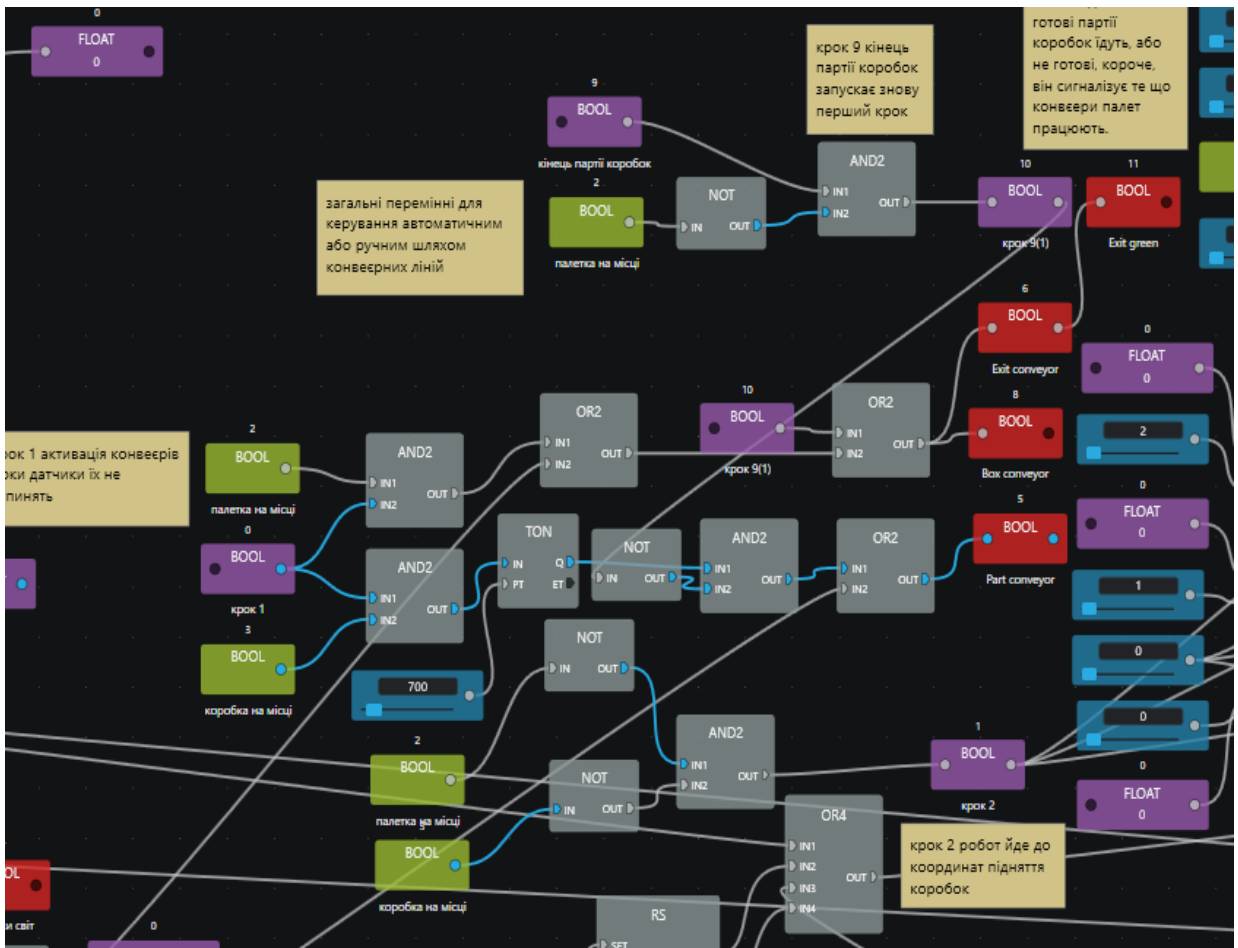


Рисунок 3.9 – Програмний модуль «Формування сигналів дозволу»

Модуль формує єдиний сигнал «ENABLE_AUTO», який є обов'язковою умовою виконання будь-якої дії в автоматичному режимі.

Сигнал «ENABLE_AUTO» дорівнює 1 лише за одночасного виконання всіх умов безпеки та готовності: вибрано режим «Auto»; кнопки «Стоп» і «Emergency Stop» не натиснуті; ручний режим вимкнено; активовано сигнал «Загальний старт авто»; конвеєри вільні від об'єктів; робот-маніпулятор перебуває у готовому стані, зокрема у правильному положенні, а лічильник коробок дорівнює 0. Порушення будь-якої з цих умов негайно блокує сигнал «ENABLE_AUTO», що призводить до зупинки виконавчих механізмів.

Програмний модуль №3. «Формування сигналів керування в автоматичному режимі»

Це основний модуль послідовної крокової логіки. Він приймає сигнали від усіх датчиків і формує керуючі команди для приводів осей X, Y, Z, пневматичного захоплення (GRAB_ON/GRAB_OFF) та конвеєрів. Перехід між кроками здійснюється за фронтом відповідного сигналу за допомогою функціональних блоків R_TRIG, що забезпечує фіксацію фактичного завершення попередньої операції. Одночасне вмикання протилежних напрямків руху або команд GRAB_ON і GRAB_OFF унеможлиблюється завдяки використанню RS-тригерів і взаємних блокувань.

Таким чином, модуль забезпечує чітку, безпечну та детерміновану послідовність усіх рухів і операцій автоматичного циклу.

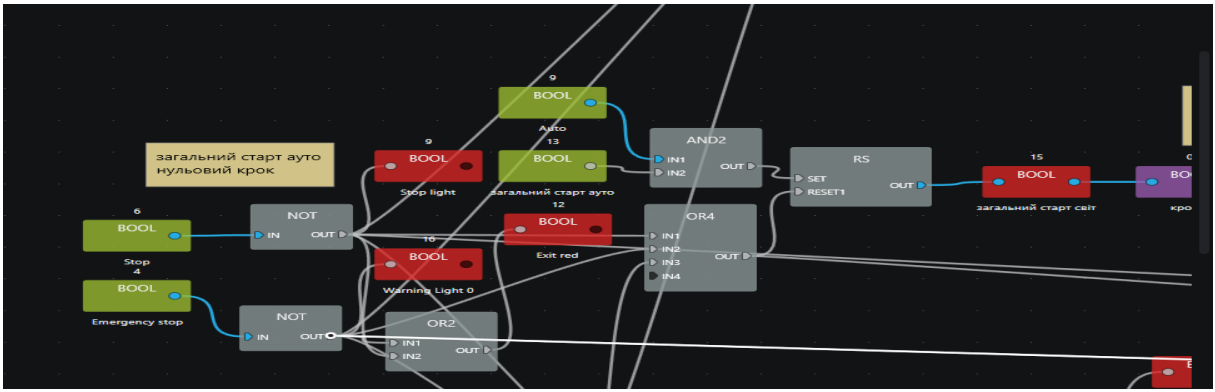


Рисунок 3.10 – Програмний модуль «Формування сигналів керування в автоматичному режимі»

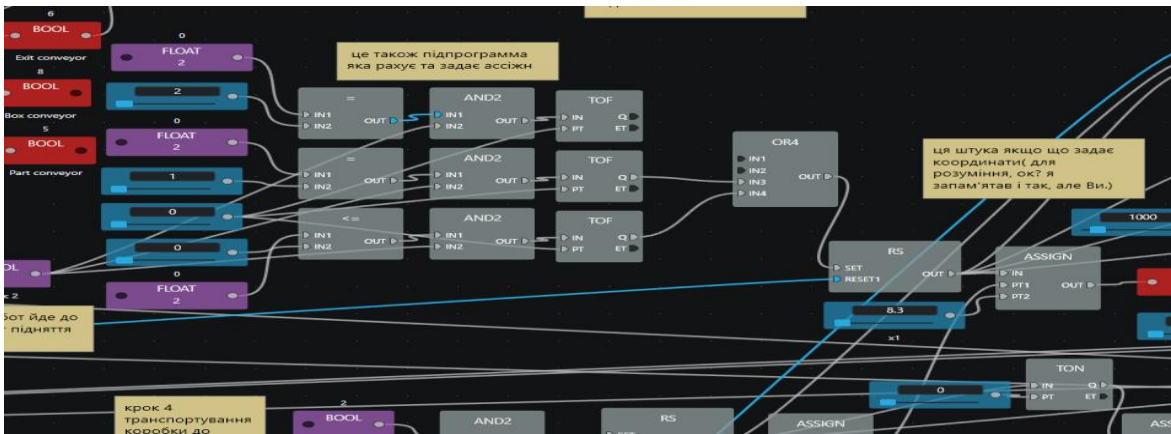


Рисунок 3.11 – Програмний модуль «Формування сигналів керування в автоматичному режимі»

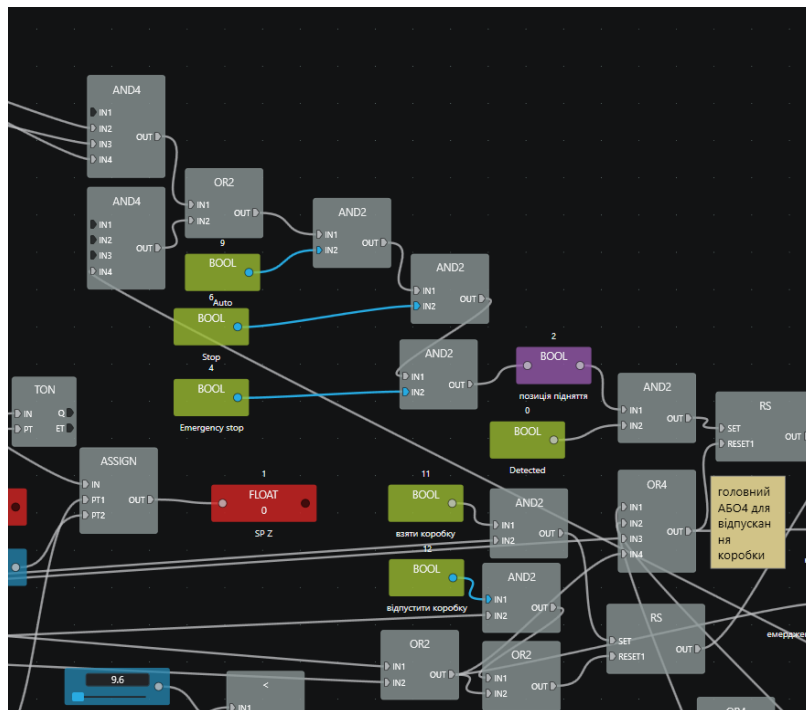


Рисунок 3.12 – Програмний модуль «Формування сигналів керування в автоматичному режимі»

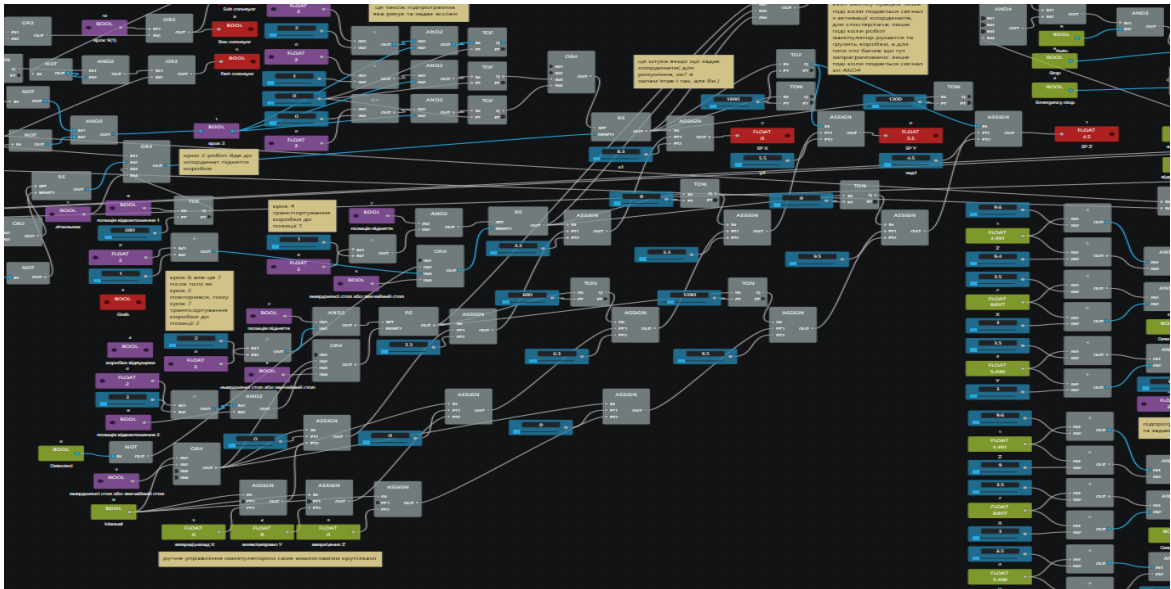


Рисунок 3.13 – Програмний модуль «Формування сигналів керування в автоматичному режимі»

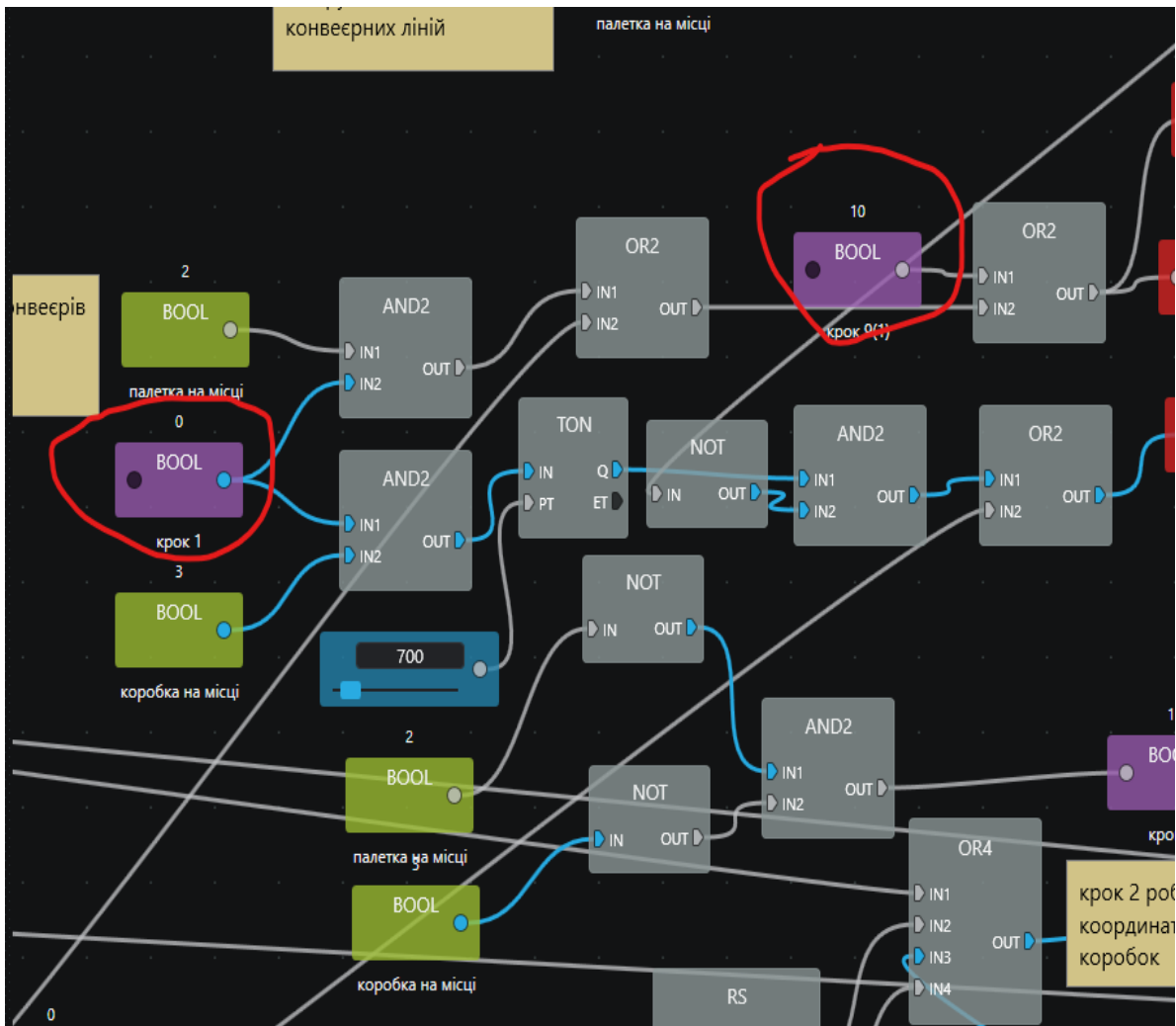


Рисунок 3.14 – Програмний модуль «Формування сигналів керування в автоматичному режимі»

Програмний модуль №4. «Індикація та сигналізація»

У програмі реалізовано систему візуальної та звукової індикації стану лінії. Триколірна сигнальна колона відображає основні режими роботи: зелений індикатор відповідає нормальній роботі системи, жовтий – руху робота, а червоний індикатор разом із безперервною сиреною – аварійній зупинці. Також передбачено підсвічування кнопок керування для підтвердження реєстрації команди та цифровий дисплей кількості заповнених палет, значення якого надходить із модуля №5. Така система забезпечує оператору оперативний зворотний зв'язок і дає змогу швидко реагувати на відхилення в роботі лінії.

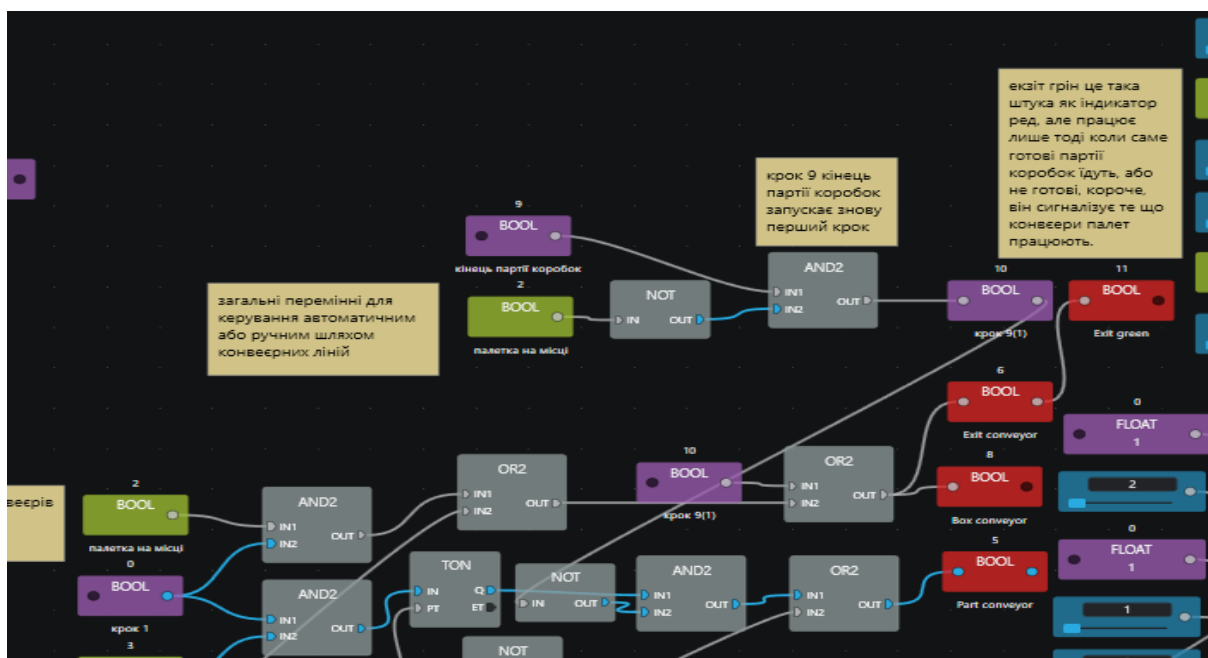


Рисунок 3.15 – Програмний модуль «Індикація та сигналізація»

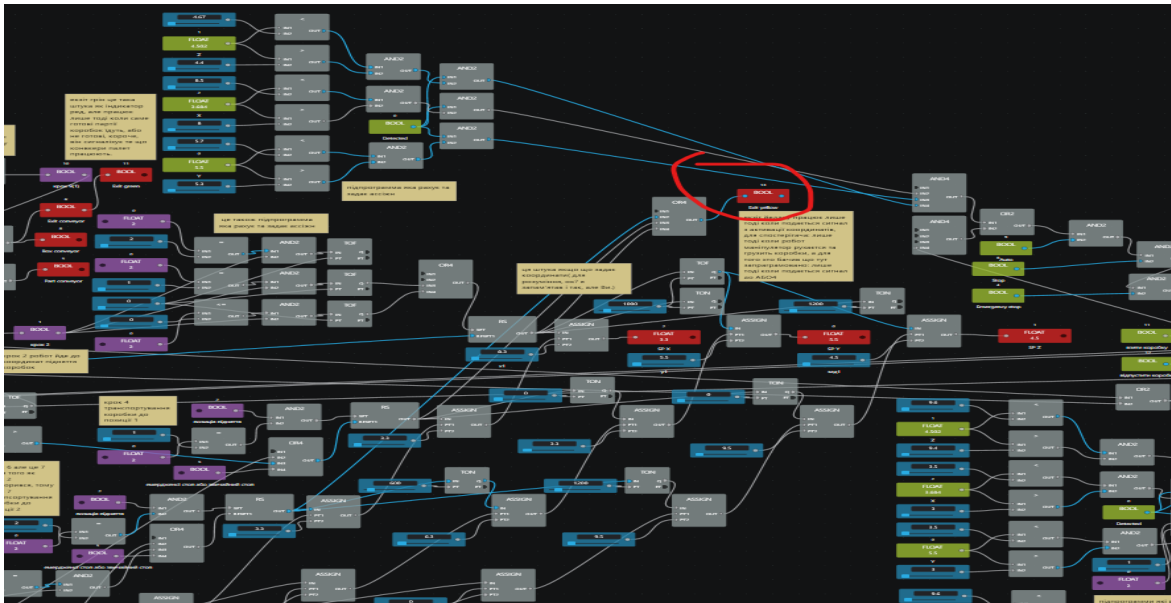


Рисунок 3.16 – Програмний модуль «Індикація та сигналізація»

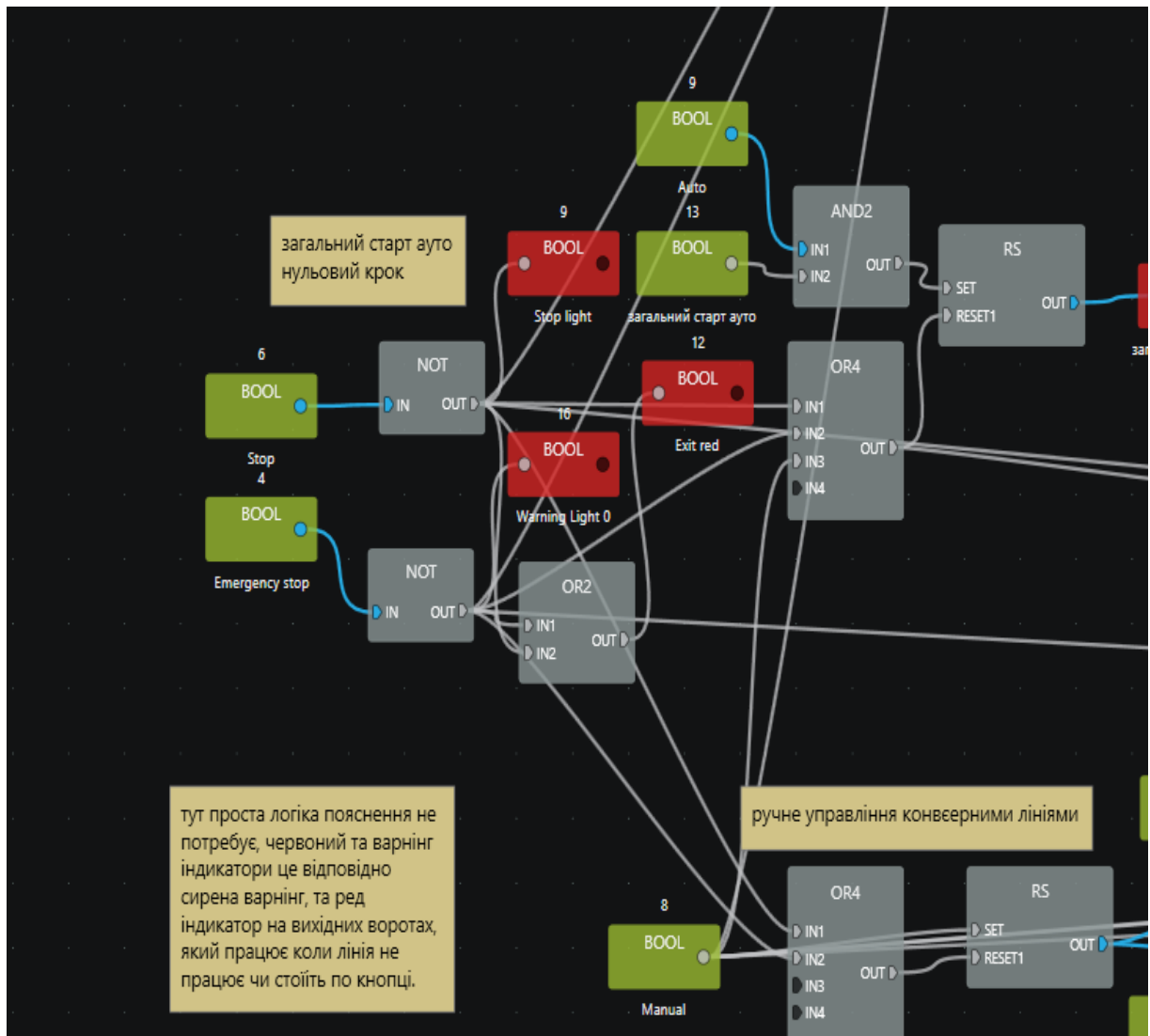


Рисунок 3.17 – Програмний модуль «Індикація та сигналізація»

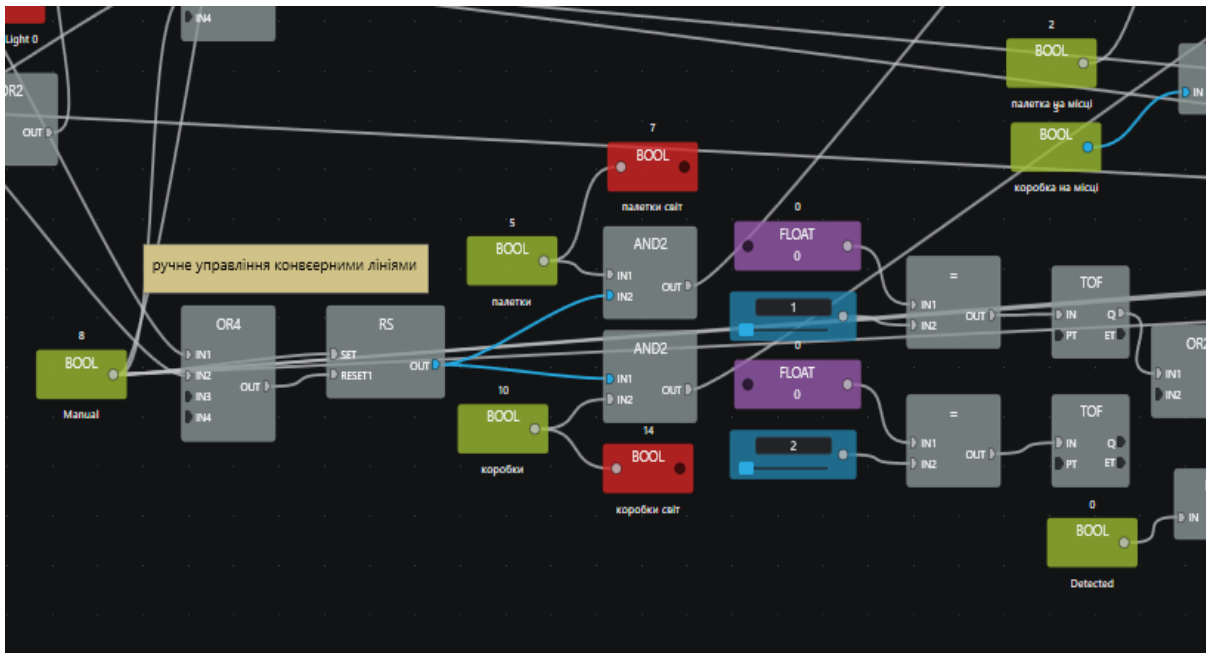


Рисунок 3.18 – Програмний модуль «Індикація та сигналізація»

Програмний модуль №5. «Лічильник локальний та загальний»

У модулі реалізовано два лічильники: локальний лічильник коробок на поточній палеті (0–2) і загальний лічильник заповнених палет (СТУ, максимум 1000). Інкремент локального лічильника відбувається після кожного відпускання коробки на палету. Після укладання другої коробки формується сигнал `End_of_Pallet`, який одночасно збільшує загальний лічильник і обнуляє локальний, готуючи систему до оброблення нової палети.

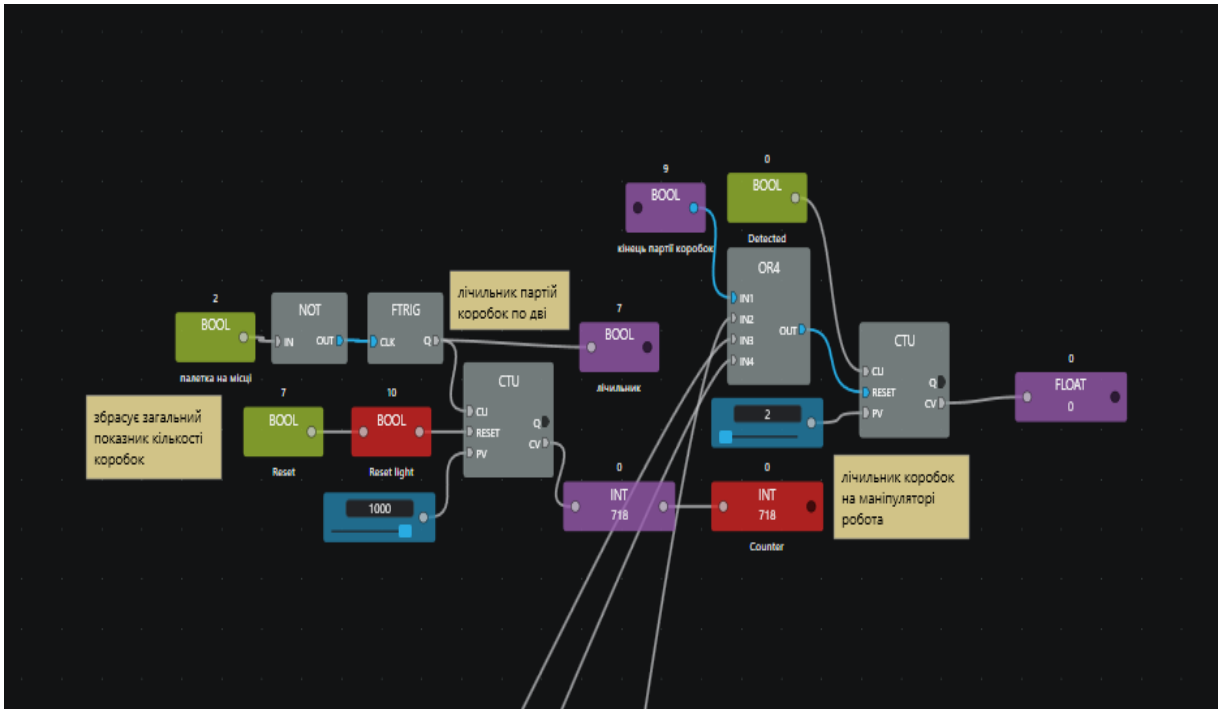


Рисунок 3.19 – Програмний модуль «Лічильник загальний та локальний»

Програмний модуль №6. «Автоматичний режим роботи»

Цей модуль реалізує основний автоматичний цикл, поділений на 9 чітко визначених кроків: від подачі палети й коробок до відведення заповненої палети. Після завершення кроку 9 система автоматично повертається до кроку 1 і забезпечує безперервну роботу лінії за умови активного режиму «Auto» та відсутності аварійних сигналів.

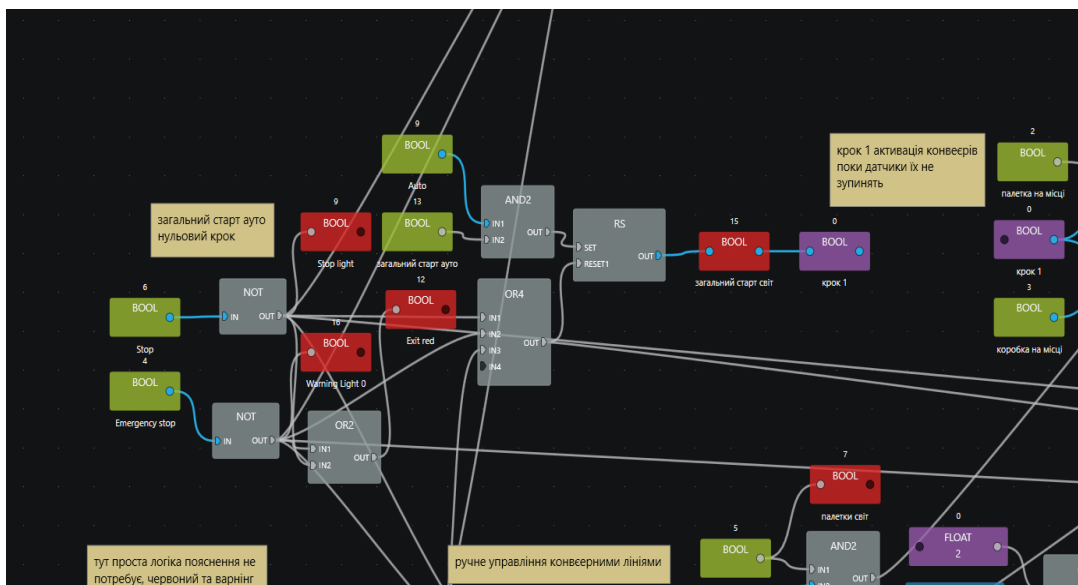


Рисунок 3.20 – «Крок 0. Перехід до кроку 1»

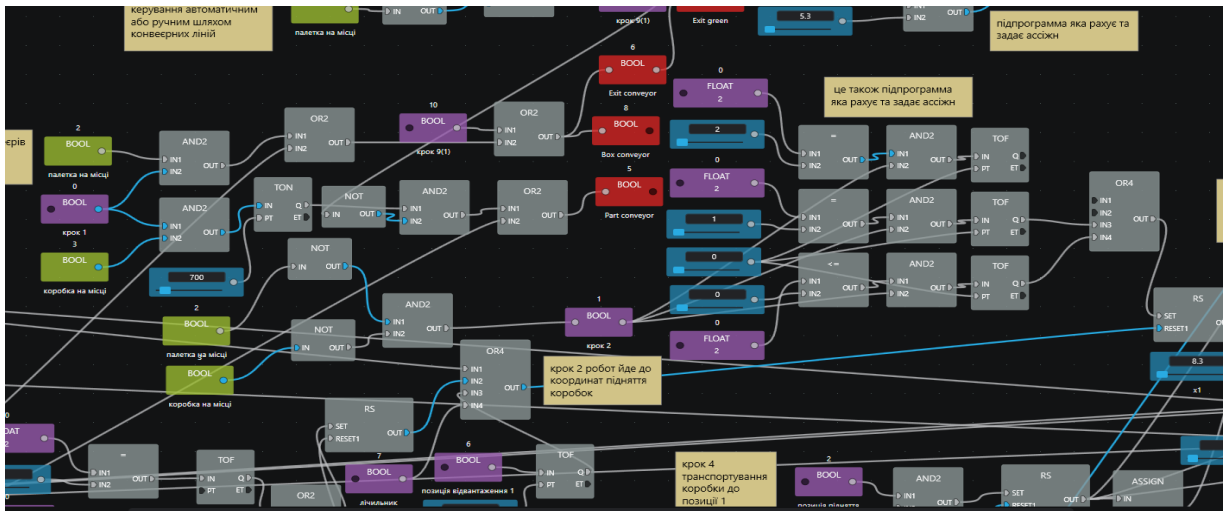


Рисунок 3.21 – «Крок 1»

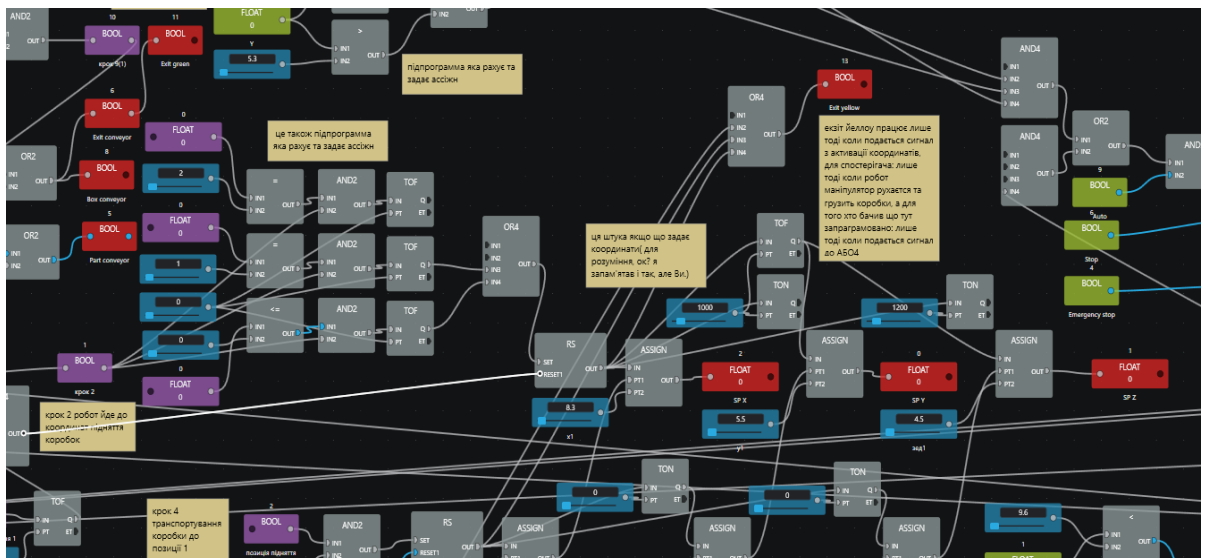


Рисунок 3.22 – «Крок 2»

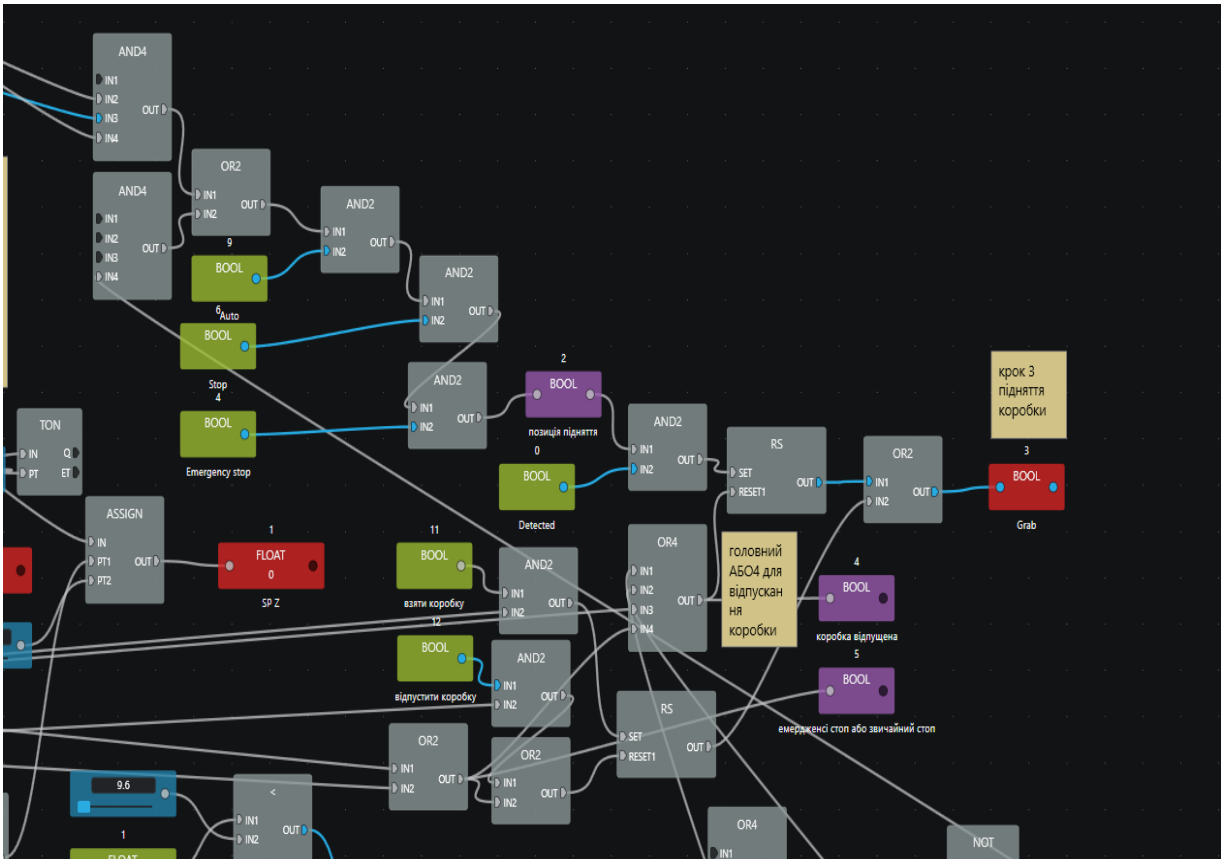


Рисунок 3.23 – «Крок 3»

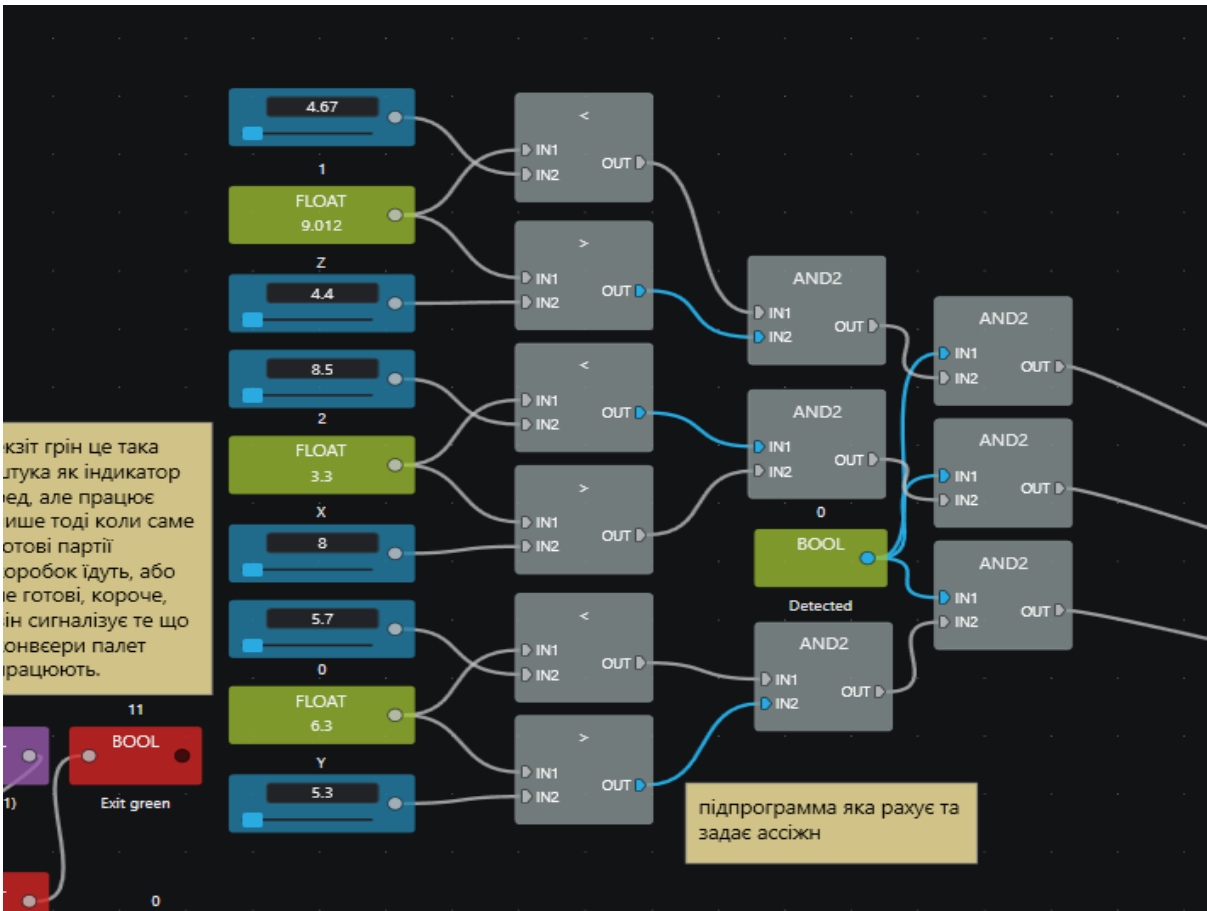


Рисунок 3.24 – «Крок 3. Доповнення»

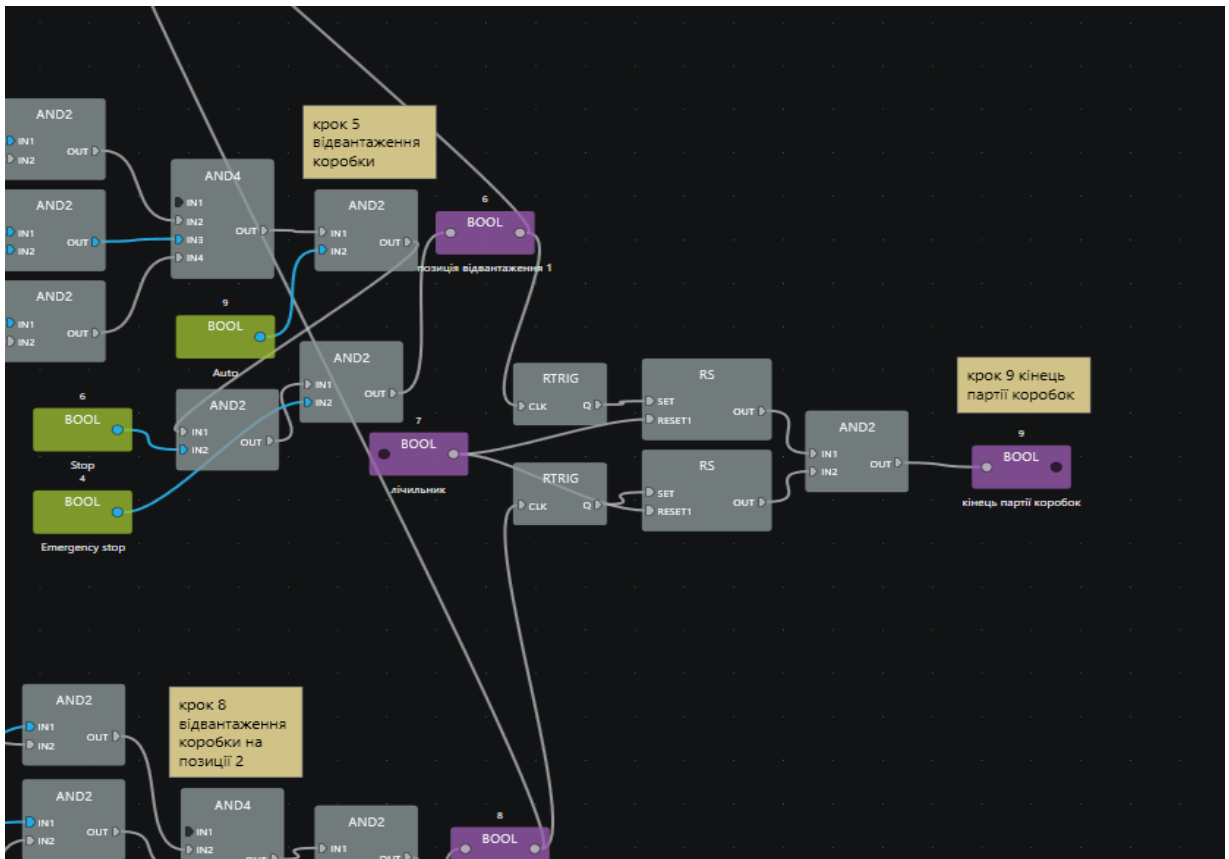


Рисунок 3.30 – «Крок 9»

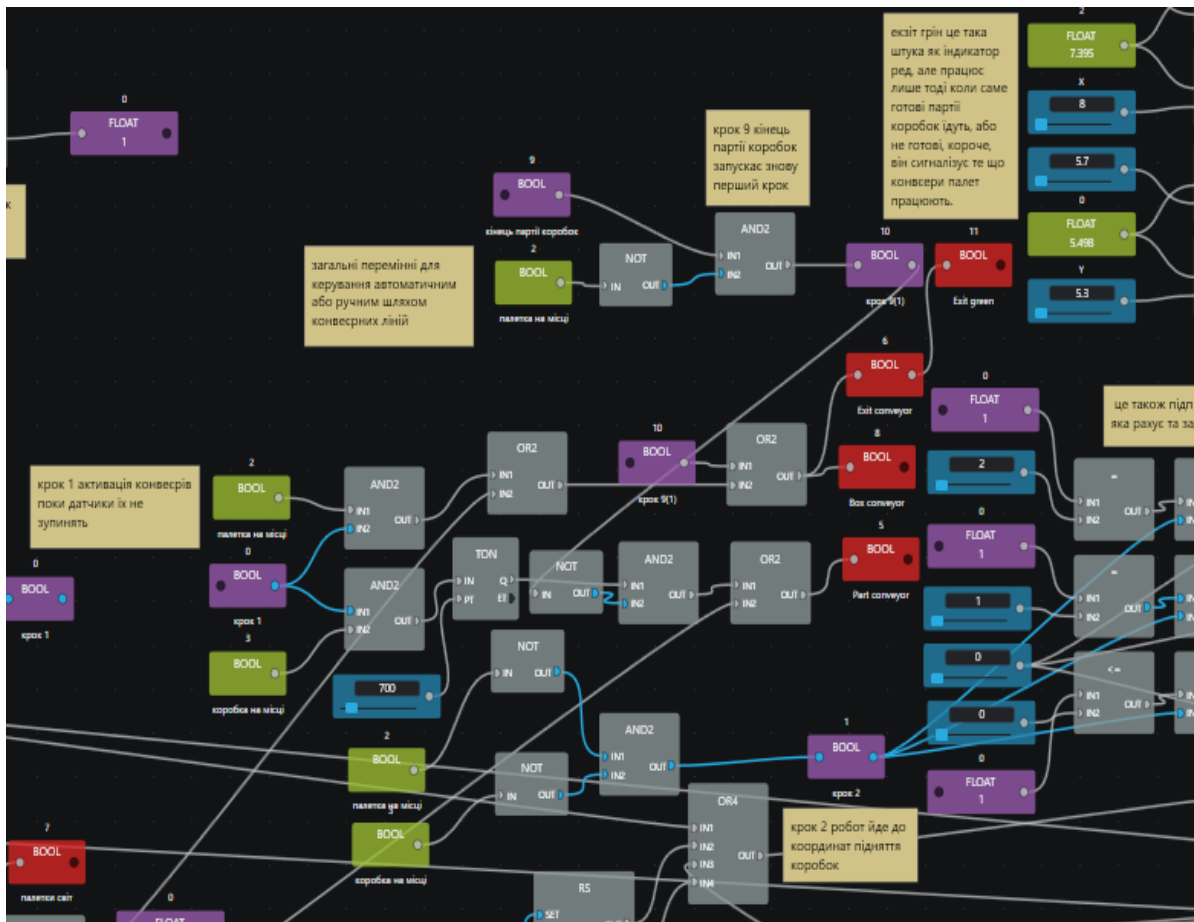


Рисунок 3.31 – «Крок 9(1)»

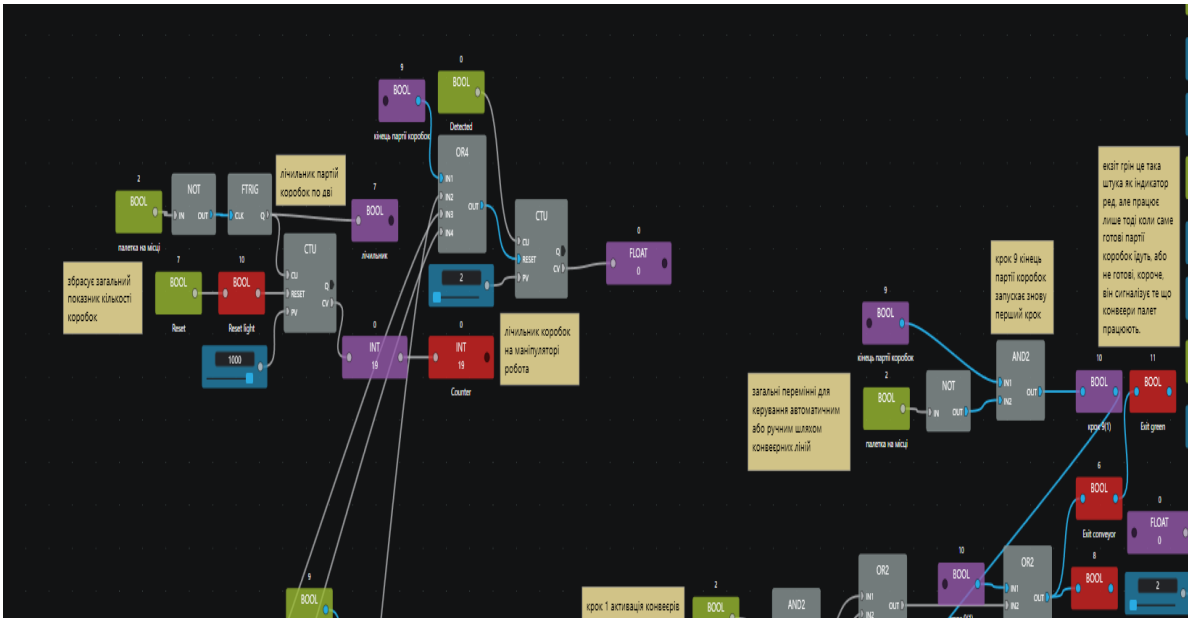


Рисунок 3.32 – «Крок 9(1). Доповнення»

Програмний модуль №7. «Ручний режим роботи»

Для налагодження та технічного обслуговування передбачено повноцінний ручний режим роботи. Після перемикавання тумблера «Manual» усі автоматичні органи керування блокуються, а оператор отримує можливість запускати кожний конвеєр лише під час утримання відповідної кнопки, вмикати або вимикати присоску тумблером, а також плавно переміщувати кожну вісь маніпулятора за допомогою аналогових потенціометрів 0–10 В. Усі команди ручного режиму проходять через систему дозволів і миттєво блокуються у разі натискання кнопки «Emergency Stop».

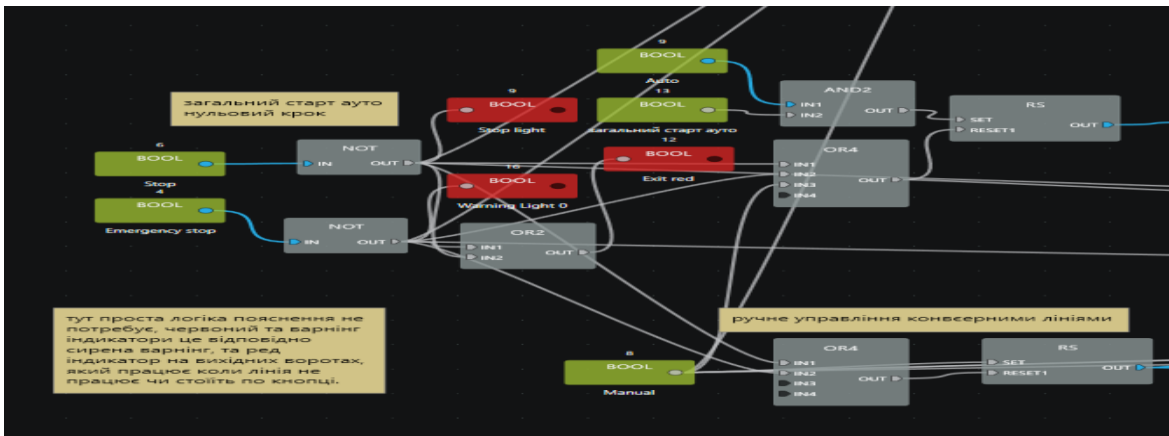


Рисунок 3.33 – Програмний модуль №7 «Ручний режим роботи»

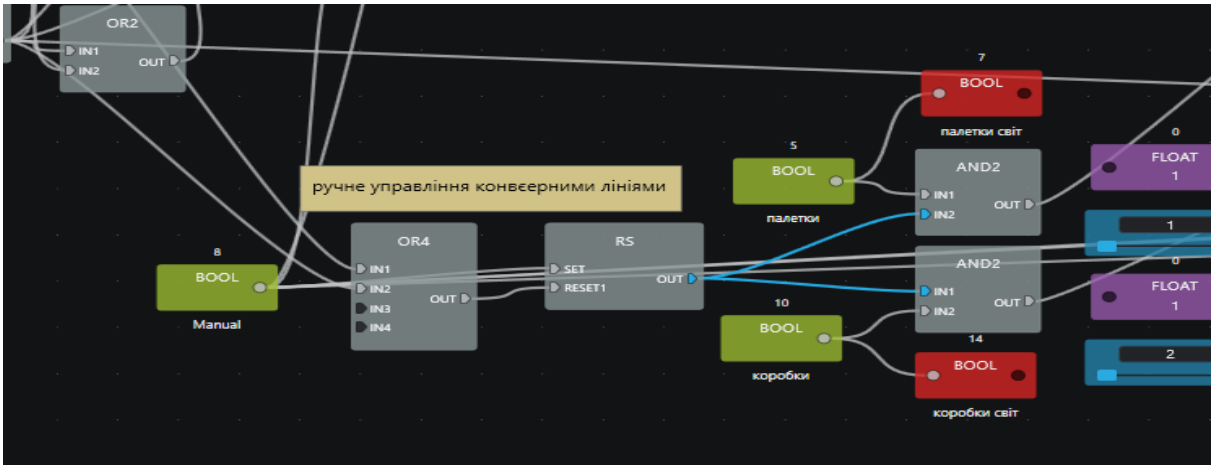


Рисунок 3.34 – Програмний модуль №7 «Ручний режим роботи»

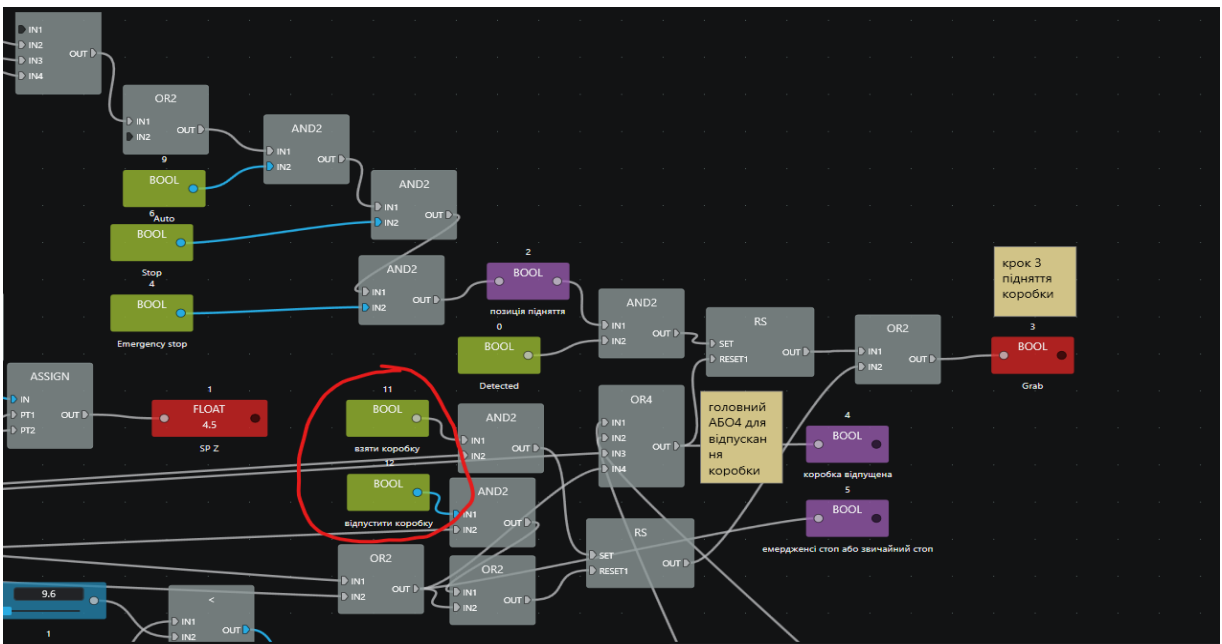


Рисунок 3.35 – Програмний модуль №7 «Ручний режим роботи»

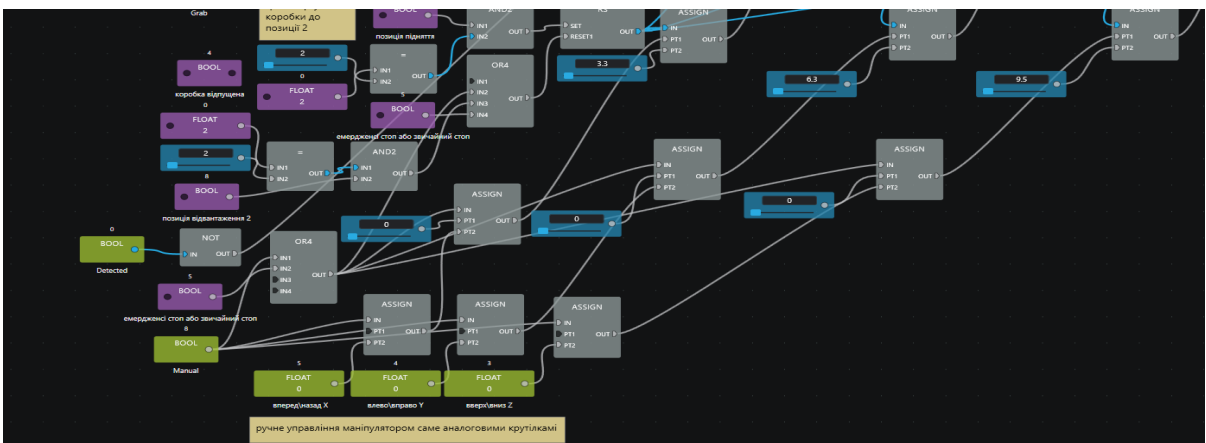


Рисунок 3.36 – Програмний модуль №7 «Ручний режим роботи»

Висновки до розділу 3

У третьому розділі було розроблено програмне забезпечення для автоматичного керування роботизованою системою Pick and Place, призначеною для транспортування, захоплення, переміщення та укладання коробок на палети.

У процесі розроблення алгоритму було визначено послідовність основних технологічних операцій: запуск автоматичного режиму, подача коробок і палет, рух конвеєрів, захоплення коробки, її піднімання, переміщення до позиції укладання, відпускання коробки та повернення робота-маніпулятора у вихідне положення. Алгоритм роботи системи подано у вигляді умовних позначень, таблиці кроків та циклограми «переміщення – крок», що дозволяє наочно простежити порядок виконання операцій і взаємодію між виконавчими механізмами.

Для реалізації керування було використано SoftPLC, що є доцільним у межах дипломної роботи через відсутність реального програмованого логічного контролера. SoftPLC дав змогу розробити та перевірити логіку роботи системи у програмному середовищі без підключення фізичного ПЛК, датчиків і виконавчих пристроїв. Такий підхід дозволяє безпечно налагоджувати алгоритм, перевіряти роботу окремих режимів і виявляти помилки ще на етапі проектування.

Розроблена програма керування реалізована мовою Function Block Diagram, що є зручною для побудови логічних схем автоматичного керування. Програму поділено на окремі функціональні модулі: «ПУСК–СТОП», «Формування сигналів дозволу», «Формування сигналів керування в автоматичному режимі», «Індикація та сигналізація», «Лічильник локальний та загальний», «Автоматичний режим роботи» і «Ручний режим роботи». Така модульна структура спрощує аналіз програми, налагодження окремих частин і подальшу модернізацію системи.

Таким чином, у розділі було розроблено алгоритмічну та програмну основу системи автоматичного керування роботизованою лінією Pick and

Ріше. Запропоноване програмне забезпечення забезпечує послідовне виконання технологічного циклу, контроль умов безпеки, роботу автоматичного й ручного режимів, індикацію станів системи та підрахунок заповнених палет. Розроблена програма може бути використана для подальшого тестування у віртуальному середовищі та, після адаптації адрес вхідних і вихідних сигналів, перенесена на реальну апаратну платформу ПЛК.

4 РОЗРОБЛЕННЯ ТЕХНІЧНОЇ СТРУКТУРИ СИСТЕМИ КЕРУВАННЯ

4.1 Вимоги до системи автоматичного керування

Система автоматичного керування роботизованою системою Pick and Place призначена для узгодженої роботи стрічкового конвеєра подачі коробок, роликів конвеєрів подачі та відведення палет, трьохвісьової порталної машини, вакуумного захвата, датчиків контролю положення та операторських засобів керування. Основною задачею системи є автоматичне переміщення коробки зі стрічкового конвеєра на палету з дотриманням заданої послідовності технологічних операцій.

На відміну від простих транспортних систем, де достатньо лише вмикати або вимикати електропривод, у даному випадку необхідно забезпечити координацію декількох механізмів. Коробка повинна бути подана у зону захоплення, палета має знаходитись у зоні укладання, робот-маніпулятор повинен бути у вихідному або дозволеному положенні, а вакуумна система має підтвердити надійне захоплення вантажу. Лише після виконання цих умов ПЛК може дозволити переміщення коробки до палети.

Система повинна працювати у двох основних режимах: автоматичному та ручному. Автоматичний режим призначений для виконання повного циклу без постійного втручання оператора. Ручний режим потрібний для налагодження, перевірки окремих механізмів, повернення осей у вихідне положення, перевірки датчиків і технічного обслуговування. Перехід між режимами має здійснюватися за допомогою перемикача на операторській панелі.

Головною функціональною вимогою є забезпечення повного технологічного циклу переміщення коробки. Цикл повинен включати подачу палети, подачу коробки, зупинку коробки у фіксованій позиції, захоплення коробки вакуумною присоскою, піднімання, перенесення до зони укладання,

відпускання коробки, повернення захвата у безпечне положення та відведення палети після укладання заданої кількості коробок.

Важливою вимогою є контроль наявності об'єктів у робочих зонах. Система не повинна запускати цикл захоплення, якщо коробка відсутня у зоні захоплення. Так само система не повинна дозволяти укладання, якщо палета не знаходиться у визначеній позиції. Така логіка дозволяє уникнути холостих рухів робота, падіння коробки, помилкового переміщення та пошкодження обладнання.

До системи висуваються вимоги щодо точності позиціонування. Портальна машина повинна переміщувати вакуумний захват у задані координати з повторюваністю, достатньою для стабільного встановлення коробки на палету. Для цього необхідно передбачити контроль вихідних положень осей X, Y, Z, перевірку крайніх положень і коректне виконання команд переміщення. Особливо важливо, щоб вісь Z виконувала вертикальні рухи без зіткнення з коробкою, палетою або елементами конвеєра.

До вакуумної системи висувається окрема група вимог. Захват повинен надійно утримувати коробку протягом усього переміщення. Після вмикання вакууму система керування повинна отримати підтвердження від датчика вакууму. Якщо сигнал VacuumOK не з'явився протягом заданого часу, подальший рух робота має бути заблокований. У разі втрати вакууму під час перенесення система повинна перейти у безпечний стан.

Система повинна мати засоби захисту та аварійного зупинення. Кнопка аварійної зупинки має мати найвищий пріоритет над іншими командами. Після її натискання повинні бути припинені рухи конвеєрів і портальної машини, а на панелі оператора має з'явитися аварійна індикація. Повернення до роботи допускається лише після усунення причини зупинки та виконання команди скидання аварії.

Не менш важливою є вимога до діагностики. Оператор повинен мати можливість визначити основну причину зупинки або неправильної роботи

системи. Доцільно передбачити повідомлення або індикацію таких станів: відсутність коробки, відсутність палети, відсутність вакууму, спрацювання кінцевого датчика, помилка повернення у вихідне положення, натискання аварійної кнопки, перевищення часу руху конвеєра.

Система повинна бути зручною для обслуговування. Технічні засоби мають бути розміщені так, щоб забезпечити доступ до датчиків, клемних з'єднань, блоку живлення, реле, приводів і пневматичних елементів. Сигнальні та силові кола бажано розділити, а всі провідники промаркувати відповідно до призначення або адреси входу чи виходу ПЛК.

Загалом вимоги до системи автоматичного керування можна поділити на функціональні, технологічні, експлуатаційні, інформаційні та вимоги безпеки. Їх дотримання дозволяє сформувати технічну структуру, яка забезпечує стабільне переміщення коробок, правильну взаємодію конвеєрів і робота, захист персоналу та можливість подальшого розширення системи.

Таблиця 4.2 – Вимоги до режимів роботи системи

Режим роботи	Призначення режиму	Основні умови роботи
Автоматичний	Виконання повного циклу переміщення коробок на палету	Усі датчики справні, палета та коробка присутні, аварійні сигнали відсутні
Ручний	Налагодження, перевірка окремих вузлів і технічне обслуговування	Дозволені тільки окремі команди з урахуванням захисних блокувань
Аварійний	Безпечна зупинка системи у разі небезпечної ситуації	Рухи заблоковані до усунення причини та виконання Reset
Очікування	Підготовка системи до запуску або очікування об'єктів	Система контролює сигнали датчиків і не виконує рухів без дозволу
Налагодження після вмикання	Повернення осей у вихідні положення та перевірка готовності	Виконується процедура Home для осей X, Y, Z

4.2 Структура комплексу технічних засобів

Комплекс технічних засобів (КТЗ) відображає порядок взаємодії всіх складових автоматизованої системи та визначає їх розподіл за

функціональним призначенням, фізичним виконанням і способом організації керування.

Функціональна структура показує, які задачі покладаються на окремі підсистеми: отримання вимірювальної інформації, її попередню обробку, передавання між вузлами та використання для формування керуючих дій. Такий підхід дає змогу будувати систему за модульним принципом, коли кожний елемент виконує власну визначену функцію, що спрощує подальше обслуговування, модернізацію та пошук несправностей. Фізична структура характеризує реальний склад обладнання: датчики, контролер, виконавчі пристрої, комутаційну апаратуру, засоби зв'язку, кабельні лінії та канали передавання даних. Вона також визначає розміщення елементів і загальну топологію їх з'єднання. Під час її побудови необхідно дотримуватися прийнятих правил виконання електричних і функціональних схем. Управлінська структура встановлює спосіб формування команд у системі: від одного центрального контролера, від декількох автономних вузлів або за комбінованою схемою. У межах даного дипломного проєкту процес палетизації передбачає централізоване керування, оскільки всі основні сигнали обробляються головним програмованим логічним контролером.

Між елементами КТЗ існують інформаційні, командні та зворотні зв'язки. Інформаційні зв'язки забезпечують передавання даних від датчиків, командні – подавання сигналів на виконавчі пристрої, а зворотні – контроль фактичного виконання технологічних операцій. У процесі проєктування враховується також документаційна складова: структурні, функціональні, принципові та монтажні схеми, алгоритмічні описи й пояснювальна записка. До складу КТЗ зазвичай входять модулі введення та виведення, сенсорні пристрої, виконавчі механізми, інтерфейсні модулі, елементи безпеки, засоби сигналізації та програмне забезпечення. Поєднання цих складових утворює багаторівневу систему, здатну до масштабування, адаптації до змін технологічного процесу та надійної роботи в промислових умовах.

На рисунку 4.1 наведено узагальнену структуру комплексу технічних засобів, що використовується для керування процесом транспортування та укладання коробок на палети.

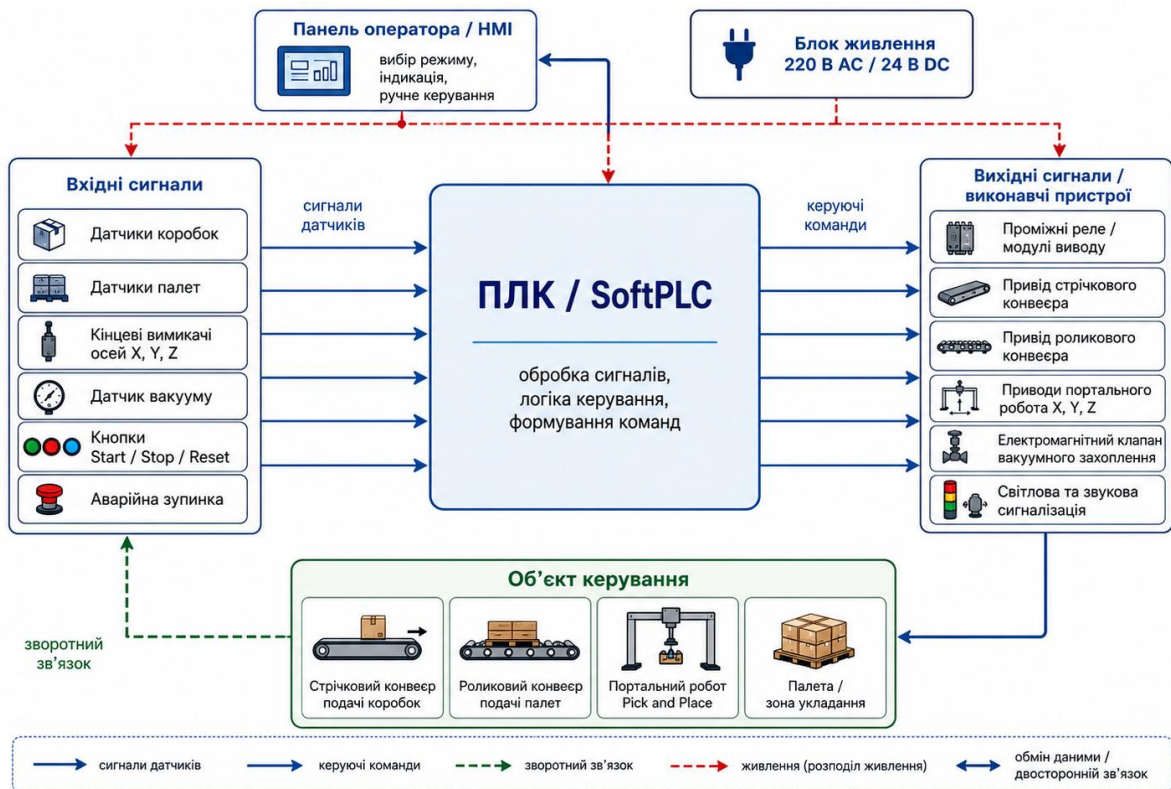


Рисунок 4.1 – Узагальнена структура системи керування

Центральним вузлом поданої структури є програмований логічний контролер Schneider Electric Modicon TM200CE40T. Він виконує функції основного пристрою керування: приймає сигнали від датчиків, кнопок, перемикачів і кінцевих вимикачів, обробляє їх згідно з алгоритмом та формує команди для виконавчих елементів. Електроживлення низьковольтних кіл забезпечується блоком Mean Well NDR-240-24, який перетворює мережеву напругу 220 В змінного струму на стабілізовану напругу 24 В постійного струму. Від цієї напруги живляться ПЛК, датчики, проміжні реле, індикатори та інші елементи схеми. Контроль наявності й положення об'єктів на лінії здійснюється оптичними рефлексивними датчиками Akusense PTE-R20N, які реагують на зміну відбитого світлового потоку та передають відповідний сигнал до входів контролера. Для безконтактного виявлення об'єктів із

різних матеріалів, зокрема палет і картонної тари, застосовуються датчики Autonics PRDL18-7DN2. Кінцеві вимикачі ABB LS32P11B11 контролюють досягнення виконавчими механізмами крайніх положень і формують дискретні сигнали про завершення переміщення. Проміжні реле Schneider Electric RXG22BD використовуються для розв'язки вихідних кіл контролера та комутації навантажень, зокрема кіл керування магнітними пускачами. Самі пускачі забезпечують вмикання і вимикання електродвигунів конвеєрів та підйомних механізмів. Операторська панель об'єднує кнопки, перемикачі, індикатори та сигнальні пристрої, за допомогою яких оператор запускає процес, обирає режим роботи, виконує зупинку та контролює стан установки. Отже, система має чіткий поділ на інформаційний, керуючий, виконавчий та операторський рівні, що підвищує її надійність і спрощує експлуатаційне обслуговування.

4.3 Паспортизація основних технічних засобів

У сучасних виробничих системах автоматизація є одним із головних засобів підвищення продуктивності, стабільності технологічного процесу та безпеки персоналу. Особливо важливим є точне визначення положення об'єктів, контроль їх наявності в робочих зонах і своєчасне передавання цієї інформації до системи керування. Таку функцію виконують датчики, які перетворюють зміну фізичних параметрів у електричні сигнали. У промислових лініях для виявлення об'єктів широко застосовуються оптичні та безконтактні сенсори. Вони не потребують механічного контакту з виробом, швидко спрацьовують, мають достатню чутливість і можуть працювати в умовах пилу, вібрацій або підвищених температур. Завдяки цьому зменшується знос обладнання, скорочується кількість відмов і підвищується надійність автоматизованої установки.

Для фіксації палет у зонах подавання та вивантаження доцільно застосовувати оптичний безконтактний датчик Akusense PTE-R20N (рисунок 4.2). Це компактний фотоелектричний сенсор, призначений для виявлення

об'єктів без прямого дотику до них. Відсутність механічного контакту підвищує ресурс датчика та робить його придатним для використання на автоматизованих транспортних і пакувальних лініях.



Рисунок 4.2 – Фотоелектричний датчик Akusense PTE-R20N

Корпус датчика виконано у прямокутній формі з отворами для кріплення під гвинти М3. Підключення здійснюється за допомогою кабелю. Сенсор працює за рефлекторним принципом: випромінює червоне світло, приймає відбитий сигнал і виявляє об'єкт у робочому діапазоні приблизно від 10 до 200 мм.

Вихід датчика має тип NPN з допустимим струмом до 100 мА при напрузі до 30 В DC, що забезпечує його сумісність із типовими схемами промислової автоматизації. Для налаштування режиму передбачено перемикач світлового або темного спрацювання, індикатори стану та регулятор чутливості.

Малий час реакції, що становить близько 1 мс, дає змогу використовувати датчик у швидкодіючих виробничих процесах. Пристрій живиться від напруги 10-30 В DC, має низьке споживання струму та працездатний у широкому температурному діапазоні. За рахунок стабільності й точності Akusense PTE-R20N може застосовуватися для позиціонування, обліку та контролю переміщення палет.

На рисунку 4.3 показано варіант підключення датчика Akusense PTE-R20N.

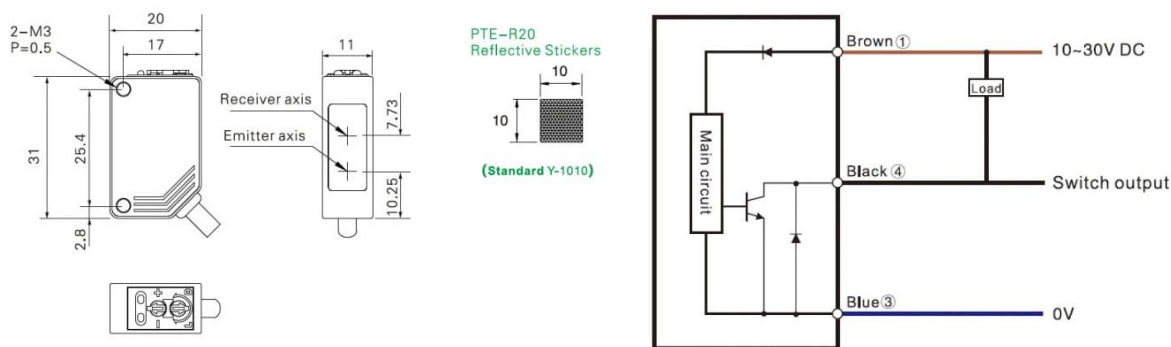


Рисунок 4.3 – Схема підключення датчика Akusense PTE-R20N

Для контролю наявності коробок на конвеєрній стрічці застосовується безконтактний датчик Autonics PRDL18-7DN2 (рисунок 4.4). Він належить до ретрорефлективних датчиків наближення та призначений для визначення об'єктів без фізичного контакту. Такий спосіб контролю зменшує механічне зношення та підвищує ресурс обладнання. Сенсор має циліндричний металевий корпус діаметром 18 мм і кабель довжиною 3 м, що полегшує його встановлення у вузлах із обмеженим доступом. Робоча відстань спрацьовування становить до 7 мм. Датчик має нормально відкритий NPN-вихід, тому може підключатися до більшості стандартних схем керування. Живлення здійснюється від постійної напруги 12–24 В. Стійкість до пилу, вологи та температурних впливів робить цей датчик придатним для використання у виробничих умовах, де потрібен точний контроль положення або наявності об'єкта.



Рисунок 4.4. Датчик наближення Autonics PRDL18-7DN2

Для визначення крайніх положень і контролю руху роботизованого захоплення використовуються кінцеві вимикачі ABB LS32P11B11 (рисунок 4.5). Це електромеханічні комутаційні пристрої, які спрацьовують у момент досягнення рухомою частиною заданої позиції. Вимикач має нормально відкриті та нормально закриті контакти, що дає змогу використовувати його як у сигнальних, так і в блокувальних колах. При досягненні контрольної точки він замикає або розмикає електричний ланцюг, передаючи інформацію до системи керування. Ступінь захисту IP65 дозволяє використовувати пристрій у середовищі з пилом, вологою та механічними впливами.



Рисунок 4.5 – Кінцевий вимикач ABB LS32P11B11

Для узгодження сигналів ПЛК із зовнішніми виконавчими пристроями у схемі передбачено проміжні реле. Вони виконують комутацію силових або

сигнальних кіл за малопотужними вихідними сигналами контролера, забезпечують електричне розділення низьковольтної частини керування та навантаження, а також дають можливість одним виходом керувати кількома незалежними колами. У системі проміжні реле встановлюються між виходами ПЛК і котушками магнітних пускачів, які вмикають двигуни конвеєрів та підйомного механізму.

У дипломній роботі передбачено застосування проміжних реле Schneider Electric RXG22BD (рисунок 4.6). Це інтерфейсне електромагнітне реле з котушкою живлення 24 В DC, призначене для комутації кіл керування.



Рисунок 4.6 – Інтерфейсне реле Schneider Electric RXG22BD

Реле цього типу має компактне виконання та зручно встановлюється на DIN-рейку. Прозорий корпус полегшує візуальний контроль стану контактів, а світлодіодний індикатор показує факт спрацювання. Контактна система має дві перемикаючі групи, що дає змогу реалізовувати різні варіанти комутації. Високий механічний ресурс контактів дозволяє використовувати реле в схемах із великою кількістю циклів увімкнення та вимкнення.

RXG22BD може застосовуватися в шафах автоматизації, системах сигналізації, схемах керування механізмами та інших промислових

установках, де необхідна надійна комутація при невеликому енергоспоживанні.

Стабільне живлення низьковольтних кіл є необхідною умовою правильної роботи ПЛК, датчиків, реле та індикаторів. Для цього в системі використовується блок живлення, який перетворює змінну напругу мережі 220 В у постійну напругу 24 В. Саме ця напруга подається на контролер, цифрові входи й виходи, а також на зовнішні пристрої, що взаємодіють із системою керування.

У розробленій схемі передбачено імпульсний блок живлення Mean Well NDR-240-24 (рисунок 4.7), призначений для монтажу на DIN-рейку. Він має потужність 240 Вт, формує вихідну напругу 24 В і забезпечує струм до 10 А. Пристрій працює від мережі 110/220 В та має захист від короткого замикання і перевантаження.



Рисунок 4.7 – Джерело живлення Mean Well NDR-240-24

Для подавання команд оператором у системі застосовуються кнопки та перемикачі. Вони забезпечують запуск, зупинку, вибір режиму роботи та ручне керування окремими механізмами. Такі елементи підключаються до цифрових входів контролера, а їхні сигнали враховуються програмою керування. Завдяки цьому оператор може ініціювати технологічні операції,

переводити установку в ручний або автоматичний режим і виконувати аварійну зупинку.

До органів керування (рисунок 4.8) належать кнопки «ПУСК» і «СТОП», кнопка аварійного вимкнення, перемикач режиму роботи та перемикачі для ручного керування окремими приводами.

Кнопка запуску має зелений колір, а кнопка зупинки – червоний. Обидва елементи виконані в одному типорозмірі та призначені для встановлення у монтажний отвір діаметром 22 мм.

У проєкті використовуються кнопки Schneider Electric серії Easy Harmony, зокрема модель ХА2EW33В1, які оснащені нормально розімкнутими контактами.

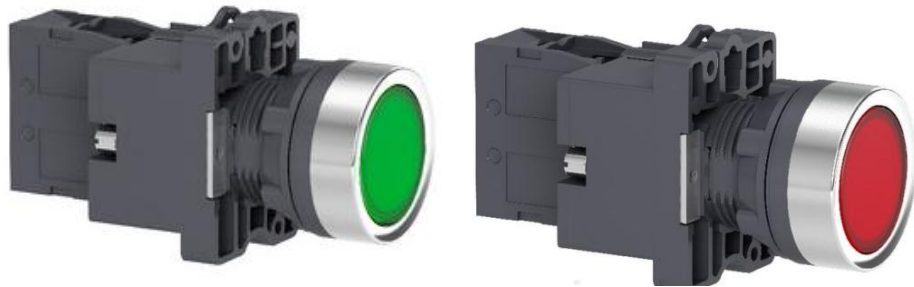


Рисунок 4.8 – Кнопки керування «ПУСК» і «СТОП»

Для інформування оператора про стан установки застосовуються світлові індикатори та сигнальні елементи. Вони підключаються до цифрових виходів ПЛК і активуються відповідно до умов, заданих у програмі керування. Сигнальні лампи можуть показувати готовність обладнання до роботи, активний режим, аварійну ситуацію, несправність датчика, роботу окремого механізму або необхідність втручання оператора.

Сигнальна лампа, встановлена у верхній частині палетизатора, використовується для візуального контролю робочого стану установки. Вона вмикається під час виконання активного циклу, коли здійснюється переміщення палет, укладання коробок і робота виконавчих механізмів.

Такий елемент дозволяє персоналу швидко визначити, що обладнання перебуває в робочому режимі. Помітний світловий сигнал добре сприймається навіть у виробничому приміщенні з інтенсивним освітленням, тому підвищує рівень безпеки. Увімкнена лампа попереджає, що доступ до рухомих вузлів небажаний і може бути небезпечним.

Крім основної індикації, лампа може виконувати попереджувальну функцію під час зміни режиму або завершення окремого етапу роботи. Отже, світлова сигналізація є важливим засобом оперативного контролю й допомагає узгоджувати дії персоналу з роботою автоматизованої установки.

4.3 Вибір програмованого логічного контролера

Вибір програмованого логічного контролера є одним із визначальних етапів створення системи автоматичного керування, оскільки саме контролер задає можливості всієї установки: кількість підключених сигналів, швидкість обробки інформації, підтримку мережевого обміну, зручність програмування та надійність роботи. Під час вибору ПЛК необхідно враховувати кількість входів і виходів, типи сигналів, комунікаційні інтерфейси, можливість розширення, сумісність із датчиками та виконавчими пристроями, умови монтажу, габарити й економічну доцільність.

Для системи керування обрано ПЛК Schneider Electric Modicon TM200CE40T. Такий вибір пояснюється відповідністю контролера вимогам автоматизованої лінії за функціональністю, кількістю сигналів і надійністю. Наявних дискретних входів і виходів достатньо для підключення датчиків, кнопок, індикаторів, реле та інших елементів без обов'язкового використання додаткових модулів. Вбудований Ethernet-порт дає змогу інтегрувати контролер у промислову мережу, організувати обмін даними, діагностику або подальше підключення до системи диспетчеризації.

Modicon TM200CE40T підтримує програмування за підходами стандарту IEC 61131-3, тому алгоритми керування можуть бути реалізовані у звичних для промислової автоматизації мовах, наприклад LD або ST.

Наявність спеціалізованого середовища розробки полегшує створення програми, її тестування та подальше обслуговування. Компактне виконання контролера зручне для монтажу в шафі керування, а промислове призначення забезпечує стабільну роботу в умовах виробництва.

Програмований логічний контролер Schneider Electric Modicon TM200CE40T (рисунок 4.9) є сучасним пристроєм для побудови систем автоматизації середньої складності. Він має достатній набір дискретних входів і виходів та підтримує роботу зі швидкодіючими сигналами.

Наявність вбудованих комунікаційних засобів спрощує інтеграцію контролера з іншими пристроями та вузлами системи. Це забезпечує стабільний обмін даними й узгоджену роботу всіх етапів технологічного процесу транспортування та укладки коробок на палети.

Ще однією перевагою є зручність програмування та налагодження. За потреби логіку роботи можна змінювати програмно, без суттєвого переобладнання установки або складного втручання в апаратну частину.



Рисунок 4.9 – Програмований логічний контролер Schneider Electric Modicon TM200CE40T

На рисунку 4.10 наведено зовнішній вигляд контролера Schneider Electric Modicon TM200CE40T, який може використовуватися для автоматизації різних технологічних процесів. Контролер має компактний

корпус і достатній набір інтерфейсів для підключення периферійного обладнання.

До складу контролера входять перемикач режимів RUN/STOP, USB-порт для програмування, Ethernet-порт для мережевого обміну, слот для карти пам'яті та місце для резервної батареї. Для підключення польових пристроїв передбачено клеми цифрових входів і виходів, а також окремі клеми живлення 24 VDC.

Світлодіодні індикатори на корпусі дозволяють швидко оцінити стан контролера та підключених каналів, а QR-код забезпечує зручний доступ до технічної інформації та документації.

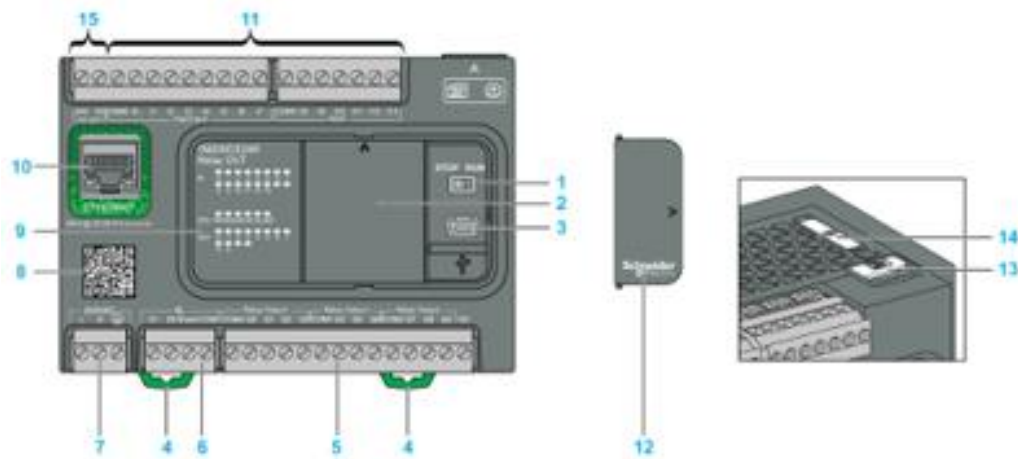


Рисунок 4.10 – Загальний вигляд контролера Schneider Electric Modicon TM200CE40T:

- 1 – перемикач RUN/STOP; 2 – слот карти пам'яті;
3 – USB-порт Mini-B; 4 – клеми вихідних сигналів; 5 – клеми живлення 24 VDC; 6 – клеми підключення; 7 – живлення периферійних пристроїв; 8 – QR-код; 9 – світлодіодна індикація; 10 – Ethernet-порт; 11 – клеми входів; 12 – захисна кришка USB-порту та перемикача; 13 – картридж; 14 – тримач батареї; 15 – клеми живлення 24 В.*

У таблиці 4.1 подано основні технічні характеристики контролера Modicon TM200CE40T. Наведені параметри дають змогу оцінити його придатність для застосування в автоматизованих системах, зокрема у лініях палетування, де необхідна швидка обробка дискретних сигналів і наявність достатньої кількості каналів введення та виведення.

Таблиця 4.1

Основні технічні параметри контролера Schneider Electric Modicon
TM200CE40T

Показник	Характеристика
Модель контролера	TM200CE40T
Напруга живлення	24 VDC
Дискретні входи	16
Швидкі входи	4 (до 100 кГц)
Дискретні виходи	14 транзисторних виходів (тип Source)
Швидкі виходи	2 (PWM/PTO/FREQGEN/CW/CCW)
Комунікаційний інтерфейс	Ethernet
Підтримка карти пам'яті	micro SD
Можливість встановлення резервної батареї	Присутнє
Середовище програмування	EcoStruxure Machine Expert – Basic

Наявність комунікаційних портів, підтримка карти пам'яті, можливість резервного живлення та робота із середовищем EcoStruxure Machine Expert – Basic забезпечують зручність налаштування, програмування й подальшого розвитку проєкту.

Отже, Modicon TM200CE40T можна вважати доцільним варіантом для керування електромеханічними об'єктами середньої складності, де важливими є швидкодія, надійність, компактність і можливість зміни логіки роботи.

4.4 Розроблення схеми електричних підключень ПЛК

Розроблення схеми підключення сигналів до ПЛК є важливим етапом створення системи керування. У межах дипломного проєкту сформовано електричні підключення контролера Schneider Electric Modicon TM200CE40T, які забезпечують приймання сигналів від датчиків і передавання команд на виконавчі пристрої автоматизованої установки.

До вхідних каналів контролера підключаються основні сигнали стану: наявність палети на вході; вихід палети із зони; поява коробки на початку процесу; завершення завантаження; положення палети на виході з. Крім того, використовуються сигнали для контролю положення відповідних виконавчих механізмів.

На рисунках 4.11-4.12 представлено схеми підключення вхідних сигналів до контролера Schneider Electric Modicon TM200CE40T.

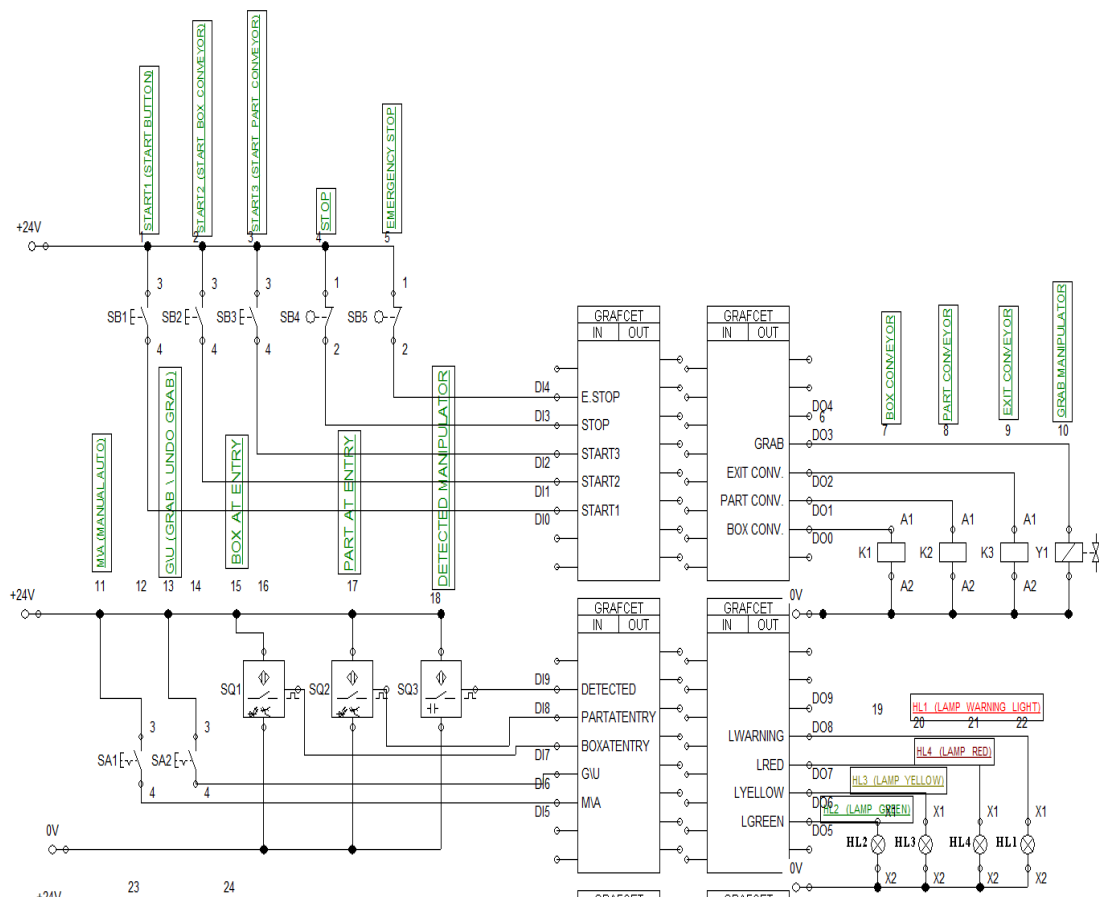


Рисунок 4.11 – Фрагмент (1) схеми підключення вхідних сигналів до контролера

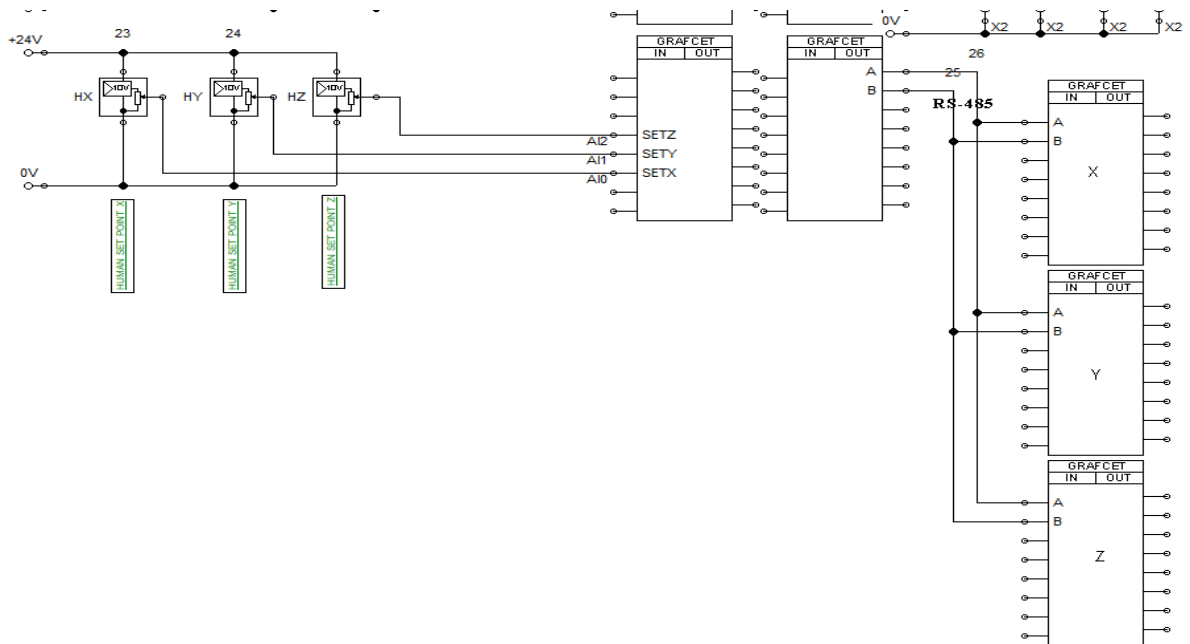


Рисунок 4.12 – Фрагмент (2) схеми підключення вхідних сигналів до контролера

В таблиці 4.1 наведено опис підключень входів та виходів.

Таблиця 4.1 – Опис підключень входів та виходів

Контакт входу	Тип	Опис	Контакт виходу	Тип	Опис
START1(SB1)	Кнопка НР	Запускає всю систему в автоматичному режимі	ВConv(K 1)	Котушка (соленоїд) контактора	Керування приводом конвеєра Вох (подача палет)
START2(SB2)	Кнопка НР	Запускає конвеєри Вох та Exit в ручному режимі (утримання)	РConv(K 2)	Котушка (соленоїд) контактора	Керування приводом конвеєра Part (подача коробок)
START3(SB3)	Кнопка НР	Запускає конвеєр Part (коробки) в ручному режимі (утримання)	ЕConv(K 3)	Котушка (соленоїд) контактора	Керування приводом конвеєра Exit (видача готових палет)
STOP(SB4)	Кнопка НЗ	Зупиняє роботу системи доти, поки натиснута (утримання)	GRAB(Y 1)	Пневмоклапан (соленоїд)	Керування вакуумним насосом присоски маніпулятора (увімкнення/вимкнення вакууму)
Е.STOP(SB5)	Кнопка НЗ	Аварійна зупинка	LW(HL1)	Лампа сигнальна -	Світлова аварійна сигналізація

		системи, повністю блокує всі механізми, активує сирену		сирена	(активується при натисканні E.Stop)
M/A(SA1)	Перемикач двопозиційний	Вибір режиму роботи: 0 — Manual (ручний), 1 — Auto (автоматичний)	LG(HL2)	Лампа сигнальна зелена	Індикація світлофора: зелений — система в автоматичному режимі або конвеєри в русі
G/U(SA2)	Перемикач двопозиційний	Керування пневмозахватом у ручному режимі: 0 — відпустити, 1 — захопити	LY(HL3)	Лампа сигнальна жовта	Індикація світлофора: жовтий — робота маніпулятора (переміщення або захват)
BAE(SQ1)	Датчик присутності НЗ (оптичний)	Зупиняє конвеєр Вох при виявленні палети в зоні укладання	LR(HL4)	Лампа сигнальна червона	Індикація світлофора: червоний — аварійна зупинка (натиснуто Stop або E.Stop)
PAE(SQ2)	Датчик присутності НЗ	Зупиняє конвеєр Part при виявленні коробки в зоні захвату			
DETECTED(SQ3)	Датчик присутності маніпулятора індукційний	Встановлений у маніпуляторі, визначає наявність коробки під час захоплення присоскою			
SETX(HX)	Потенціометр (аналоговий 0-10 В)	Задає координату X маніпулятора в ручному режимі			
SETY(HY)	Потенціометр (аналоговий 0-10 В)	Задає координату Y маніпулятора в ручному режимі			
SETZ(HZ)	Потенціометр (аналоговий 0-10 В)	Задає координату Z маніпулятора в ручному режимі			

Висновки до розділу 4

У четвертому розділі було розроблено технічну структуру системи керування роботизованою системою Pick and Place, призначеною для автоматизованого транспортування, захоплення, перенесення та укладання коробок на палету. Розглянута система об'єднує стрічковий конвеєр подачі коробок, роликові конвеєри подачі та відведення палет, трьохвісьову порталну машину, вакуумний захват, датчики контролю положення, органи керування, елементи індикації та виконавчі пристрої.

Було сформовано основні вимоги до системи автоматичного керування. Визначено, що система повинна забезпечувати автоматичний, ручний, аварійний режими, режим очікування та налагодження після вмикання. Особливу увагу приділено контролю наявності коробки й палети, точності позиціонування порталного механізму, підтвердженню вакуумного захоплення, аварійному зупиненню та діагностиці стану обладнання.

У процесі розроблення структури комплексу технічних засобів було визначено функціональні рівні системи: інформаційний, керуючий, виконавчий, операторський та енергетичний. Інформаційний рівень формують датчики наявності об'єктів, кінцеві вимикачі та сигнали органів керування. Керуючий рівень представлений програмованим логічним контролером, який обробляє вхідні сигнали та формує команди для виконавчих пристроїв. Виконавчий рівень включає приводи конвеєрів, пневматичний вакуумний захват, реле, контактори й засоби сигналізації.

Також було виконано паспортизацію основних технічних засобів, що входять до складу системи. Для контролю наявності коробок і палет передбачено використання безконтактних датчиків, які забезпечують швидке та надійне виявлення об'єктів без механічного контакту. Для контролю крайніх положень рухомих вузлів обрано кінцеві вимикачі, що дозволяють підтверджувати завершення переміщення та підвищують безпеку роботи системи.

Для узгодження сигналів контролера з виконавчими пристроями передбачено застосування проміжних реле Schneider Electric RXG22BD. Вони забезпечують електричну розв'язку між низьковольтною частиною керування та зовнішніми навантаженнями, а також дають змогу надійно комутувати кола керування приводами, індикаторами й іншими пристроями. Для живлення елементів системи обґрунтовано використання імпульсного блока живлення Mean Well NDR-240-24, який формує стабілізовану напругу 24 В постійного струму.

Окремо розглянуто органи керування та засоби індикації. Кнопки «ПУСК» і «СТОП», перемикач режимів, кнопка аварійної зупинки та елементи ручного керування забезпечують можливість запуску, зупинки, вибору режиму й обслуговування системи. Світлова та звукова сигналізація дозволяє оператору швидко визначати поточний стан обладнання, наявність аварійної ситуації або потребу у втручанні персоналу.

У якості центрального пристрою керування обрано програмований логічний контролер Schneider Electric Modicon TM200CE40T. Його використання є доцільним завдяки достатній кількості дискретних входів і виходів, наявності Ethernet-інтерфейсу, підтримці сучасного програмного середовища та можливості реалізації алгоритмів керування відповідно до промислових підходів програмування. Обраний контролер забезпечує оброблення сигналів датчиків, керування виконавчими пристроями, реалізацію режимів роботи й подальшу інтеграцію системи в промислову мережу.

У завершальній частині розділу було розроблено схему електричних підключень ПЛК. Визначено основні вхідні сигнали від кнопок, перемикачів, датчиків та аварійних пристроїв, а також вихідні сигнали для керування приводами конвеєрів, вакуумним захопленням, сигнальними лампами та іншими виконавчими елементами. Сформована структура підключень дає змогу забезпечити логічну взаємодію всіх складових автоматизованої лінії.

Таким чином, у розділі було сформовано основну технічну основу системи автоматичного керування роботизованою системою Pick and Place. Запропонована структура забезпечує узгоджену роботу конвеєрів, портального робота, вакуумного захоплення, датчиків і операторських засобів керування. Вона відповідає вимогам безпеки, надійності, діагностики та зручності обслуговування, а також може бути використана як основа для подальшого розроблення монтажних схем, програмного забезпечення ПЛК та практичної реалізації автоматизованої системи.

5 ОХОРОНА ПРАЦІ

5.1 Організаційно-правові основи забезпечення безпеки праці

Автоматизовані робочі місця з промисловими роботами належать до об'єктів, де безпека повинна закладатися ще на етапі проєктування. Роботизована система Pick and Place виконує повторювані переміщення заготовок або виробів між позиціями подавання, контролю, орієнтації та укладання. Для виробництва така система зменшує частку ручної праці, підвищує стабільність циклу та продуктивність, але водночас створює зону підвищеної механічної небезпеки. Рух маніпулятора, конвеєрів, захоплювача, пневмоциліндрів і допоміжних механізмів може бути небезпечним для працівника, якщо не передбачено огороження, блокування, аварійне зупинення та безпечні режими налагодження.

Охорона праці у цьому випадку розглядається не тільки як система інструктажів і документів, а як сукупність технічних, організаційних та ергономічних рішень. Її завданням є недопущення контакту людини з рухомими частинами під час автоматичного циклу, попередження раптового пуску, зниження ризику травмування під час обслуговування, а також забезпечення нормальних умов праці оператора, наладчика та ремонтного персоналу.

Основою нормативного забезпечення є Закон України «Про охорону праці», який визначає загальні вимоги до створення безпечних і нешкідливих умов праці, обов'язки роботодавця та права працівника на захист життя і здоров'я у процесі трудової діяльності [18]. Питання дій під час аварій, пожеж, руйнування інфраструктури або воєнних загроз пов'язані з вимогами цивільного захисту [19]. Пожежна безпека операторської зони, шафи керування, електроприводів, кабельних ліній і пневматичного обладнання повинна забезпечуватися відповідно до чинних правил пожежної безпеки [20].

Для роботизованих комплексів особливого значення набувають міжнародні стандарти з безпеки машин і промислових роботів. ISO 12100

визначає загальний підхід до оцінювання та зниження ризиків машин, а ISO 10218-1 та ISO 10218-2 розглядають вимоги до промислових роботів, їх інтеграції, роботизованих застосувань і роботизованих комірок [23-25]. Оскільки аварійне зупинення, дверні блокування, світлові завіси та захисні реле є частиною системи керування, для них доцільно враховувати підходи ISO 13849-1 щодо безпечних частин систем керування [26].

Практичне виконання вимог охорони праці на об'єкті передбачає розроблення інструкцій для оператора та наладчика, визначення меж небезпечної зони, застосування захисних огорожень, перевірку справності аварійних кнопок, встановлення режиму ручного налагодження зі зниженою швидкістю, заборону перебування персоналу в робочій зоні під час автоматичного циклу, а також періодичне навчання персоналу. Такий підхід відповідає сучасній логіці управління професійними ризиками, коли небезпека виявляється до настання події, а не після отримання травми [27].

5.2 Характеристика об'єкта та виявлення потенційних небезпек

Об'єктом розгляду є роботизована система Pick and Place, призначена для автоматичного захоплення виробу в одній позиції, його переміщення по заданій траєкторії та встановлення в іншу позицію. Типова система такого виду складається з робота-маніпулятора або декартового переміщувача, захоплювача, конвеєра подавання, зони укладання, датчиків положення, датчиків наявності деталі, пневматичного або електричного приводу, шафи керування, програмованого контролера, панелі оператора, кнопок керування та засобів безпеки.

Робоча зона системи обмежується траєкторією руху робочого органа, областю переміщення деталі та ділянками, де можливий контакт із конвеєром, пневматичним захоплювачем або пристроями позиціонування. У нормальному режимі оператор перебуває за межами огороженої комірки, запускає або зупиняє цикл, контролює наявність заготовок, реагує на повідомлення про несправності, відновлює роботу після допустимих зупинок і виконує

візуальний контроль. Наладчик або ремонтний працівник може входити до небезпечної зони тільки після переведення системи в безпечний стан.

На відміну від звичайного конвеєрного обладнання, роботизована система має неперервно змінну небезпечну зону. Робочий орган може рухатися у декількох напрямках, змінювати швидкість, виконувати прискорення, зупинятися в проміжних точках або відновлювати рух після підтвердження команди. Тому головною умовою безпечної експлуатації є не лише фізичне огороження, а й правильна логіка керування: безпечний пуск, контроль дверей, аварійне зупинення, скидання помилки тільки поза небезпечною зоною, блокування автоматичного режиму при відкритому доступі.

За класифікацією небезпечних і шкідливих виробничих факторів, наведеною у методичних вказівках [17], для об'єкта найбільш суттєвими є фізичні фактори (таблиця 5.1): рухомі частини машин, підвищена напруга в електричних колах, стиснене повітря, шум, можливе падіння предметів, недостатнє освітлення робочої зони. Додатково враховуються психофізіологічні фактори, пов'язані з напруженням уваги оператора, монотонністю спостереження та необхідністю швидко реагувати на аварійні сигнали.

Таблиця 5.1 – Потенційні небезпеки для роботизованої системи Pick and Place

№	Потенційна небезпека	Джерело небезпеки	Можливі наслідки
1	Удар або затискання рухомими частинами робота	Маніпулятор, вісь переміщення, поворотний механізм, лінійний модуль, зона ходу захоплювача	Забої, переломи, стискання частин тіла, тяжке травмування
2	Захоплення одягу або руки конвеєром	Стрічковий конвеєр, ролики, приводні барабани, зона передачі виробу	Травмування пальців і кисті, затягування одягу, порізи
3	Падіння або виліт деталі під час перенесення	Несправний вакуумний або механічний захоплювач, втрата тиску, неправильна орієнтація виробу	Удар по працівнику, пошкодження виробу, аварійна зупинка
4	Неочікуваний пуск після втручання персоналу	Помилкове скидання аварії, відновлення живлення, програмна помилка, відсутність блокування дверей	Травмування працівника в робочій зоні, зіткнення з обладнанням

5	Ураження електричним струмом	Шафа керування, сервоприводи, блоки живлення, клемні колодки, пошкоджені кабелі	Електротравма, опіки, зупинка серця, пошкодження обладнання
6	Небезпека стисненого повітря або вакууму	Пневморозподільники, пневмоциліндри, вакуумні присоски, шланги, ресивер	Раптовий рух механізму, удар шлангом, травмування очей, шумовий вплив
7	Пожежа в електрошафі або біля приводу	Коротке замикання, перегрів кабелів, перевантаження блока живлення, забруднення обладнання пилом	Задимлення, опіки, пошкодження системи, зупинка виробництва
8	Підвищений рівень шуму	Пневматичні скиди, компресор, приводи, конвеєри, удари деталей при укладанні	Стомлення, зниження уваги, погіршення слуху при тривалому впливі
9	Помилка оператора або наладчика	Нечітка індикація режимів, недостатнє навчання, поспіх, відсутність інструкції, втома	Небезпечний запуск, неправильне усунення несправності, пошкодження обладнання
10	Відмова датчика або захисного пристрою	Датчики положення, кінцеві вимикачі, світлова завіса, дверний вимикач, аварійна кнопка	Невиявлена присутність людини, порушення послідовності циклу, аварійний рух
11	Несприятливі умови робочого середовища	Недостатнє освітлення, слизька підлога, незручне розташування тари, захаращені проходи	Падіння, спотикання, погіршення контролю за роботою системи
12	Воєнна або інша надзвичайна загроза	Повітряна тривога, вибухова хвиля, відключення електроживлення, руйнування комунікацій	Травмування людей, аварійна зупинка, втрата керованості процесом

Аналіз показує, що основна небезпека пов'язана не з самим фактом використання робота, а з можливістю контакту людини з рухомою системою під час автоматичного або неправильно відновленого циклу. Тому пріоритетними повинні бути технічні заходи, які фізично або функціонально унеможливають перебування людини у небезпечній зоні під час руху робота.

Організаційні заходи, інструктажі та попереджувальні написи є необхідними, але вони не можуть замінити огороження, блокування та захисні пристрої.

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

5.3.1 Оцінювання ризику

Оцінювання ризиків виконують для того, щоб визначити, які небезпеки потребують першочергового усунення або зменшення. Для роботизованої комірки Pick and Place ризик залежить від трьох основних обставин: тяжкості можливих наслідків, частоти перебування людини біля небезпечної зони та ймовірності того, що захисні засоби або працівник не запобіжать події. У цьому розділі використано матричний підхід, передбачений методичними вказівками [17], а також спрощені дерева відмов для найбільш критичних подій.

Для оцінювання прийнято такі категорії наслідків (таблиця 5.2): I – катастрофічні, II – критичні, III – граничні, IV – незначні. Імовірність події позначено літерами: A – висока, B – можлива, C – випадкова, D – віддалена, E – малоімовірна. Індекс ризику отримано поєднанням категорії наслідків та рівня ймовірності. Такий спосіб не замінює детального інженерного розрахунку безпеки, але дає змогу обґрунтовано визначити першочергові захисні заходи.

Таблиця 5.2 – Оцінювання ризиків для найбільш характерних небезпек

№	Небезпечна подія	Серйозність	Ймовірність	Індекс	Рівень ризику
1	Контакт людини з рухомих маніпулятором	I – катастрофічна	B – можлива	1B	неприпустимий
2	Неочікуваний пуск після втручання в робочу зону	I – катастрофічна	C – випадкова	1C	неприпустимий
3	Падіння або виліт деталі із захоплювача	II – критична	B – можлива	2B	неприпустимий
4	Ураження електричним струмом під час обслуговування	II – критична	C – випадкова	2C	небажаний
5	Пожежа в електрошафі або кабельній зоні	II – критична	D – віддалена	2D	небажаний
6	Помилка оператора під час відновлення циклу	III – гранична	B – можлива	3B	небажаний

Найбільш небезпечними є ситуації, у яких людина може опинитися в зоні руху робота. Навіть за невеликої маси деталі швидкість і прискорення робочого органа можуть спричинити тяжкі наслідки. Тому для таких подій ризик попередньо оцінюється як неприпустимий. Його потрібно знижувати не попередженнями, а конструктивними й функціональними рішеннями: огороженням, блокуванням доступу, контролем положення дверей, світловими завісами, аварійним зупиненням і безпечним режимом налагодження.

Ризик падіння деталі також потребує особливої уваги, оскільки під час Pick and Place виріб переміщується в повітрі. Якщо вакуум зникає, присоска забруднена або деталь неправильно захоплена, вона може впасти на обладнання або вилетіти за межі робочої позиції. Для зменшення ризику потрібно контролювати вакуум або силу захоплення, обмежувати швидкість на ділянках перенесення, застосовувати механічні обмежувачі та передбачати безпечну зону падіння.

Електробезпека та пожежна безпека мають нижчу ймовірність реалізації за умови справного обладнання, однак наслідки цих подій можуть бути значними. Під час обслуговування шафи керування необхідно дотримуватися правил безпечної експлуатації електроустановок, використовувати справні захисні апарати, виконувати маркування провідників і не допускати роботи під напругою без відповідного допуску [21;22].

5.3.2 Побудова спрощених дерев відмов

Для уточнення причин критичних небезпечних подій побудовано три спрощені дерева відмов. Вони показують не тільки безпосередню причину, а й умови, через які захисна система може не спрацювати або працівник може діяти неправильно.

Дерево відмов 1. Небезпечна подія. Людина перебуває у зоні руху робота під час автоматичного циклу:

- вхід у зону можливий через відкриті або відсутні огороження, несправний дверний вимикач, обхід світлової завіси або роботу без блокування доступу;

- рух робота у цей момент можливий через відсутність контролю стану захисних пристроїв, помилку в логіці програми, неправильне скидання аварії або несанкціонований запуск;

- тяжкість наслідків зростає, якщо швидкість не обмежена, відсутній безпечний режим налагодження, не працює аварійна кнопка або оператор не бачить працівника в комірці;

Дерево відмов 2. Небезпечна подія. Предмет падає або вилітає із захоплювача:

- захоплення може бути ненадійним через низький вакуум, зношені присоски, неправильну геометрію захоплення, забруднену поверхню деталі або помилку позиціонування;

- переміщення стає небезпечним при завищеній швидкості, різкому прискоренні, відсутності контролю факту захоплення або неправильній траєкторії;

- наслідки посилюються, якщо немає механічного екрана, предмет має значну масу, оператор перебуває близько до зони перенесення або відсутній контроль падіння виробу.

Дерево відмов 3. Небезпечна подія. Неочікуваний пуск системи після усунення несправності:

- пуск можливий після відновлення живлення, натискання кнопки Reset, автоматичного повернення програми до циклу або помилкового підтвердження аварії;

- небезпечні умови виникають, якщо система не перевіряє закриття огороження, не вимагає окремої команди START, не контролює початкові положення механізмів або не має затримки попереджувальної сигналізації;

– людський фактор проявляється у поспіху, відсутності зв'язку між оператором і наладчиком, неповному виконанні інструкції або недостатньому навчанні персоналу.

5.3.3 Заходи щодо зниження ризиків

Заходи безпеки доцільно групувати за принципом пріоритетності (таблиця 5.3). Спочатку потрібно усунути або конструктивно обмежити саму небезпеку, потім застосувати технічні засоби захисту, після цього – організаційні заходи, інструкції та засоби індивідуального захисту. Для роботизованої системи Pick and Place головними є захисні огороження, блокування доступу, аварійне зупинення, безпечний режим налагодження і правильна логіка керування.

Таблиця 5.3 – Заходи щодо зниження ризиків під час експлуатації системи Pick and Place

№	Небезпека	Запропонований захід	Очікуваний результат
1	Контакт із рухомих роботом	Встановити суцільне або сітчасте огороження навколо комірки; двері обладнати блокувальним вимикачем; небезпечні зони позначити попереджувальними знаками	Унеможливлення доступу до робочої зони під час автоматичного циклу
2	Неочікуваний пуск	Реалізувати запуск тільки після окремої команди Start; після аварії вимагати скидання помилки поза небезпечною зоною; контролювати закриття дверей і початкові положення механізмів	Запобігання самовільному відновленню руху після втручання персоналу
3	Відмова захисних пристроїв	Періодично перевіряти аварійні кнопки, дверні блокування, світлові завіси; застосувати захисні реле або контролери безпеки; передбачити діагностику несправностей	Підвищення надійності функцій безпеки та своєчасне виявлення відмов
4	Падіння або виліт деталі	Контролювати вакуум або силу захоплення; зменшити швидкість перенесення; встановити механічні екрани; перевіряти стан присосок і захоплювача	Зменшення ймовірності травмування та пошкодження виробів
5	Затягування конвеєром	Закрити приводні барабани і	Зниження ризику

		ролики кожухами; заборонити очищення конвеєра під час руху; встановити локальну кнопку зупинки	захоплення одягу, пальців або інструменту
6	Небезпека пневмосистеми	Встановити редуктор тиску, запірний клапан, глушники на скидах повітря; перед ремонтом скидати тиск; фіксувати шланги	Запобігання раптовим рухам, удару шлангом і надмірному шуму
7	Електротравма	Застосувати захисне заземлення, автоматичні вимикачі, маркування кіл, закриті клеми; виконувати ремонт після зняття напруги	Зменшення ризику ураження струмом та пошкодження обладнання
8	Пожежа	Не перевантажувати електричні кола, очищувати шафу від пилу, контролювати нагрівання блоків живлення, мати справний вогнегасник і вільний доступ до вимикача живлення	Зменшення ймовірності займання та швидке реагування у разі задимлення
9	Помилки оператора	Створити зрозумілу індикацію режимів: Auto, Manual, Fault, Emergency Stop; провести навчання; розмістити коротку інструкцію біля пульта	Скорочення кількості неправильних дій під час запуску, зупинки та відновлення циклу
10	Налагодження та ремонт	Використовувати режим Teach/Manual зі зниженою швидкістю, утримувати кнопку дозволу руху, заборону автоматичного циклу при відкритій комірці	Безпечне виконання регулювань і пошуку несправностей
11	Шум та умови середовища	Встановити глушники пневмоскидів, підтримувати справне освітлення, прибирати проходи, не допускати слизької підлоги	Покращення умов праці та зменшення непрямих причин травмування
12	Повітряна тривога або відключення живлення	Розробити порядок безпечної зупинки, визначити маршрут до укриття, передбачити збереження поточного стану системи та контроль повторного запуску	Захист персоналу та недопущення небезпечного відновлення роботи після перерви

Після впровадження наведених заходів ризику, пов'язані з роботою маніпулятора, конвеєра та захоплювача, можуть бути зменшені до прийняттого рівня. При цьому потрібно враховувати, що ефективність захисної системи залежить не лише від наявності окремих пристроїв, а від їх правильної інтеграції в алгоритм керування. Наприклад, дверний вимикач повинен не

просто подавати сигнал на контролер, а гарантувати неможливість небезпечного руху при відкритому доступі. Аварійна кнопка має зупиняти рух у мінімально можливий безпечний час і не повинна сама відновлювати цикл після відпускання.

Для зниження ризиків під час налагодження рекомендовано передбачити окремий ручний режим, у якому рухи виконуються короткими командами, зі зниженою швидкістю та під постійним контролем наладчика. Усі переміщення в цьому режимі мають бути зрозуміло відображені на панелі оператора. Перед запуском автоматичного циклу система повинна перевіряти готовність датчиків, наявність деталі, положення робочих органів, закриття огорожень і відсутність активних аварій.

Важливо також передбачити порядок дій у нетипових ситуаціях: застрягання предмету, відсутність вакууму, обрив шланга, спрацювання аварійної кнопки, відключення живлення або повітряна тривога. У таких випадках персонал повинен мати просту послідовність дій: зупинити систему, перевести її у безпечний стан, прибрати причину несправності лише після зняття небезпечної енергії, перевірити готовність обладнання і тільки після цього відновити роботу.

Висновки до розділу 5

У розділі розглянуто питання охорони праці та безпеки життєдіяльності для випускної кваліфікаційної роботи бакалавра, присвяченої автоматичному керуванню роботизованою системою Pick and Place. Проаналізовано особливості об'єкта, визначено основні категорії персоналу, умови експлуатації та характерні небезпечні зони роботизованої комірки.

Встановлено, що найбільший рівень безпеки мають події, пов'язані з перебуванням людини у зоні руху робота, неочікуваним пуском системи, падінням деталі із захоплювача, відмовою захисних пристроїв, а також обслуговуванням електричної та пневматичної частини обладнання. Додатково

враховано пожежну небезпеку, шум, незручні умови робочої зони, помилки оператора та загрози надзвичайного характеру.

Для найбільш суттєвих небезпек виконано оцінювання ризику за матричним методом і побудовано спрощені дерева відмов. Найвищий пріоритет надано технічним засобам захисту: огороженню робочої зони, блокуванню дверей, аварійному зупиненню, контролю безпечних положень, перевірці захоплення деталі та безпечному режиму налагодження.

Запропоновані заходи дозволяють зменшити ймовірність травмування персоналу, підвищити надійність роботи роботизованої системи та забезпечити контрольований порядок дій під час аварійних ситуацій. Безпечна експлуатація системи Pick and Place повинна базуватися на поєднанні правильного технічного проектування, регулярної перевірки захисних пристроїв, якісного навчання персоналу та чітких інструкцій для оператора і наладчика.

ВИСНОВКИ

У роботі було розроблено систему автоматичного керування роботизованою системою Pick and Place, призначеною для транспортування коробок, подавання палет, захоплення коробок вакуумним пристроєм, їх переміщення порталним роботом і укладання на палету. Послідовно розглянуто технологічні, програмні, технічні та безпекові аспекти побудови такої автоматизованої ділянки.

У **першому розділі** виконано інформаційно-аналітичний огляд виробничих ліній транспортування та укладання коробок. Встановлено, що автоматизація таких процесів дозволяє підвищити продуктивність, забезпечити повторюваність операцій, зменшити фізичне навантаження на персонал і покращити якість укладання продукції на палети. Було проаналізовано взаємодію основних елементів системи: стрічкового конвеєра подачі коробок, роликового конвеєра подачі та відведення палет, трьохвісьового порталного робота і вакуумного захоплення.

Визначено, що технологічний процес Pick and Place є послідовним автоматизованим циклом, у якому кожна операція повинна виконуватися лише після підтвердження необхідних умов. Для стабільної роботи системи необхідно контролювати наявність коробки у зоні захоплення, наявність палети у зоні укладання, положення робота, стан вакуумного захоплення, кількість укладених коробок та готовність конвеєрів до наступної операції.

У **другому розділі** розроблено 3D-модель виробничого процесу складання та транспортування коробок у середовищі Factory I/O. Модель відображає роботу автоматизованої ділянки, яка включає роликовий конвеєр подачі порожніх палет, стрічковий конвеєр подачі коробок, вихідний роликовий конвеєр, трьохвісьовий робот-маніпулятор, вакуумний захват, датчики, панель оператора та елементи сигналізації. Створена сцена дозволяє перевірити взаємодію об'єктів і підготувати основу для налагодження алгоритмів керування без використання реального обладнання.

Під час моделювання було сформовано послідовність технологічного циклу: подавання палети, подавання коробки, зупинка об'єктів у робочих позиціях, захоплення коробки, її перенесення до палети, укладання, підрахунок коробок і відведення заповненої палети. Така модель є зручною для перевірки логіки роботи ПЛК, аналізу аварійних ситуацій, тестування блокувань і виявлення помилок ще на етапі проєктування.

У **третьому розділі** розроблено алгоритмічну та програмну основу системи керування. Було визначено послідовність роботи обладнання, сформовано алгоритм циклу Pick and Place, описано таблицю кроків і циклограму переміщення. Програмну логіку реалізовано мовою Function Block Diagram, що є наочною для побудови схем автоматичного керування та зручною для навчального моделювання.

Розроблена програма керування має модульну структуру. До її складу входять модулі запуску і зупинки, формування сигналів дозволу, керування в автоматичному режимі, індикації та сигналізації, локального і загального лічильників, автоматичного та ручного режимів роботи. Такий поділ спрощує аналіз програми, її налагодження, пошук помилок і подальшу модернізацію. Використання SoftPLC дозволило перевірити логіку керування за відсутності фізичного ПЛК і створити основу для подальшого перенесення програми на реальну апаратну платформу.

У **четвертому розділі** сформовано технічну структуру системи керування. Було визначено вимоги до автоматичного, ручного, аварійного режимів, режиму очікування та процедури налагодження після вмикання. Розроблено структуру комплексу технічних засобів, до складу якої входять інформаційний, керуючий, виконавчий, операторський та енергетичний рівні. Центральним пристроєм керування обрано програмований логічний контролер Schneider Electric Modicon TM200CE40T.

У роботі виконано паспортизацію основних технічних засобів системи: датчиків наявності та положення об'єктів, кінцевих вимикачів, проміжних

реле, блока живлення, кнопок керування та елементів індикації. Обґрунтовано використання джерела живлення 24 В, проміжних реле для узгодження виходів контролера з виконавчими пристроями та засобів світлової й звукової сигналізації для інформування оператора. Також розроблено схему електричних підключень ПЛК із визначенням основних вхідних і вихідних сигналів.

У **п'ятому розділі** розглянуто питання охорони праці та безпеки життєдіяльності під час експлуатації роботизованої системи Pick and Place. Визначено основні небезпеки, пов'язані з рухом робота, неочікуваним запуском, падінням коробки із захоплення, відмовою захисних пристроїв, обслуговуванням електричної і пневматичної частини, а також з помилками оператора. Для найбільш суттєвих небезпек запропоновано заходи зниження ризиків: огороження робочої зони, блокування доступу, аварійне зупинення, контроль безпечних положень, перевірка вакуумного захоплення та безпечний режим налагодження.

У результаті виконання пояснювальної записки було досягнуто поставленої мети – розроблено систему автоматичного керування роботизованою системою Pick and Place, яка забезпечує узгоджену роботу конвеєрів, портального робота, вакуумного захоплення, датчиків, ПЛК або SoftPLC та операторських засобів керування. Запропоновані алгоритмічні, програмні й технічні рішення дають змогу реалізувати повний цикл транспортування та укладання коробок на палету з урахуванням вимог надійності, безпеки та можливості подальшої модернізації.

Практичне значення отриманих результатів полягає у можливості використання розробленої 3D-моделі, алгоритмів і програмної логіки як віртуального навчального або проєктного стенду для вивчення принципів автоматичного керування роботизованими системами. Після уточнення параметрів конкретного обладнання та адаптації адрес вхідних і вихідних сигналів запропоновану програмну логіку можна перенести на реальний

програмований логічний контролер і використати як основу для практичної реалізації автоматизованої ділянки Pick and Place.

ПЕРЕЛІК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. KUKA. Pick-and-place robots set the pace. URL: <https://www.kuka.com/en-de/applications/handling-automation/pick-and-place-robots> (дата звернення: 03.06.2026).
2. Yaskawa. Pick & Place and Bin Picking with Motoman Robots. URL: https://yaskawa.it/Funzioni/pick-place_a10963 (дата звернення: 03.06.2026).
3. KAPELOU. Smart roller conveyors: efficient and modern warehouse automation. URL: <https://kapelou.com/en/blog/articles/roller-conveyor-in-the-warehouse> (дата звернення: 03.06.2026).
4. Yushin America. Cartesian Robots for Pick and Place: Complete Guide. URL: <https://www.yushinamerica.com/feeds/blog/cartesian-robot-pick-place> (дата звернення: 03.06.2026).
5. Wikimedia Commons. File: Carton Conveyor.jpg / TGW Mechanics GmbH. CC BY 3.0. URL: https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Carton_Conveyor.jpg (дата звернення: 03.06.2026).
6. Wikimedia Commons. File: Roller conveyor for totes and cartons.jpg / R. Galgan. CC BY-SA 3.0, GFDL. URL: https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Roller_conveyor_for_totes_and_cartons.jpg (дата звернення: 03.06.2026).
7. Wikimedia Commons. File: Cartesian coordinate robot Diagram.png / Israel adilman. CC BY 4.0. URL: https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Cartesian_coordinate_robot_Diagram.png (дата звернення: 03.06.2026).
8. AutoStore. Conveyor Systems: A Complete Guide. URL: <https://www.autostoresystem.com/insights/conveyor-systems-a-complete-guide> (дата звернення: 03.06.2026).

9. Mecalux. Carton and Box Conveyor Systems. URL: <https://www.mecalux.com/warehouse-automation/box-carton-conveyor> (дата звернення: 03.06.2026).

10. TSW. Roller conveyors and material handling systems. URL: <https://www.tsw.co.uk/> (дата звернення: 03.06.2026).

11. Wikimedia Commons. File: Robot worker.jpg. URL: https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Robot_worker.jpg (дата звернення: 03.06.2026).

12. Jiang P., Oaki J., Ishihara Y., Ooga J. Multiple-Object Grasping Using a Multiple-Suction-Cup Vacuum Gripper in Cluttered Scenes // Robotics. 2024. Vol. 13, No.6. Article 85. URL: <https://www.mdpi.com/2218-6581/13/6/85> (дата звернення: 03.06.2026).

13. Honeywell Intelligrated. Conveyor Systems - Optimized Case, Tote and Polybag Transport Solutions. Honeywell Automation, 2025. URL: <https://automation.honeywell.com/us/en/products/warehouse-automation/solutions-by-technology/conveyor-systems> (дата звернення: 08.06.2026).

14. Smartlog Group. Automatic conveyor systems for warehouse automation. Smartlog Technologies, September 5, 2024. URL: <https://smartlog-group.com/en/warehouse-automation/conveyor-systems/> (дата звернення: 08.06.2026).

15. International Electrotechnical Commission. IEC 61131-3:2013 – Programmable controllers – Part 3: Programming languages. IEC Webstore, 2013. URL: <https://webstore.iec.ch/en/publication/4552> (дата звернення: 12.06.2026).

16. Pratt G. L. PLC Programming: Overview of IEC 61131-3 in Industrial Automation Systems. Control Engineering Technical Articles, January 15, 2024. URL: <https://control.com/technical-articles/an-overview-of-iec-61131-3-Industrial-Automation-Systems/> (дата звернення: 12.06.2026).

17. Методичні вказівки до виконання розділу «Охорона праці» в дипломних роботах бакалаврів для студентів 4 курсу галузі знань 12

«Інформаційні технології» спеціальностей 122 «Комп'ютерні науки», 126 «Інформаційні системи та технології» та галузі знань 15 «Автоматизація та приладобудування» спеціальності 151 «Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології» / уклад. В.В. Малишева. – Харків: ХНУМГ імені О.М. Бекетова, 2025. – 14 с.

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

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

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

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

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

23. ISO 10218-1:2025. Robotics – Safety requirements – Part 1: Industrial robots. International Organization for Standardization. URL: <https://www.iso.org/standard/73933.html> (дата звернення: 16.06.2026).

24. ISO 10218-2:2025. Robotics – Safety requirements – Part 2: Industrial robot applications and robot cells. International Organization for Standardization. URL: <https://www.iso.org/standard/73934.html> (дата звернення: 16.06.2026).

25. ISO 12100:2010. Safety of machinery – General principles for design – Risk assessment and risk reduction. International Organization for Standardization. URL: <https://www.iso.org/standard/51528.html> (дата звернення: 16.06.2026).

26. ISO 13849-1:2023. Safety of machinery – Safety-related parts of control systems – Part 1: General principles for design. International Organization for Standardization. URL: <https://www.iso.org/standard/73481.html> (дата звернення: 16.06.2026).

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

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

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