

КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА

на здобуття освітнього ступеня

магістр

(назва освітнього ступеня)

на тему: Розроблення та дослідження автоматизованої системи складування посилок для поштового відділення

Виконав: студент

VI курсу, групи КТм-61

174 Автоматизація, комп'ютерно-інтегровані технології та

робототехніка

спеціальності

(шифр і назва спеціальності)

Смолій І.-М. С.

(підпис) (прізвище та ініціали)

Левицький В.В.

(підпис) (прізвище та ініціали)

Чихіра І.В.

(підпис) (прізвище та ініціали)

Голотенко О.С.

(підпис) (прізвище та ініціали)

Дмитрів О.Р.

(підпис) (прізвище та ініціали)

Керівник

Нормоконтроль

Завідувач кафедри

Рецензент

Міністерство освіти і науки України
Тернопільський національний технічний університет імені Івана Пулюя

Факультет Факультет прикладних інформаційних технологій та електроінженерії
(повна назва факультету)
Кафедра комп'ютерно-інтегрованих технологій
(повна назва кафедри)

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри

Голотенко О.С.
(підпис) (прізвище та ініціали)

« » 2025 р.

**ЗАВДАННЯ
НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ**

на здобуття освітнього ступеня Магістр
(назва освітнього ступеня)

за спеціальністю 174 Автоматизація, комп'ютерно-інтегровані технології та робототехніка
(шифр і назва спеціальності)

Студенту Смолю Івану-Мар'яну Степановичу
(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема роботи Розроблення та дослідження автоматизованої системи складування посилок для поштового відділення

Керівник роботи Левицький Віталій Васильович, канд. техн. наук, доцент кафедри КТ
(прізвище, ім'я, по батькові, науковий ступінь, вчене звання)

Затверджені наказом ректора від «12» листопада 2025 року № 4/7-962

2. Термін подання студентом завершеної роботи 23 грудня 2025р.

3. Вихідні дані до роботи Технічні вимоги щодо процесу екструзії

4. Зміст роботи (перелік питань, які потрібно розробити)

Вступ

Аналітична частина

Технологічна частина

Конструкторська частина

Науково-дослідна частина

Спеціальна частина

Охорона праці та безпека в надзвичайних ситуаціях

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

Титульний слайд

Актуальність роботи

Завдання роботи

Основна частина

Висновки

6. Консультанти розділів роботи

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	завдання прийняв
Охорона праці та	доц. Тотосько О.В.		
безпека в надзв. ситуаціях			

7. Дата видачі завдання 12 листопада 2025 року

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

[illegible]

Студент

(підпис)

Смолій І.-М. С.

(прізвище та ініціали)

Керівник роботи

(підпис)

Левицький В.В.

(прізвище та ініціали)

АНОТАЦІЯ

Кваліфікаційна робота магістра складається з пояснювальної записки та графічної частини (ілюстративний матеріал – слайди).

Об'єм графічної частини дипломної роботи становить _____.

Об'єм пояснювальної записки складає ____ друкованих сторінок формату А4.

В роботі використано ____ літературних джерел.

У роботі запропонована роботизована робоча комірка для автоматизації видалення повних контейнерів із сортувальної машини та поповнення порожніх контейнерів, в яких продукти будуть сортуватися в IxD. За допомогою підходу DMADV було виміряно поточну операційну область процесу. Серія контрольованих експериментів протестувала вплив автоматизації на затори процесу та їхні результати, а також методи зниження їхньої кількості. Концептуальні макети були розроблені на основі фізики робототехніки та операційного моделювання FlexSim. Тестова роботизована робоча комірка була розроблена для тестування таких функціональних можливостей, як виявлення та вирішення проблем з контейнерами, з метою зменшення ризиків та остаточного підтвердження кількох функціональних можливостей на підтримку повного впровадження.

Запропоноване рішення являє собою робота на рейках з одним кінцевим виконавчим механізмом та системою машинного зору COGNEX для перевірки переповнених контейнерів. У разі позитивного результату контейнери будуть направлені на струшувальний конвеєр, який, як було показано, виправляє 77% переповнених контейнерів. Зрештою, для усунення пограничних випадків все одно знадобиться втручання для вирішення проблем.

Ключові слова: КОНТРОЛЕР, ПОСИЛКА, ПАКУВАННЯ, КЕРУВАННЯ, ОПТИМІЗАЦІЯ.

ЗМІСТ

ВСТУП	5
1. АНАЛІТИЧНА ЧАСТИНА	6
1.1 Тенденції розвитку автоматизації	6
1.2 Автоматизація складів на Amazon.com.....	9
1.3 Ланцюги вхідних поставок Amazon	10
2 ТЕХНОЛОГІЧНА ЧАСТИНА	22
2.1 Роботизований палетизатор.....	22
2.2 Проектування робочих клітин для робототехніки.....	23
2.3 Розробки в 3D Vision	27
3 КОСТРУКТОРСЬКА ЧАСТИНА	32
3.1 Розгортання робототехніки	32
3.2 Продуктивність взаємодії людини та робота.....	35
4 НАУКОВО-ДОСЛІДНА ЧАСТИНА	39
4.1 Аналіз збоїв машин UIS.....	39
4.2 Вимірювання.....	42
4.3 Аналіз	48
5 СПЕЦІАЛЬНА ЧАСТИНА	54
5.1 Моделювання процесів FlexSim	54
6 ОХОРОНА ПРАЦІ ТА БЕЗПЕКА В НАДЗВИЧАЙНИХ СИТУАЦІЯХ...	62
6.1 Вимоги охорони праці під час роботи з електроустаткуванням.....	62
6.2 Вимоги безпеки під час виконання робіт	67

6.3 Вимоги безпеки після закінчення робіт з ремонту та обслуговування електроустаткування	69
6.4 Розрахунок захисного заземлення	71
ВИСНОВКИ.....	77
ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ	78

ВСТУП

Розробка системи інтеграції роботів, має вирішальне значення для компаній, які використовують складське зберігання як один з важливих інструментів. Канал роздрібної торгівлі електронною комерцією зростає зі середньорічним темпом зростання 15% у світовому масштабі. Це мало подвійний ефект: перетворило складське зберігання, колись часто забутий інструмент, на осередок інновацій та ключовий фактор диференціації на ринку, оскільки компанії усвідомлюють його потенціал щодо економії коштів та обслуговування клієнтів. Сьогодні, з розвитком можливостей прямих продажів споживачам, компанії відчувають тиск щодо задоволення потреб клієнтів електронної комерції. Виникають три основні проблеми: більша варіативність, швидші темпи та складніші комбінації менших упаковок. Компанії повинні подвоїти цю можливість, щоб покращити рух товарів від ланцюга поставок до клієнта – автоматизація стає явним кандидатом для досягнення цієї мети. Станом на 2016 рік 10% складів у США мають певний вид автоматизації, а 40 000 промислових роботів (визначених як автоматизовані, програмовані, багатоосьові роботизовані системи) працюють на складах по всій території Сполучених Штатів. Однак вважається, що ця кількість зросте до 620 000 роботів до 2027 року лише на складських приміщеннях.

1. АНАЛІТИЧНА ЧАСТИНА

1.1 Тенденції розвитку автоматизації

Основними рушійними силами тенденцій автоматизації було ширше впровадження електронної комерції, що призвело до вищих очікувань кінцевих клієнтів (що отримало назву «ефект Amazon»), більш частих і складних замовлень, збільшення вартості робочої сили та землі, збільшення кількості обробки винятків та зниження вартості автоматизованих рішень порівняно з витратами на робочу силу. На рис. 1.1 показано зростання зайнятості та кількості складських приміщень у США з 2008 по 2018 рік. Ключовим висновком з аналізу, проведеного Бюро статистики праці США, є те, що з 2016 року високий попит на робочу силу призвів до зростання заробітної плати на 16%, причому 41% керівників складів повідомляють про «нездатність залучати та утримувати якісну/погодинну робочу силу». Крім того, середній розмір складу в США значно зріс, а ставки оренди зросли на 28% між 2011 і 2015 роками, що зробило вартість землі непомірними витратами для компаній, оскільки рівень вакансій у США впав до 5,3% [1-4].

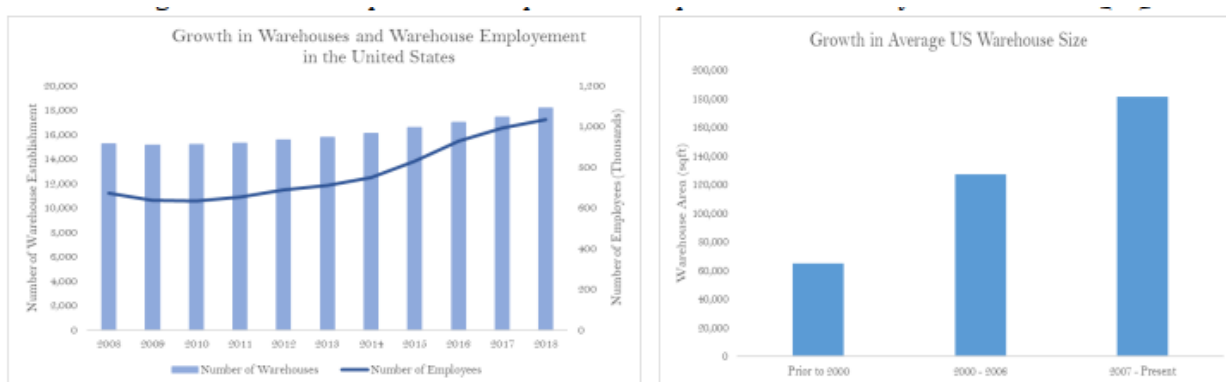


Рисунок 1.1 - Зростання кількості складських приміщень та зайнятості в США (ліворуч) та зростання середнього розміру складів у США (праворуч)

Ситуацію ще більше ускладнює те, що середня кількість товарних позицій на складах зросла на 18%. Міжнародна федерація робототехніки вважає, що витрати на автоматизацію складського господарства зростуть з 1,9 млрд доларів у 2016 році до 22,4 млрд доларів у 2021 році. Нарешті, до 2015 року ціни на промислових роботів становили 20% від тих, що були в 1993 році, якщо врахувати зростання цін та апаратного забезпечення [5-12].

Автоматизацію складів можна розділити на чотири типи: низький рівень автоматизації, системна автоматизація, механізована автоматизація та складна автоматизація. Низький рівень автоматизації описує рудиментарні системи обліку запасів, тоді як системна автоматизація описує системи управління складом (WMS), які зберігають та спрямовують інформацію про переміщення товарів, таку як система Pick-to-Light. Механізована автоматизація охоплює рішення для переміщення товарів, такі як транспортні засоби та системи AS/RS, тоді як складна автоматизація включає автоматизовані сортувальники (UIS), AGV, роботизовані системи комплектування (AR) та автоматизовані палетайзери. Автоматизація відіграє важливу роль в економічному зростанні. Грейтц і Майкл підрахували, що автоматизація збільшила ВВП США та продуктивність праці на 0,37 та 0,36 пункту відповідно та сприяло 15% зростанню ВВП між 1993 та 2007 роками [12].

Центр економічних та бізнес-досліджень стверджує, що збільшення щільності роботів на одну одиницю (визначеної як кількість роботів на мільйон відпрацьованих годин) підвищує продуктивність на 0,04%. Крім того, існує сильний зв'язок між автоматизацією, продуктивністю, конкурентоспроможністю та значним зростанням попиту, що збільшує зайнятість [13]. На рис. 1.2 підсумовано поточну щільність роботів за країнами разом зі зростанням світових продажів промислових роботів.

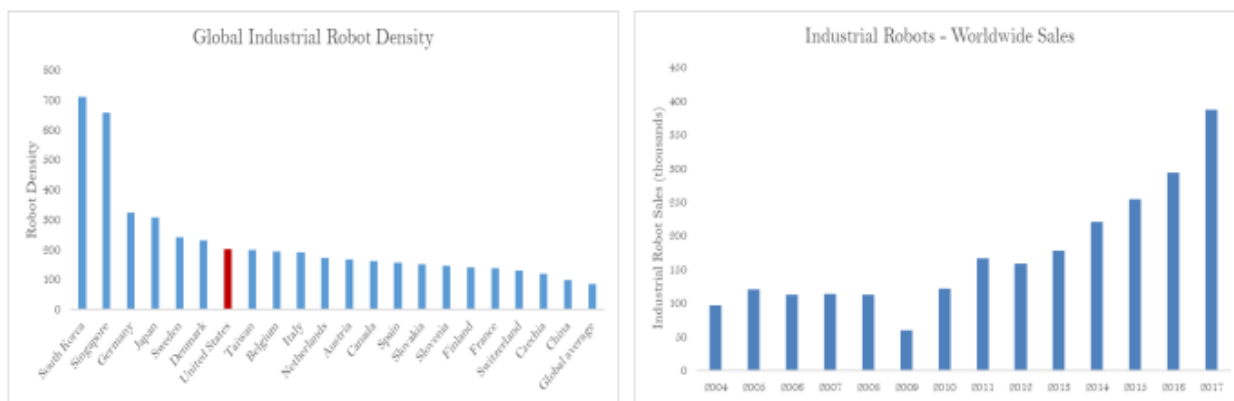


Рисунок 1.2 - Глобальна щільність промислових роботів з виділенням США (ліворуч) та глобальне зростання продажів промислових роботів (праворуч)

Дослідження також показали, що країни, які інвестували більше в робототехніку, втрачали менше робочих місць, ніж ті, хто цього не робив [14], а Бюро статистики праці США показало, що широка інтеграція робототехніки в автомобільну, електронну та металообробну промисловість призвела до підвищення заробітної плати, збільшення кількості інженерів-механіків та промислових інженерів на 20%, а також до вдвічі більшої кількості працівників технічного обслуговування та ремонту [11]. Грейтц та Майкл продемонстрували, що роботи збільшили заробітну плату без значного впливу на загальну кількість відпрацьованих годин або кількість робочих місць [12]. Крім того, такі країни, як Південна Корея, Сінгапур та Німеччина, які мають найвищу щільність роботів, також, як правило, мають низький рівень безробіття. Залишаються відкритими дебати щодо зв'язку між цими двома змінними. Можливо, низький рівень безробіття штовхає компанії до автоматизації, або, як показують інші дослідження, оскільки ці економіки є більш конкурентоспроможними, вони демонструють високий рівень автоматизації [13]. Хоча ця дискусія виходить за рамки цього дослідження, слід зазначити, що McKinsey прогнозує, що 57% складської діяльності готові до автоматизації [15].

1.2 Автоматизація складів на Amazon.com

Ефект Amazon – це визнання ранньої та постійної ролі Amazon у революційному функціонуванні роздрібних ринків завдяки ключовим інноваціям у мережі ланцюгів поставок для обслуговування своїх клієнтів. Компанія стала каталізатором інновацій в автоматизації ланцюгів поставок, і завдяки своєму швидкому зростанню інші компанії почали розуміти ключову роль, яку відіграють надійні мережі ланцюгів поставок у їхньому успіху. Це також визнання зростаючої планки, якої очікують клієнти. Опитування Statista, проведене у 2017 році, показало, що 59% респондентів у США періодично користуються послугами Amazon. Крім того, 65% респондентів вказали, що «нижчі ціни» були основною причиною покупок на Amazon.com, тоді як 56% респондентів вказали, що «безкоштовна доставка» була основною причиною. Ще для 27% покупців «швидка доставка» була причиною номер один для покупок на Amazon.com.

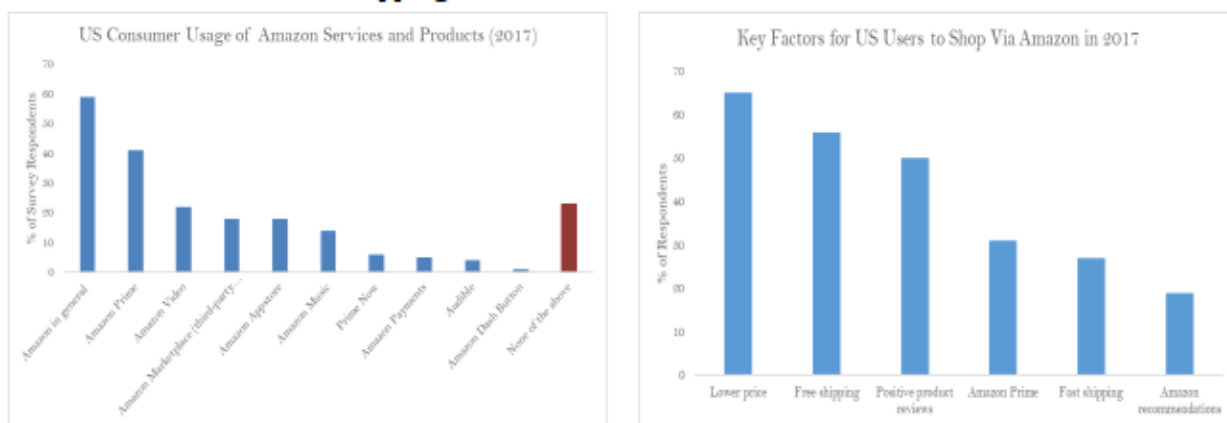


Рис. 1.3 - Використання послуг та продуктів Amazon споживачами в США (ліворуч) та ключові фактори, що впливають на покупців у США на Amazon (праворуч).

Уподобання клієнтів, такі як вартість і час, визначають операційні рішення, які приймає Amazon, прагнучи стати найбільш клієнтоорієнтованою компанією у світі. Тому вартість і час, разом із безпекою та якістю, є ключовими показниками в більшості проектів з покращення в Amazon. Однак, фінансовий показник, за яким вимірюються проекти з покращення процесів, незважаючи на якість та безпеку – це зниження змінних витрат на одиницю продукції (VCPU). Це лише один із елементів проекту:

$$VCPU = \frac{\sum Labour\ hours}{\sum Unit\ Count} * Wage\ Rate \quad (1.1)$$

VCPU розраховується шляхом ділення загальної кількості робочих годин, необхідних для завершення певного процесу, на кількість одиниць продукції, оброблених протягом певної одиниці часу, помножене на ставку заробітної плати погодинних працівників. Цей показник можна використовувати для визначення покращення або збільшення VCPU внаслідок зміни або редизайну процесу. VCPU слугував основним показником для бізнес-аналізу в цій дисертації. Зменшуючи цей показник, Amazon може зменшити загальні витрати для клієнта.

1.3 Ланцюги вхідних поставок Amazon

Вхідні крос-докові операції

IXD – це ініціатива, спрямована на мінімізацію транспортних витрат та витрат на робочу силу як для вхідних, так і для інших служб та вихідні операції шляхом застосування архітектури розподілу типу «хаб і спиці» до мережі виконання замовлень Amazon. Завдяки маршрутизації вхідних замовлень через невелику кількість вузлів IXD, вантажоперевезення

консолідуються, а економія масштабу використовується для отримання великих обсягів, сортування та перевезення вторинним етапом.

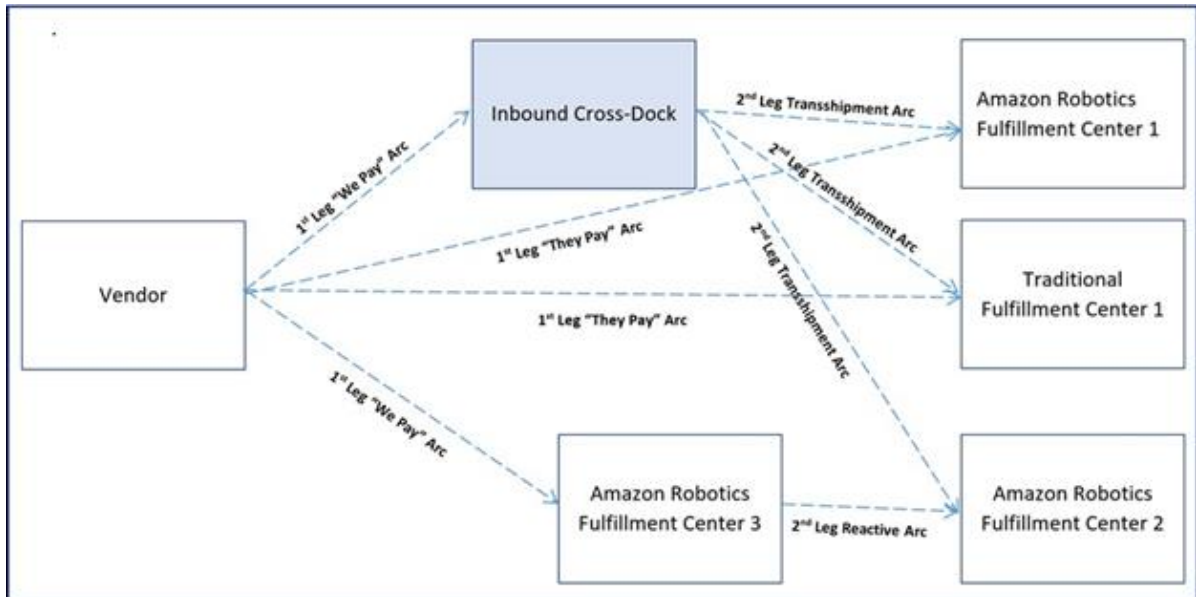


Рисунок 1.4 - Процес вхідного відвантаження Amazon.

Використовуючи IXD як проміжний крок, усі замовлення від постачальника можна об'єднати в щільніші методи доставки та відсортувати до різних пунктів призначення всередині вузла IXD. Кожен об'єм FC призначення можна об'єднати в щільно упаковані перевантажувальні вантажівки, що складаються з одиниць від кількох постачальників. Масштаб обсягу, що проходить через систему, дозволяє компанії обслуговувати численні центри зберігання (FC) з одного вузла IXD, прагнучи підтримувати високу щільність вантажівок, збільшуючи кількість одиниць, що відправляються всередині кожної вантажівки. IXD зменшують витрати на FC, вилучаючи операції з отримання з FC, щоб останні могли використовувати це збільшення ефективної ємності для збільшення місткості зберігання (їхня головна мета). Крім того, IXD відіграють центральну роль у виявленні та зменшенні дефектів, оскільки процес побудований для їх виявлення. Замість виправлення дефектів на кожному FC, процес IXD може вирішувати проблеми з кількістю, якістю або дефектами продукції на початку процесу.

Провідною темою всіх процесів ланцюга поставок Amazon є те, що продукти повинні переміщуватися ефективно, а інформація про переміщення має бути точно записана. Тільки за умови забезпечення цих двох умов Amazon може вчасно та в рамках своєї вартості постачати продукцію клієнту з обіцяною якістю. Amazon обробляє два типи продуктів: роздрібну торгівлю та виконання замовлень Amazon (FBA). Для роздрібної торгівлі виклик починається з постачальника, який відправляє заздалегідь визначену кількість продукту, замовленого Amazon, або до центру IxD, або безпосередньо до центру виконання замовлень. Для FBA підприємства або окремі продавці сплачують комісію за продаж продуктів безпосередньо через Amazon. Ці продавці використовують потужності для виконання замовлень та простір на веб-сайті для продажу через платформу електронної комерції. Як і постачальники, користувачі FBA надсилають свої продукти через мережу, деякі з яких проходять через IxD, а деякі безпосередньо до центрів виконання замовлень, це називається 1-м етапом. На рис. 10 показано схему процесу, адаптовану з [4].

Для постачальників існує два варіанти оплати. Метод «ми платимо» (Amazon платить) дозволяє постачальникам використовувати логістичну інфраструктуру Amazon, надсилаючи замовлення до найближчого фінансового центру (FC) або IxD від постачальника. Amazon консолідує та розподіляє відвантаження по всій своїй мережі, використовуючи ефект масштабу, щоб гарантувати нижчу вартість доставки, ніж та, що була б можливою для постачальника, якби він здійснював доставку до кожного фінансового центру. Другий метод, «вони платять», передбачає, що постачальники обирають бажані способи доставки та місця розміщення, несучи при цьому всі логістичні витрати. Розміщення запасів керується складною системою управління складом (WMS), яка визначає маршрутизацію.

Процес крос-докінгу складається з трьох основних кроків, загальною метою яких є отримання продукції та її переміщення до кінцевого місця зберігання, а також поєднання невеликих посилок та відвантажень невеликих обсягів вантажівки для створення більш ефективних вантажних завантажень, що прямують до FC [4].

Отримання

Після отримання вантажу на доці IxD, піддони знімаються з вантажівки, розділяються на частини та відправляються на подальші процеси. Товари можуть отримуватися або в жовтих сумках, або в ящиках, залежно від того, чи надійшли вони з іншого IxD (сумки), або від постачальника (ящики). Продукти можуть отримуватися трьома основними способами: процес отримання кожного товару, процес отримання піддону або номерний знак (LP). Метод отримання кожного товару – це ручний процес отримання, в якому співробітники відкривають ящики для сканування кожного товару. Після цього процесу товар може бути повернутий у ящику або поміщений у жовтий ящик. Процес отримання піддону – це ще один ручний процес отримання, в якому співробітники отримують піддон з одним ASIN, перевіряючи маніфест для піддону. У цьому процесі товари ще не розділені. Нарешті, процес LP – це автоматичний процес отримання, в якому вантаж отримується за допомогою автоматизованого сканування штрих-коду за допомогою блоку ідентифікації посилки (PID). Потім інформація триангулюється з вимірюваннями ваги та розміру піддону. Цей процес використовується з перевіреними постачальниками для підвищення ефективності отримання товарів.



Рисунок 1.5 - (ліворуч) Пластикова жовта сумка зі стандартними розмірами (ВхДхШ) (10,63 дюйма х 23,31 дюйма х 15,71 дюйма). Жовта сумка має дві ручки з ідентифікаційними штрих-кодами та два положення для штабелювання (повні сумки або вкладені порожні сумки). (праворуч) Картонна коробка, що надходить від постачальника, з одним типом ASIN або кількома ASIN в одній коробці.

Сортування

Після того, як товар отримано одним із трьох методів (кожне отримання, отримання палети або номерний знак), служба переміщення запасів (ITS), алгоритм оптимізації мережі, визначає його маршрутизацію та кінцеве місцезнаходження. Процес сортування має два різних режими: сортування за кожним ящиком або сортування за ящиком. У кожному сортуванні система визначає наступне місцезнаходження товарів. Головним рішенням на цьому етапі є те, чи буде кожен товар відсортовано за кількома контейнерами, які будуть направлені до кількох FC/IXD. Сортуючи товари за кількома контейнерами, кожен з яких має різне місце призначення, Amazon може краще розміщувати товари по всій своїй мережі, щоб мінімізувати час виконання та вартість вихідної доставки після того, як клієнти замовляють їх на веб-сайті. Маючи можливість дводенної безкоштовної доставки від Meet Prime залежить від оптимізації розміщення цих продуктів. Наприклад, кілька

примірників книг можуть бути спрямовані в сумки, причому кожна сумка буде доставлена до FC або IXD іншого регіону.

У сортуванні за випадками критерієм прийняття рішення є те, чи розбивати продукт на окремі випадки. Рішення враховує рівень запасів у місці призначення, а також швидкість товару, тобто те, як швидко він купується та повинен пройти через процес. Товар з низькою швидкістю зазвичай має нижчий поріг запасів, тоді як товар з високою швидкістю може вимагати вищих інвентарних номерів для задоволення попиту. Хоча це пояснення є надмірним спрощенням, і власницькі деталі були опущені, алгоритм ITS визначає, чи є сортування необхідним процесом для кожного отриманого продукту. Станом на жовтень 2017 року універсальні сортувальники товарів були розгорнуті у вибраних IXD для виконання процесу сортування та заміни традиційно трудомісткого завдання, яке виконувалося вручну. Завершення процесу сортування завершує вхідну частину карти потоку створення цінності IXD.

Палетування та доставка

Вихідна частина починається з надходження ящиків та контейнерів до сортувальника суден, процесу, під час якого ящики та контейнери направляються до певних виробничих ліній у вихідному режимі, що відповідають цільовим пунктам призначення FC/IXD. На цьому етапі сортувальник суден також визначає, чи буде ящик або контейнер палетовано чи завантажено з підлоги до пункту призначення FC. Для палетування ящик або контейнер сканується на палету, а співробітник складає контейнер на цільовий палет. Після заповнення палет обгортається термоусадочною плівкою, переміщується в буферну зону і, коли він готовий до завантаження, перевантажується виловним навантажувачем у вантажівку. Для завантаження

з підлоги ящик або контейнер сканується безпосередньо на причіп вантажівки та штабелюється в цей причіп співробітником.

IXD Автоматизація

Місія команди з передових технологій (АТ) полягає у винаході, розробці та впровадженні технологій з використанням передової мехатроніки та робототехнічних систем, спрямованих на підвищення безпеки та ефективності співробітників, зниження витрат та підвищення якості процесів. Існує два загальних бачення майбутнього виконання замовлень: короткостроковий високоавтоматизований центр виконання замовлень (НАFC) та довгостроковий повністю автоматизований центр виконання замовлень (FAFC). Для IXD акронімами стають НАIXD та FAIXD.

Ініціатива НАFC визначається як центр виконання замовлень, в якому автоматизація призводить до рівня трудомісткості, еквівалентного 40% центру виконання замовлень з AR-сортуванням. Співробітники будуть задіяні в решті складних для автоматизації процесів та для обробки винятків. У FАFC 100% ASIN обробляються без втручання людини. Команда АТ включає кілька груп, які зосереджені на забезпеченні робочих потоків: сортування, зберігання, пакування, промислова робототехніка тощо. Для цілей цієї дисертації будуть пояснені два види автоматизації - це універсальний сортувальник товарів (UIS) та роботизований палетизатор, оскільки вони є суміжними з цією автоматизацією.

Універсальний сортувальник предметів

Процес сортування товарів складається з двох основних програм: UIS, модифікованого звичайного сортувальника пошти, який був значно доопрацьований для сортування товарів електронної комерції, та лінійного

сортувальника товарів (LIS), який являє собою систему сортування з перехресним стрічковим механізмом, призначену для отримання товарів та сортування до контейнерів призначення для перевантаження.

Індукція. Контейнери та ящики направляються із зони прийому IXD до UIS під час транспортування. Ці контейнери містять предмети, які ще потребують сортування. Контейнер направляє контейнери або ящики до вхідної конвеєрної стрічки UIS. Співробітник, якого часто називають індуктором, розміщує контейнер на платформі, вибирає один предмет за раз і поміщає його на конвеєр. Конвеєр переміщує предмет через шестисторонній сканер штрих-кодів. Після сканування штрих-коду WMS визначає дугу призначення (кінцевий пункт призначення) та відповідний контейнер, в якому буде спрямовано предмет. Контейнер направляє предмет на човник – рухомий робот з конвеєром, роль якого полягає в переміщенні предмета від точки індукції до його кінцевого контейнера.

Вагонетка. Вагонетка рухається по рейках і слідує заздалегідь визначеним шляхом до кінцевого контейнера. Вона рухається у двох вимірах: вертикально (вгору/вниз) або вбік (вліво/вправо), підбирає товар і опускає його в кінцевий контейнер. Конвеєрна стрічка переміщує товар на центр платформи, а також доставляє його в кінцевий контейнер. Давачі на вагонетці використовуються для визначення того, чи товар успішно забрано чи доставлено.

Сумка призначення. Транспортування переміщує товар на човники – швидкохідні платформи, які направляють його всередині машини до контейнера призначення. Система управління складом (WMS) призначає дугу призначення після того, як об'єм і вага товару зчитуються з каталогу ASIN.

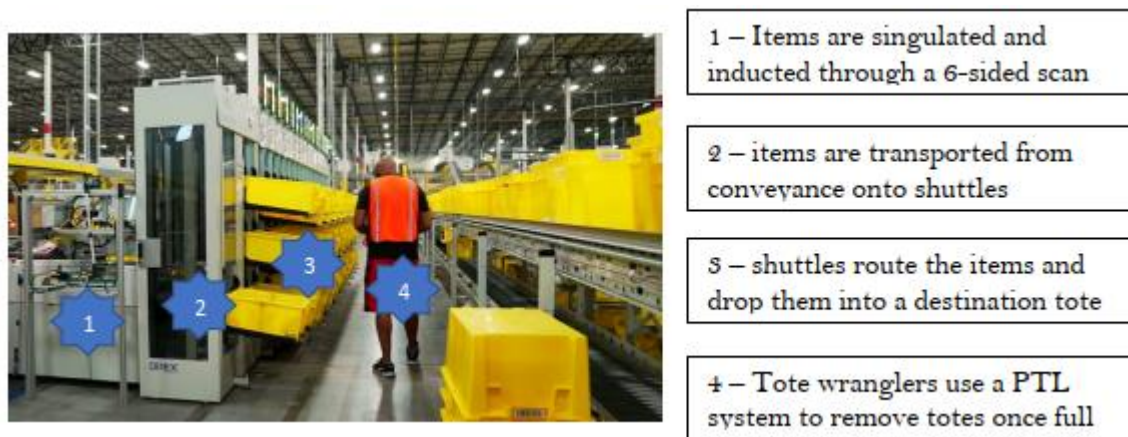


Рисунок 1.6 - Універсальна сортувальна машина для предметів під час роботи в IxD

UIS намагається відсортувати товар у контейнер з доступним дуговим призначенням, за умови, що об'єм або вага в цьому контейнері не перевищують встановлені програмно-технічні пороги, які можна регулювати. У такому випадку машина UIS відкриє новий пункт призначення контейнера, що відповідає дуговому перевантаженню. Після закриття контейнера, досягнувши свого об'ємного або вагового порогу, система комплектування для швидкого відбору попереджає працівника про необхідність замінити контейнер.

Система ПТЛ. Система Pick-To-Light використовується для повідомлення про стан машини спеціалісту з розв'язання проблем або фахівцю з їх вирішення. Існує кілька налаштувань індикатора, проте три найважливіші: зелений, синій та помаранчевий. Коли індикатор PTL зелений, це означає, що робота наразі нормальна, і машина працює безперебійно. Щойно система управління складом (WMS) визначає, що контейнер заповнений, зелений індикатор замінює миготливий синє світло, сповіщаючи спеціаліста про те, що контейнер готовий до виймання зі свого гнізда та заміни на порожній. Постійне помаранчеве світло сповіщає спеціаліста про помилку або заклинювання, які має усунути спеціаліст з розв'язання проблем

або фахівець з розв'язання проблем. Миготливий помаранчевий індикатор використовується, коли контейнер необхідно замінити через проблеми з інвентарем, наприклад, порожній контейнер було відскановано в автомат, проте фактично до нього прикріплено товар. Система відхиляє контейнер і повідомляє спеціаліста з розв'язання проблем або фахівця з розв'язання проблем про необхідність замінити «брудний» контейнер. Вони замінюють сумку іншою порожньою сумкою та передають «брудну» сумку спеціалісту з вирішення проблем, щоб той вирішив проблему з розподілом запасів.

Макети UIS. Для розгортання UIS будуть використовуватися дві різні схеми розміщення: Brownfield та Greenfield. Brownfield стосується існуючих IXD, які були модернізовані односторонніми 5-фунтовими машинами UIS, розташованими послідовно. Друга схема, для новіших Greenfield IXD, складається з односторонніх 5-фунтових машин UIS, розташованих паралельно з кількома машинами в ряд. Машина UIS має 45 контейнерів плюс додаткові 4 контейнери для вирішення проблем. Важливо не лише, щоб рішення, розроблене в цій дисертації, враховувало двосторонні машини, оскільки є плани модернізувати ці машини контейнерами з обох боків, але також буде критично важливо, щоб рішення враховувало обидва варіанти машин (5-фунтову та нову машину 20-фунтову). У розділі 4 буде заглиблено розглянуто робочий діапазон машини UIS, а також будуть описані режими відмов машини.

Агент з питань перевезення сумок

Для роботи типового автомата IXD UIS потрібні три співробітники: індуктор, спеціаліст з розв'язання проблем та спеціаліст з обробки контейнерів. У польових умовах спеціалісти з обробки контейнерів можуть бути спільними для кількох машин, проте для кожної машини потрібен один спеціалізований індуктор та спеціаліст з обробки контейнерів. Завдання

спеціаліста з обробки контейнерів можна розділити на основні та другорядні. Основні завдання полягають у видаленні повних контейнерів з автомата UIS, розміщенні повних контейнерів на вихідному транспортному засобі, вилученні порожнього контейнера з вхідного транспортного засобу та вставці порожніх контейнерів у автомат UIS. Дослідження часу, проведене на IXD, показало, що час процесу видалення та заміни контейнерів наближається до нормального розподілу із середнім значенням 13,5 секунди та стандартним відхиленням 1,5 секунди. Перетасування товарів у контейнерах, складність сканування штрих-кодів та швидкість співробітників пояснюють цю варіацію. При середній швидкості закриття контейнерів 1,4 контейнера за хвилину, основні завдання становлять 27,5% часу процесу, розрахованого за допомогою моделі теорії черг (див. розділ 4). Решту часу працівник з обробки сумок витрачає на коригування предметів, закинутих у сумки, щоб покращити щільність розміщення. Часто недооцінена частина їхньої роботи полягає у виправленні застрягань у сортувальнику, перетасовуванні предметів у сумках для збільшення щільності та перетасовуванні виступаючих предметів, щоб уникнути переповнення сумок. Управитель сумок також вручну доставляє вибрані предмети, тобто предмети, які не мають сумки призначення та направляються до сумки для вирішення проблем, у відповідні сумки призначення.

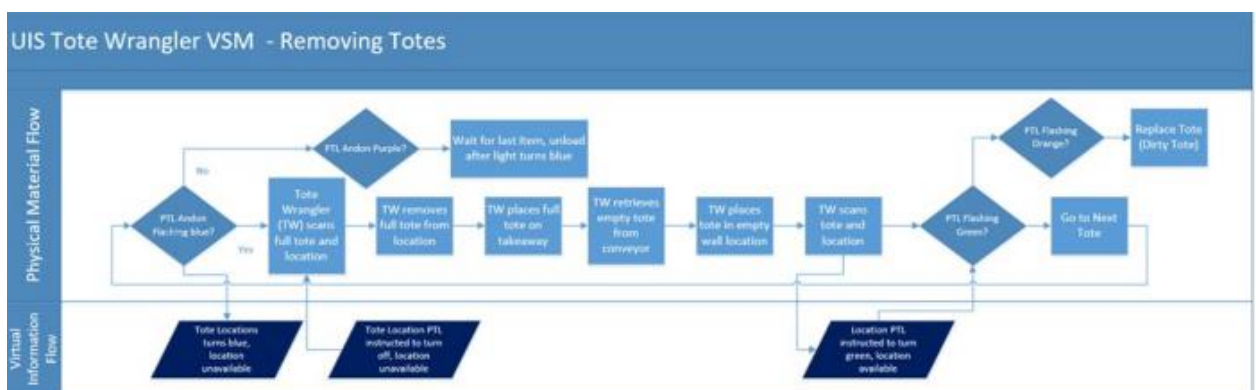


Рисунок 1.7 - Карта потоку створення цінності UIS Tote Wrangler

Ці проблеми спричинені поєднанням складності апаратного забезпечення сортувальника, відсутності алгоритмічного розуміння об'ємного пакування (важкорозв'язна фізична проблема) та великої різноманітності форм, що обробляються сортувальною машиною. Тому, щоб автоматизація була успішною, необхідно відповісти на три питання: які проблеми (тип, частота, тривалість) виникають під час нормальної роботи сортувальної машини? Як ми можемо виявити та усунути ці проблеми за допомогою автоматизації? На якому етапі процесу було б найкраще (вартість, надійність, пропускна здатність) вирішити ці проблеми? Розділ 4 буде присвячений цим питанням. Для цілей цієї дисертації саме це ручне завдання автоматизується.

Після того, як контейнер знято зі стінки UIS (розмовна назва його слота на машині UIS), працівник з обробки контейнерів розміщує його на вихідному транспортері, який направляє його до палетизатора.

2 ТЕХНОЛОГІЧНА ЧАСТИНА

2.1 Роботизований палетизатор

Роботизований палетизатор – це шестиосьовий промисловий робот, запрограмований для фізичного палетування контейнерів. Роботизована робоча комірка встановлена в кінці конвеєрної лінії перевантаження та автоматично формує піддони, які потім упаковуються та завантажуються у вантажівки для другого етапу перевантаження. Після того, як контейнер поміщається на транспортний засіб транспортером контейнерів, він направляється до відповідної вихідної смуги. Контейнер потрапляє в роботизовану робочу комірку та досягає місця вхідного комплектування. Ідентифікатор контейнера сканується фотоекраном, і робот надсилає повідомлення до системи управління складом (WMS) із запитом на кінцеве місце призначення для контейнера. Після того, як WMS підтверджує місце призначення, робот забирає контейнер, переміщує його над запрограмованим піддоном та складає контейнер на піддон. Під час роботи робот веде віртуальний підрахунок кількості контейнерів, розміщених на піддонах, і використовує цей підрахунок для визначення наступного місця розташування контейнера. Після того, як піддон заповнений і його видалено з місця розташування, датчики на роботу скидають місце розташування піддона до нуля та реєструють додавання нового порожнього піддона.

Найважливішим аспектом цього процесу для цілей цієї дисертації є те, що для того, щоб контейнери були штабеліровані, жодні предмети не повинні виступати за лінію штабелювання, чотири краї, на яких штабелюється наступний контейнер, розташовані на відстані 0,75 дюйма від верху контейнера (рис. 2.1). Тому, як тільки вхідний контейнер вважається «надмірно габаритним» за допомогою контрольної планки, розміщеної на його шляху, контейнер переміщується в буферну зону контейнерів.

Працівник переставляє предмети всередині контейнера або розділяє їх на новий контейнер, щоб його можна було штабелювати на піддон.

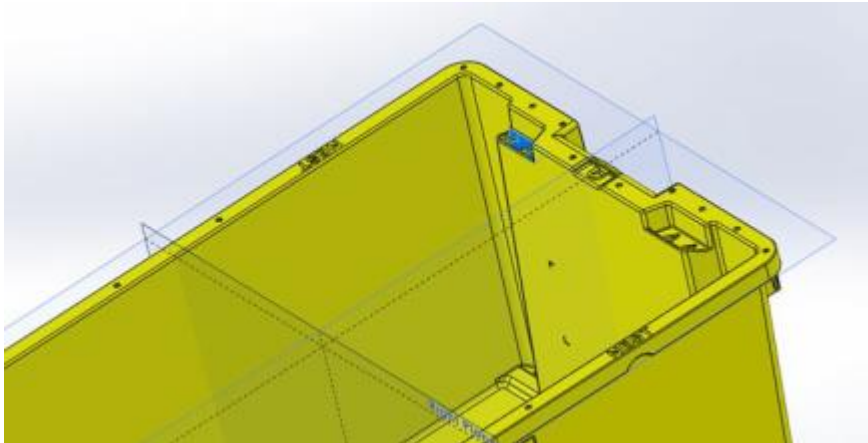


Рисунок 2.1 - Конструкція сумки в програмі САПР, що демонструє (синім кольором) опору, на якій лежить наступна сумка

Протягом усього процесу сортування та палетування контейнерів було впроваджено численні системи машинного зору, сканери, фотоогляди та інші методи редизайну процесів для забезпечення якості та продуктивності процесу. Однак існують граничні випадки, і в цих випадках співробітники є основною лінією захисту, яка забезпечує вирішення проблем та обробку винятків. При автоматизації сортування контейнерів необхідно контролювати варіації вхідних даних, тоді як здатність співробітників до візуальної обробки та розпізнавання образів повинні бути певним чином відтворені або розроблені автоматизованою системою для забезпечення безперебійності та продуктивності процесу.

2.2 Проектування робочих клітин для робототехніки

Моделювання та симуляція.

Моделювання можна визначити як набір числових експериментів на динамічних моделях, що описують існуючі або плановані системи, з метою

дослідження поведінки досліджуваної системи з часом [16]. Моделювання дозволяє вносити покращення та ітерації до конструкції в автономному режимі, тим самим сприяючи підвищенню ефективності та результативності роботизованої системи [17]. На основі набору математичних даних, агент-проектувальник може покращити продуктивність за набором обраних критеріїв, аналізуючи результати моделювання. Процес моделювання RWC можна розглядати як процес мехатронного проектування, який включає кінематичне моделювання, динамічне моделювання та мехатронну функцію [18]. Для цілей цієї роботи будуть розроблені лише перші два. Перше - це фізичне моделювання для визначення досяжності робота, шляху та фактичного часу циклу. Друге моделювання - це моделювання процесу для визначення того, чи здатна автоматизована система обробки контейнерів обслуговувати одну або кілька машин UIS з різними коефіцієнтами швидкості. У той час як попереднє моделювання стосувалося фізики роботів, це моделювання має на меті відтворити машину UIS, використовуючи експлуатаційні дані для розуміння можливостей процесу, використання робота та черги контейнерів.

П'ять етапів є критично важливими в процесі моделювання та симуляції [16]: моделювання роботизованих компонентів робочої комірки, розташування компонентів у робочій комірці, визначення кінематики машин та пристроїв, визначення шляхів руху робота, а також тестування та перевірка створеної моделі. Розробляючи програмну версію системи, агент-проектувальник досягає високого рівня гнучкості, автоматизації та реконфігурації [18]. Наразі більшість виробників роботів, таких як KUKA, FANUC, ABB та COMAU, пропонують віртуальне програмне забезпечення для програмування роботів, запуску повних симуляцій та розробки реалістичних робочих циклів для визначення розмірів, компонентів, програмування та обмежень конструкції.

Для збору даних та побудови симуляцій було використано модель, розроблену Gwiazda та додатково вдосконалену Sekala для моделювання роботизованих виробничих робочих місць. На рис. 2.2 підсумовано підхід до моделювання, який застосовувався в цій роботі.

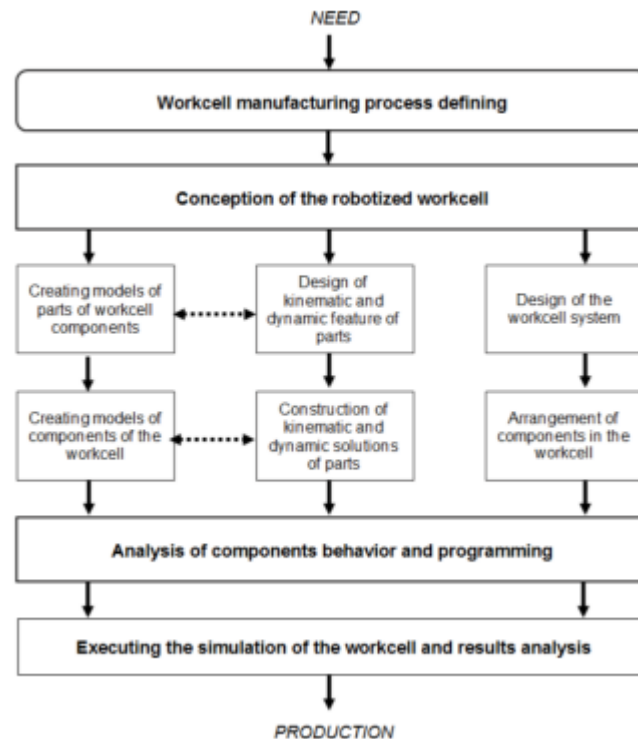


Рисунок 2.2 - Запропонована концепція процесу проектування [16]

Переваги цього підходу полягають у тому, що він поєднує системний підхід методології DMADV з гнучким методом проектування. Виробнича система розділена на три підсистеми, які можна вивчати та розробляти одночасно: основні компоненти робочої комірки, система кінематики та динамічних залежностей елементів та просторове розташування робочої комірки [16].

Доповнена реальність (AR) та віртуальна реальність (VR) – це нові галузі досліджень у моделюванні та симуляції робототехніки. Хоча вони перебувають на початковому етапі та ще недостатньо потужні, щоб

забезпечити рівень деталізації, точності чи аналізу, необхідний для розгортання роботизованої робочої комірки, ці галузі обіцяють стати новими методами спільної роботи для проектування та вдосконалення роботизованої робочої комірки (RWC). Рання робота (Pai et al., 2014) з розробки роботизованої робочої комірки на основі AR з віртуальною роботною рукою, конвеєрною стрічкою, піддоном та верстатом з ЧПК для імітації виробничого плану була успішною [19].

По-перше, для порівняння кожної технології необхідне визначення. AR покращує або змінює реальність, накладаючи віртуальні об'єкти, тоді як VR замінює реальність. Розробка VR є дорожчою за AR, оскільки вимагає більшої обчислювальної потужності. Ще однією перевагою AR є те, що сучасні технології демонструють високу точність відстеження пейзажу та навколишнього середовища [19]. У цьому експерименті кінематика роботизованої руки моделюється за допомогою теореми Денавіта-Хартенберга, що дозволяє маніпулювати інструментами кінця руки в 3D-просторі. Виявлення зіткнень представлено двома способами: виявлення близьких об'єктів на основі маркерів для руху роботизованої руки та інтеграція віртуальних об'єктів у навколишнє середовище за допомогою функції "під-енд-плас". На проекційному дисплеї в реальному часі відображається інформація про поведінку системи в реальному часі, яку можна проаналізувати.

Використання доповненої реальності (AR) для іммерсивного моделювання та планування за допомогою доповненого технічного креслення допомогло скоротити загальний час виробництва RWC на 30-40%, підвищити продуктивність та продемонструвати більш оптимізований підхід до проектування виробничих комірок між кількома виробничими функціями[19]. Що ще важливіше, повністю функціональну RWC можна моделювати без значних знань програмування, а оператори можуть легко маніпулювати нею з метою навчання.

2.3 Розробки в 3D Vision

Amazon часто проводить Amazon Robotics Challenge – змагання, в яких академічні команди змагаються у 1) збиранні та укладанні предметів у контейнери та 2) пакуванні предметів у коробки [5]. Це змагання стало каталізатором для досліджень систем 3D-зору. Щоб досягти успіху, роботизовані системи збирання та розміщення повинні розпізнавати/захоплювати об'єкти в зашарашеному середовищі та розміщувати їх у заздалегідь визначеному кінцевому місці (сумка, ящик, контейнер або упаковка). У людей зорове сприйняття, зокрема, відіграє ключову роль у розпізнаванні людської сцени – воно є одночасно гнучким і надійним – що дозволяє людям успішно захоплювати безліч нових об'єктів [20]. Для доказу, п'ятдесят відсотків кори, поверхні мозку, присвячено обробці інформації. Кінцева мета систем 3D-зору – імітувати зорове сприйняття за допомогою алгоритмів виявлення та ізоляції для запуску вимагало планування руху та маніпуляцій [21]. Команди, які брали участь у змаганні, написали кілька провідних статей. Ці статті будуть обговорені нижче.

Найбільшими проблемами під час підняття та розміщення є оцінка пози та планування захоплення – як успішно підняти об'єкт. Історично роботів розробляли та програмували для відносно статичного середовища з очікуванням, що вони працюватимуть у дуже вузькому діапазоні варіацій. Однак, оскільки роботи-роботи були впроваджені у складніші та новіші процеси, замінюючи людей або взаємодіючи з ними, розробники прагнули наділити їх людськими можливостями для роботи з високою мінливістю та граничними випадками. Було розроблено численні алгоритми та апаратні архітектури, щоб імітувати здатність людини візуалізувати та захоплювати незнайомі об'єкти з невеликими попередніми знаннями – успіх був неоднозначним через сильне зашарашення, серйозну оклюзію та мінливість

об'єктів. Здатність виконувати складні завдання в напівструктурованих або навіть неструктурованих середовищах є стратегічною в промислових робототехнічних застосуваннях [18].

Апаратне забезпечення.

У найпростішому вигляді, апаратне забезпечення, необхідне для систем 3D-зору, - це 3D-камера для візуального сприйняття, лазерний датчик для сприйняття глибини та робот з одним або кількома кінцевими ефекторами. Нещодавно були розроблені повністю інтегровані системи зору, які поєднують як апаратне забезпечення візуального сприйняття, так і лазерне зондування [22]. Ці системи можуть варіюватися від найвищих, таких як інтегрована система FANUC iRVision, до дешевшої 3D-просторової системи зору Motoman 'MotoSight', яка коштує 11 000 доларів США і може бути інтегрована лише з роботами Motoman. Були розроблені недорогі системи, які використовують просту кольорову відеокамеру VGA, давач глибини Microsoft Kinect та багатомасивний мікрофон. Результати багатообіцяючі, але невтішні: з 27 спроб переміщення 17 були успішними (63%), з часом циклу 32,61 секунди в автоматичному режимі [19]. Інші RWC, такі як Roboscan, розроблений (Sanson et al., 2014), використовували відеокамеру IDS та лазерний щілинний проектор, демонструючи надійну роботу з простими формами (циліндри, конуси, сфери) [20]. Pochyly та автори використовували 3D-камеру Sick Ranger E, встановлену над RWC, з двома обертовими лінійними лазерами для сприйняття глибини. Час циклу для захоплення та розміщення одного об'єкта становив 25 секунд [20]. Команда-переможець MIT-Princeton на Amazon Robotics Challenge 2017 року використовувала чотири статично встановлені камери Real Sense SR300 RGB-D. Дві камери оглядали контейнери для зберігання, щоб передбачити можливість захоплення, тоді як дві камери використовуються для розпізнавання об'єктів у захоплювачі.

Обмеження апаратного забезпечення: Розміщення обладнання є найочевиднішою проблемою. Наприклад, систему машинного зору можна встановити або на кінцевому ефекторі, або в іншому місці робочої комірки. Якщо вона встановлена на кінцевому ефекторі, жодне інше обладнання не потрібне, проте воно додає вагу (більший робот) і це необхідно враховувати під час проектування шляху робота, щоб уникнути зіткнень. Чим більший кінцевий ефектор (включаючи систему машинного зору), тим більша ймовірність зіткнень між роботом і сценою [25]. Перевагою в цьому випадку є те, що робота можна використовувати для позиціонування камери та датчика відносно сцени. Якщо систему машинного зору встановлено в іншому місці, потрібне додаткове обладнання, і система машинного зору повинна мати безперешкодний огляд об'єктів, якими потрібно маніпулювати [25], що може бути ускладнено через інше обладнання в комірці.

Програмне забезпечення.

Традиційно, системи машинного зору підходили до завдання комплектування з контейнерів, спочатку обчислюючи положення захоплення. Це робиться шляхом отримання зображення та карти глибини робочого простору за допомогою камери та лазера. 2D-зображення глибини перетворюються на 3D-дані хмари точок [25], які потім зіставляються з бібліотекою/базою даних 3D-шаблонів [23]. Вихідними параметрами є інформація про положення, така як область захоплення об'єкта. Кінцевий виконавець наближається та захоплює об'єкт у обчисленому положенні захоплення та виконує рух віддалення. У цей момент всередині захоплення оцінюється більш відповідне положення, і кінцевий виконавець розміщує об'єкт визначеним чином, щоб збільшити ймовірність успішного комплектування та розміщення об'єкта [25]. Для досягнення цієї мети системам потрібна база даних 3D-моделей об'єктів (CAD, бібліотека хмар

точок, IMAQ тощо) та велика кількість даних для сегментації та пов'язування виявлення захоплення з ідентифікаторами об'єктів [26]. Очевидним недоліком цього підходу є те, що він не може працювати з ніколи раніше не баченими об'єктами. Щоб обійти цей недолік, команда MIT-Princeton розробила нову систему захоплення та розміщення, здатну захоплювати та розпізнавати як відомі, так і нові об'єкти в захищених середовищах [24]. Для досягнення цієї мети команда визначила чотири основні рухи, використовуючи подвійний кінцевий ефектор (всмоктування, захоплення) для захоплення будь-якого об'єкта та алгоритм прогнозування доступності, який використовував RGB-D зображення зі сцени для прогнозування найкращого захоплення на основі локальних геометричних даних.

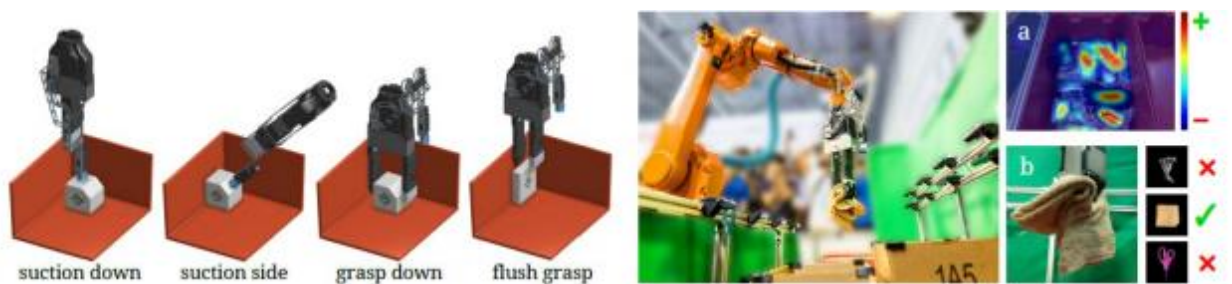


Рисунок 2.3 - Готова до використання система MIT-Princeton для вибору та розміщення елементів

Після захоплення та виділення об'єкта виконується міждоменне зіставлення зображень між спостережуваним об'єктом та бібліотекою зображень продукту. Мета полягає у визначенні найкращої відповідності геометричних подібностей замість прямого зіставлення об'єктів за допомогою двопотокової згорткової нейронної мережі. Один потік обчислює характеристики спостережуваного зображення, а інший обчислює характеристики зображень продукту, щоб сітисся до відповідності [24]. Це дозволяє мережі вивчати такі характеристики, як форма об'єкта, колір та інші властивості, які можна виділити. Після цього кінцевий ефектор захоплює

об'єкт і переміщує його в потрібне місце. З усіх команд у змаганнях команда MIT-Princeton була єдиною командою, яка збрала всі об'єкти у відведений час. Вони змогли зібрати всі двадцять об'єктів протягом 24 спроб всмоктування та 8 спроб захоплення. Загалом, вони мали 58,3% успішного захоплення при всмоктуванні, 75% успішного захоплення та 100% точність розпізнавання [24].

Обмеження: У промисловості час є дорогим ресурсом. Кожного циклу типова система машинного зору повинна завершити обчислення положення об'єкта, перш ніж робот зможе розпочати рух. Час планування захоплення сильно варіюється від 13,5 секунд [27] до 10-15 секунд [26], 5-40 секунд [28], 0,8 секунди [29] та 0,06 секунди [24]. Крім того, поточні евристичні методи економії часу йдуть на шкоду точності даних, оскільки час отримання та аналізу зображень скорочується, а алгоритми фільтрації шуму застосовуються, але можуть стати жертвами затінення або тіней [25]. Хоча підхід MIT-Princeton «спочатку вибери — потім задай питання» є перспективним, ці системи 3D-зору функціонують в ідеальних умовах у заздалегідь визначених умовах і ще не масштабовані для обробки асортименту продукції Amazon, що означатиме десятки тисяч нових об'єктів щогодини. Цим системам доведеться мати справу з надзвичайною дисперсією (розмір, колір, форма), коротким часом циклу та великими вимогами до пропускної здатності з мінімальним наглядом та обслуговуванням. Зрештою, ці системи ще не можуть зрівнятися зі спритністю, швидкістю чи точністю співробітника в роботі як з відомими, так і з новими об'єктами, а також зі здатністю співробітника вирішувати проблеми в крайніх випадках.

3 КОСТРУКТОРСЬКА ЧАСТИНА

3.1 Розгортання робототехніки

Окрім технічних складнощів розробки та розгортання роботизованих систем у критично важливих операційних середовищах, компаніям також доведеться зіткнутися з більш неоднозначним питанням: організаційним значенням робототехніки.

Розгортання робототехніки та управління змінами

Організації можна розглядати як суму трьох основних компонентів – людей, технологій та структури – які разом досягають узгоджених цілей [30]. Саме сумісність та взаємодія між цими компонентами визначають ефективність досягнення цих цілей. Для такої організації, як Amazon, показниками ефективності можуть бути цілі продуктивності (одиниці на годину, робочі години), фінансові цілі (VCPU), цілі гнучкості (навчання співробітників), цілі людських ресурсів (прогули, плинність кадрів), цілі безпеки (зареєстровані інциденти) або цілі якості (невідповідність кількості контейнерів). Компанії шукають роботизовані системи для прямого чи опосередкованого покращення продуктивності досягнення деяких або всіх цих цілей. Щоб дійсно скористатися перевагами автоматизованих систем, компанії повинні усвідомлювати вплив робототехніки на ці три компоненти. Це не означає, що впровадження роботів передбачає наслідки для організації [30], проте спосіб їх впровадження, їхній вплив на структуру звітності та те, як вони взаємодіють з людьми в організації, повинні бути визначені з самого початку.

Дизайн.

Дослідження показують, що рівень автономії є критичною змінною, яку слід визначити на початку проекту автоматизації. Структура, розроблена Beer, може допомогти компаніям визначити бажаний рівень автономії, відповідаючи на такі ключові питання, як: які завдання здатний виконувати робот? Який аспект завдання повинен виконувати робот? Наскільки робот може виконувати ці аспекти завдання? Чи може він виконати завдання, маючи певний рівень автономії? Наскільки критичними є ці завдання?. Для організації вкрай важливо відповісти на ці питання, оскільки автономія стимулює взаємодію та навчання співробітників. Іншим важливим аспектом є час, необхідний для розробки життєздатного рішення з прийнятною надійністю. Вища автономія може призвести до менш частої взаємодії з колегами та меншого контролю з їхнього боку, тоді як низька автономія може вимагати постійної взаємодії з людиною [29]. Перше може зробити співробітників більш залежними від технічного персоналу, тоді як друге може збільшити розумове навантаження на співробітників, особливо в пікових або крайніх умовах. Дослідження показують, що менший контроль призводить до більшого стресу для співробітників через підвищену залежність від інших (допоміжні функції), темп роботи, що визначається роботом, та більше правил взаємодії, які потрібно пам'ятати .

Часто потрібне перепрофілювання роботи. Організації повинні відповісти на такі питання, як: чи здатні працівники виконувати нові дії? Чи подобається їм виконувати нові дії? Найуспішніші проекти автоматизації гарантують, що RWC сумісний з навичками та вподобаннями працівників. Було показано, що автоматизація може перетворити ручне завдання на когнітивне, що призводить до нудьги або ще гіршої неадекватності [32]. Розробка ротацій та кількох профілів посад стає важливим для підтримки залученості робочої сили. Дослідження показали, що більш гнучкі правила роботи призводять до більш продуктивної та щасливої робочої сили [30].

Розумні організації гарантуватимуть, що це не призведе до експлуатації працівників.

Також важливо, щоб організація розробила більше можливостей для взаємодії між виробничими працівниками та допоміжними функціями [30] у способі роботи робочої групи. Це може створити асиметричний конфлікт незалежності, в якому операції потребують інженерії більше, ніж інженерія потребує операцій. Розробка багатофункціональних команд для керівництва проектами має вирішальне значення для уникнення такого типу конфлікту. Команди можуть бути укомплектовані ключовими зацікавленими сторонами з кожної групи, щоб сприяти співпраці, розуміти обмеження один одного та приймати обґрунтовані рішення щодо проектування [30]. Крім того, необхідна структура винагород, яка підкреслює продуктивність усіх груп, оскільки взаємозалежність ускладнює винагороду за продуктивність на основі індивідуального внеску. Водночас, оскільки працівники відчують менший контроль над своїм робочим середовищем, вони можуть почуватися менш задоволеними, мотивованими та більш стресованими [29]. Це особливо важливо, якщо RWC є складним або демонструє вищий рівень відмов. Фактично, рівень надійності нижче 70% вважається гіршим, ніж повна відсутність автоматизації [28]. Неврахування цих проблем може уповільнити швидкість впровадження, знизити ефективність RWC та призвести до стресу серед працівників [29].

Впровадження.

Приказка «більше спілкуйся» актуальна й у впровадженні робототехніки. Часто працівники цехів дізнаються про новий проект автоматизації, побачивши або почувши з неофіційних джерел про прибуття робота. План комунікації необхідно розробити заздалегідь, щоб залучити та інформувати організацію. Нижчий рівень залучення може вимагати простого спілкування, щоб збалансувати розрив між бажаною та отриманою інформацією. Було показано, що демонстрації є найефективнішим методом,

оскільки вони призводять до кращих переконань та ставлення до робототехніки, ніж будь-яке інше джерело комунікації [30]. Їх слід планувати як частину комунікаційної стратегії. Крім того, комунікація повинна збалансувати позитивні та негативні аспекти проекту автоматизації, щоб здаватися більш реалістичною та правдоподібною для робочої сили. Хоча це може здатися складним завданням для керівників, дослідження показали, що використання керівників першої лінії є досить ефективним. Організація повинна надати їм необхідну інформацію та інструменти, щоб допомогти їм ефективно спілкуватися. Щоб бути ефективними, керівники повинні бути навчені, вище керівництво повинно надавати їм підтримку, а працівники повинні знати, що вони можуть звернутися до своїх керівників з відповідними питаннями.

Участь є ключовою змінною, яка визначає ступінь позитивної реакції працівників на зміни. У дослідженнях управління змінами працівники хотіли вищого рівня залученості через участь, проте це був не вплив на всі аспекти проекту, на який вони очікували, а радше участь у рішеннях, пов'язаних з їхніми сферами експертизи [30]. Це може мати форму робочої групи з автоматизації, яка має чіткий набір цілей для залучення робочої сили. Вони можуть варіюватися від залучення робочої сили до проектування, тестування або допомоги у впровадженні нової автоматизації. Більш креативне культурне бачення може полягати в тому, щоб забезпечити, щоб працівники, зі зростанням автоматизації, почувалися менш ізольованими.

3.2 Продуктивність взаємодії людини та робота

У досліджуваних застосуваннях автоматизація успішно зменшила робоче навантаження, мінливість процесів, частоту помилок та вартість, одночасно підвищуючи ефективність. Однак, визначення продуктивності, специфічне для кожного процесу, має бути переглянуте. Коротше кажучи,

показники ефективності місії (результату) є поганим вибором показників після впровадження автоматизації, оскільки люди часто компенсують недоліки дизайну, що ускладнює виявлення недоліків дизайну та проектування процесів, які можуть успішно підтримувати систему в цілому. Крім того, співробітники відчують, що вони є причиною надійності системи, і можуть обурюватися неефективною автоматизацією.

Людський фактор.

Дослідження показали, що оператори демонструють меншу ситуаційну обізнаність під час роботи з автоматизацією. Крім того, працівники можуть зіткнутися з надмірним робочим навантаженням за нестандартних обставин. Співробітнику, можливо, доведеться засвоїти більше інформації або постійно контролювати автоматизацію. Для вирішення цієї проблеми були розроблені рекомендації, такі як встановлення обмежень на час, необхідний для аналізу показників, розробка кількох завдань із заздалегідь визначеним часом перемикання між ними та відвідування другою особою області, що цікавить, для допомоги у контролі активності. Ситуація ще більше ускладнюється тим фактом, що історично робочі місця ізольовані від людей як фізично, так і сенсорно бар'єрами або розмежованими зонами зі світловими завісами. Це створює середовище, в якому взаємодія з робочою коміркою погіршується. Довіра та підзвітність між працівником та автоматизацією можуть постраждати. Працівники, які не довіряють автоматизації, можуть подвійно перевіряти роботу, позбавляючи себе переваг від ефективності, та можуть ухилятися від своїх обов'язків щодо забезпечення належного виконання роботи через втрату контролю. Дослідження показали, що працівники віддають перевагу роботі з дистанційно керованим роботом, а не з автономним.

Форма автоматизації також важлива для того, як її сприймають, і повинна відповідати призначеному для неї завданню. Наприклад, негуманоїдні форми виглядають більш дружніми та вважаються такими, що

мають кращі особистості, ніж їхні гуманоїдні аналоги. Їх розглядають як незалежних учасників, які є «хорошими» [38]. Більше того, працівники несуть більшу відповідальність під час роботи з негуманоїдними роботами та забезпечують виконання завдань [38]. Для керівництва це означає розробку правил взаємодії. Чи буде роботом керувати команда чи окрема особа? Чи буде система робота абстрагована? Ці питання потребують ретельного розгляду та уваги, оскільки вони є критично важливими для сприйняття автоматизації працівниками. Наприклад, якщо автономії недостатньо для вирішення всіх непередбачених ситуацій, людям доведеться усувати несправності системи, однак, якщо її абстрагувати, операторам буде важко застосовувати свій досвід або вчитися на інцидентах. Ще гірше те, що оператори взаємодіятимуть з роботом лише тоді, коли щось піде не так, що впливатиме на їхню думку про корисність такої автоматизації. Проектування телекерування та моніторингу системи з метою збереження активної участі працівників у процесі є критично важливим.

Продуктивність.

Дослідження взаємодії людини та робота, проведене Кімом та Хіндсом, мало на меті відповісти на питання, хто винний, а хто заслуговує, коли напіваавтономні системи та оператори взаємодіють для виконання поставлених завдань. Дослідження в цій галузі є критично важливими для компаній, оскільки вони прагнуть впроваджувати робототехніку для покращення продуктивності процесів. Були протестовані дві змінні: автономність та прозорість, з несподіваними результатами. Автономність визначалася здатністю робота виконувати завдання без втручання людини, тоді як прозорість визначалася поясненням робота, як він виконує завдання.

Їхні експерименти показали, що учасники випробувань більше звинувачували роботів з високою автономністю, ніж роботів з низькою автономністю, коли завдання не були виконані успішно. Крім того, учасники випробувань менше звинувачували себе в помилках, які траплялися з

роботами з високою автономністю, ніж з роботами з низькою автономністю. Коротше кажучи, вони відмовилися від своєї відповідальності. Заради прозорості учасники випробувань менше звинувачували (і менше заслужували) інших учасників, коли останні працювали з роботами з високою прозорістю, проте прозорість роботів призводила до більшої звинувачення, але не до більшої довіри. Причина полягає в тому, що довіра сильно залежала від відповідності пояснення робота базовим знанням учасника випробування. Використана мова повинна відповідати досвіду користувача, оскільки нечіткі пояснення створювали більше плутанини. Організації повинні прагнути розробляти надійні процеси для боротьби з впливом автоматизації на робочу силу.

Метою роботи є автоматизація проміжного етапу процесу між сортуванням та палетуванням, тобто видалення повних контейнерів з UIS та поповнення порожніх контейнерів, в яких будуть сортуватися товари. Наразі видалення та поповнення контейнерів виконуються сортувальниками контейнерів. Автоматизація видалення контейнерів надасть кілька переваг. Сортування – це трудомістка робота, яка створює ергономічний ризик для співробітників. Автоматизоване рішення усуне ризики для безпеки. Машина UIS є модульною, до машини можна додавати колони для збільшення кількості місць розташування контейнерів (кінцевих пунктів призначення), наразі вона обмежена охопленням співробітників. Для досягнення цієї мети було використано методологію Lean Six Sigma DMADV (Визначити, Виміряти, Аналізувати, Проектувати, Перевірити) для якісного та кількісного відображення процесу, визначення першопричин режимів відмов та планування експериментів для перевірки конструкції RWC.

4 НАУКОВО-ДОСЛІДНА ЧАСТИНА

4.1 Аналіз збоїв машин UIS

Режими відмови.

Попередження машини або заклинювання можуть виникати в кількох зонах. Просторово ці режими відмов можна розділити на три широкі зони: під час індукції, всередині машини, на розвантаженні зі стіни. Індукція охоплює помилки, які виникають до того, як товар потрапляє в машину, і може включати такі помилки, як неправильно сканований штрих-код. Такі помилки, як циліндричний або сферичний товар, що скочується з човника та падає в машину, або заклинювання човника, можна класифікувати як помилки всередині машини. Третя категорія, яка викликає найбільше занепокоєння в цій програмі, складається з помилок, які виникають під час розвантаження товарів (товари доставлені до контейнера). Було відображено кілька попереджень та заклинювань UIS – для цієї програми викликають занепокоєння два попередження: неможливо розвантажити та контейнер відсутній.

«Не вдається розвантажити» описує нездатність човника доставити товар, тобто човник не може вивантажити товари в контейнер. Ці помилки спричинені накопиченням товарів на задній частині контейнера, що обмежує доставку предметів, упаковані або загорнуті товари, що застрягли на рейці човника, або предмети з високим коефіцієнтом тертя, що застрягли на жолобі. Підмножиною цієї помилки є «неможливо розвантажити – предмет відсутній», коли човник вважає, що предмет не доставлено або відсутній. Згідно зі спостереженнями на IXD, найчастіше човник доставив предмет; однак предмет не спрацював датчик під час розвантаження. У рідкісних випадках предмет міг скочитися з човника та впасти в машину – його витягує навчений співробітник.



Рисунок 4.1 - Приклади невдалих спроб розвантаження (ліворуч) предметів, що застрягли на човнику, (праворуч) предметів, застряглих ззаду сумки.

Повідомлення «Контейнер відсутній» описує помилку, за якої датчик човника, який перевіряє наявність контейнера перед доставкою товару, помилково робить висновок про його відсутність. Невелике зміщення контейнера в його кронштейні є значною мірою причиною цієї проблеми. Важливо зазначити, що хоча ці попередження не зупиняють індукцію, вони зупиняють доставку товарів і, в свою чергу, можуть перешкодити іншим човникам доставляти товари, оскільки човники використовують спільні колії. Після шістдесяти секунд без вирішення проблеми (це трапляється рідко, оскільки співробітник зараз присутній для виправлення проблем), машина переходить у режим застрягання та зупиняється – ці попередження переходять у режим зупинки човника або невдачі з розвантаження застрягань. Своєчасне та швидке виправлення цих помилок має вирішальне значення для підтримки швидкості, оскільки машина не перезапуститься, доки не буде усунено несправність.

Режими збоїв процесу.

Важливо виділити три технологічні збої: прориви стін, переповнені контейнери, брудні контейнери. Щоб UIS підтримувала швидкість, індуктори повинні постійно вводити елементи. Отже, контейнер для сортування предметів повинен бути завжди доступний. Можливий збій відбувається через недоступність контейнерів. Наприклад, якщо всі контейнери закриті/заповнені, контейнер відсутній або якщо дуга призначення недоступна, товар перенаправляється до контейнера для викидів або машина більше не може вводити товар – розмовно це називають «вибухом стіни». Наразі машини для перевезення контейнерів рухаються настільки швидко, що практично немає викидів (0,0078% усіх введених товарів у 2018 році) через недоступність контейнерів. Другий режим відмови виникає після UIS. Транспортування направляє повні контейнери, після їх видалення, до ручного або автоматичного палетизатора для штабелювання для відправлення. Контейнери не можна штабелювати, якщо вони переповнені. Цей режим відмови виникає тому, що предмети можуть падати в контейнер таким чином, що займають більше ефективного простору, ніж їх фактичний об'єм, при цьому краї або повні предмети виступають.

Сумка-тоут Wrangler

У всіх цих випадках спеціаліст з обробки сумок усуває ці помилки. Спеціаліст з обробки сумок переміщує предмети на передню частину сумки, щоб зменшити кількість випадків «неможливо розвантажити», або витягує спіймані предмети за допомогою захоплювача. У разі втрачених сумок спеціаліст з обробки сумок переміщує їх, доки човник не помітить їхню присутність, а у разі зупинки човника спеціаліст з обробки сумок спрацьовує датчик за допомогою того ж захоплювача, що й у разі невдалого розвантаження. Аналіз цих попереджень та заклинювання наведено в розділі 4.2. Важливою роллю спеціаліста з обробки сумок є забезпечення того, щоб сумки не були переповнені, тобто щоб жоден предмет не виступав з сумки. Нарешті, брудні сумки – це порожні сумки, до яких прикріплені віртуальні

предмети, але фізично в них немає предметів. Наприклад, сумка порожня, але система інвентаризації вважає, що в ній є предмет. Система PTL виділяє помилку блимаючим помаранчевим світлом, і спеціаліст замінює сумку новою та передає брудну сумку для вирішення проблеми. На рис. 4.2 показано спрощену схему дій перевізника під час поломок.

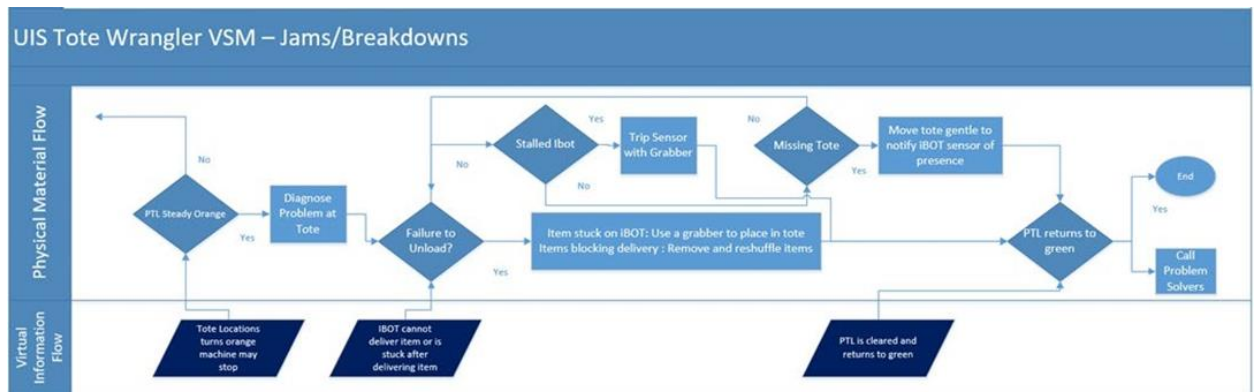


Рисунок 4.2 - Карта потоку створення цінності для вирішення проблем UIS (VSM було змінено для приховування конфіденційної інформації)

Як обговорювалося вище, завдання Tote Wrangler можна розділити на основні та другорядні. Інший спосіб сегментувати ці завдання – це за тим, наскільки легко чи складно їх автоматизувати. Це дозволяє розробнику виміряти частоту виникнення та першопричини цих помилок. Після цього можна впровадити цільові переробки та вдосконалення процесів для спрощення або обходу складних завдань.

4.2 Вимірювання

Розуміння робочого діапазону машини є критично важливим для проектування автоматизованого рішення. Використовуючи дані з панелі інструментів Amazon WMS, яка відстежує ключові показники машин, що

експлуатуються, автор виконав кілька аналізів, щоб зрозуміти коефіцієнти закриття контейнерів, вагу контейнерів та дефекти.

Таблиця 4.1 - Класифікація завдань з перевезення вантажів за складністю автоматизації

Легко автоматизувати	Важко автоматизувати
Зв'язок з WMS	Виправлення неполадок на стіні UIS
Відскануйте штрих-код сумки	Переконайтеся, що з сумки не стирчать предмети
Видалити сумку з UIS	Розташуйте або перетасуйте елементи, щоб збільшити щільність
Помістіть повний контейнер на вихідний конвеєр	Виправлення помилок процесу
Візьміть порожній контейнер з вхідного конвеєра	
Замінити сумку на UIS	

Операційний конверт UIS

Набори даних з 18 лютого 2018 року по 2 травня 2018 року були отримані для чотирьох окремих машин у вигляді журналів часу виконання робіт. Метою було обчислити коефіцієнт закриття контейнерів, з якого можна вивести необхідний час циклу для робота. Коефіцієнт закриття контейнерів визначається як кількість контейнерів, які закриваються системою (вважаються повними) за хвилину. Коефіцієнт закриття контейнерів є критично важливим, оскільки він визначає швидкість, з якою робот повинен обслуговувати стіну, тобто піднімати закритий контейнер, розміщувати його на вихідному конвеєрі, піднімати порожній контейнер і розміщувати його на стіні UIS. Журнал виконання робіт показував

похвилинну роботу машини. Дані були оброблені шляхом видалення всіх годин простою та годин, коли машина була несправна або не вмикала індукцію. Протягом решти робочих годин з чотирьох машин було завантажено звіт, що показував кількість сумок, закритих щохвилини, і на основі цих даних було створено розподіл.

Гістограма на рис. 4.3 показує розподіл коефіцієнтів закриття точок з чотирьох машин, а зведені дані наведено в таблиці 4.2.

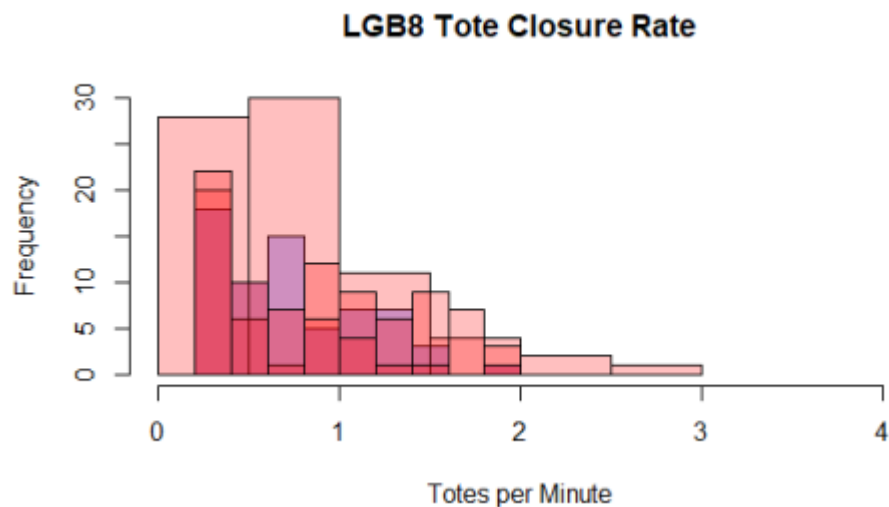


Рисунок 4.3 - Розподіл показників закриття сумок для чотирьох різних автоматів

Таблиця 4.2 - Зведена інформація про показники закриття сумок

	Машина 1	Машина 2	Машина 3	Машина 4
Середнє значення (тот за хвилину)	0,815	0,805	1.025	0,646
Стандартне відхилення	0,427	0,523	0,561	0,411
Коефіцієнт варіації	0,524	0,650	0,548	0,636

Дані для кожної машини були розділені на шість квантилів з товщиною, що показує діапазон рівних пропорцій. Висновок з цих аналізів

полягає в тому, що коефіцієнти закриття точок різняться, але в середньому вони досить низькі та, безумовно, керовані.

Інтерв'ю з регіональним менеджером пролило світло на різницю між середніми значеннями машин. Вище середнє значення для машини 3 було пов'язане з тим, що співробітники вирішили вводити більші товари на цій машині, що призвело до швидшого заповнення точок та вищих коефіцієнтів закриття точок. Використовуючи машину 3 як найгірший сценарій та будуючи інтервал рівня обслуговування 99,7% (три стандартні відхилення від середнього значення), ми знаходимо верхню межу контролю 3 точки/хвилину від OPEX03 або час циклу 20 секунд/точка. Для порівняння, максимальний коефіцієнт закриття з чотирьох наборів даних становив 8 точок/хвилину (7,5 секунди), і ймовірність побачити таке значення в профілі OPEX машини нескінченно мала (майже нуль) за нормальних умов експлуатації. Тому як проектне обмеження було обрано 20-секундний час циклу робота, щоб забезпечити безперебійну роботу в періоди пікового навантаження.

З тих самих наборів даних було проаналізовано вагу контейнера під час закриття, щоб зрозуміти вантаж, який робот-виробник повинен буде транспортувати від машини до конвеєра.

Таблиця 4.3 - Вага сумки (фунти) на момент закриття (значення не включають вагу сумки)

	Машина 1	Машина 2	Машина 3	Машина 4
Середня вага (фунти)	12.300	12.780	13.063	8.900
Стандартне відхилення	4.663	4.781	4.980	3.100

Загалом, вага сумок є цілком контрольованою для всіх машин. Як і у випадку з об'ємом, сумки мають допустиме обмеження ваги для забезпечення ергономічної безпеки співробітників. Це обмеження ваги встановлено на рівні 25 фунтів, а оскільки порожня сумка важить приблизно 5 фунтів, максимальна вага становить 30 фунтів. Однак, оскільки вага предметів визначається з каталогу, можуть виникати розбіжності, коли вага предмета перевищує вагу в каталозі. Щоб запобігти цьому, розрахункове обмеження ваги для кінцевого ефектора було встановлено на рівні 40 фунтів, що становить коефіцієнт безпеки 1,33.

Виникнення режиму відмови UIS

З 1 січня 2018 року по 1 квітня 2018 року машина UIS для досліджень та розробок випустила 85 009 одиниць із загальною кількістю переривань човника 2552 (3,0%). З цих переривань нас турбують два: «Час очікування завантаження/розвантаження» (183) та «Не вдалося розвантажити - відсутній контейнер» (14), оскільки це єдині переривання, що трапляються на стіні контейнера UIS. Вони становлять менше 7% усіх переривань і виникли на 0,2% усіх випущених одиниць.

Переривання SHUTTLE в одній машині UIS

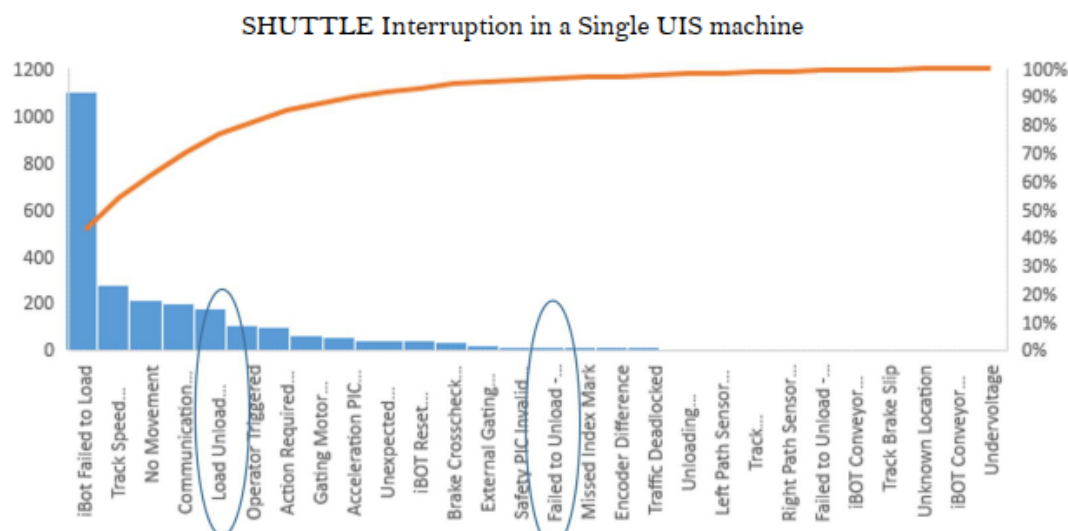


Рисунок 4.4 - Переривання човника в одній машині UIS – набір даних

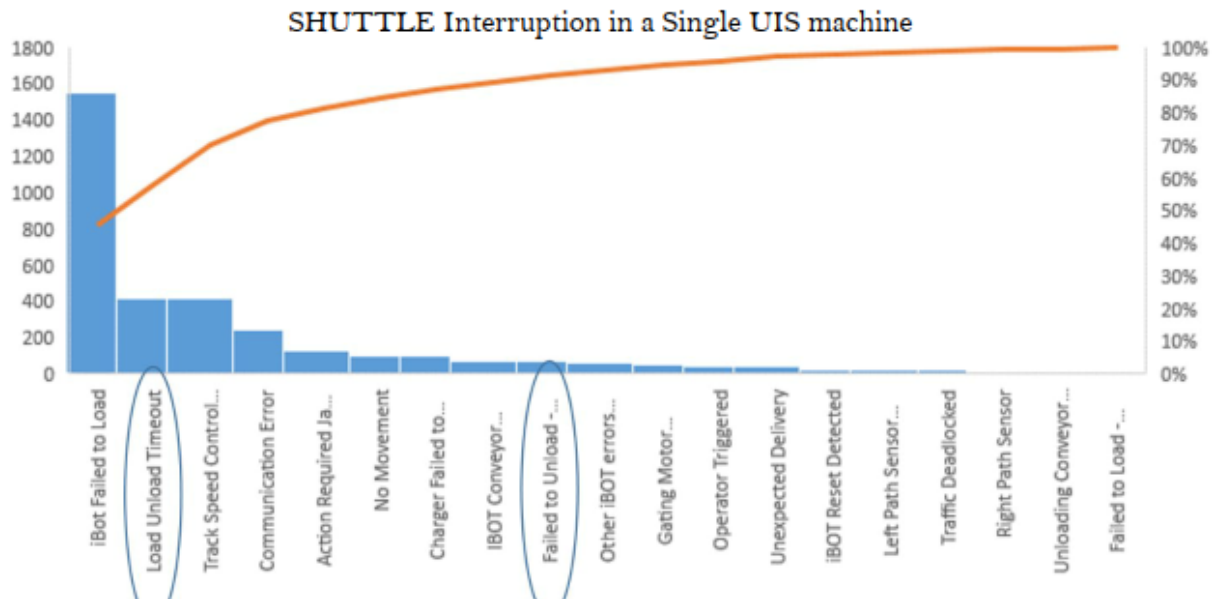


Рисунок 4.5 - Переривання човника в одній машині UIS – набір даних 2.

Для перевірки даних на рис. 4.4 було вилучено журнали дій з іншого періоду часу для іншої машини в науково-дослідній лабораторії. З 1 квітня 2018 року по 23 липня 2018 року машина випустила 198 094 одиниці, із загальною кількістю переривань човника 3395 (1,7%). З цих переривань нас знову турбують два: «Час очікування завантаження-розвантаження» (418) та «Не вдалося розвантажити - відсутній контейнер» (67). Вони становлять менше 14% усіх переривань, що становить 0,25% усіх випущених елементів. Нарешті, дані з працюючих машин на IXD по всій території США були взяті для розуміння виникнення збоїв розвантаження в польових умовах. Кількість випущених елементів була видалена для захисту операційних даних Amazon. Таким чином, виникнення цих попереджень або заклинювання є досить низьким.

Однак, якщо їх не вирішити після шістдесяти секунд, вони можуть зупинити машину та весь процес.

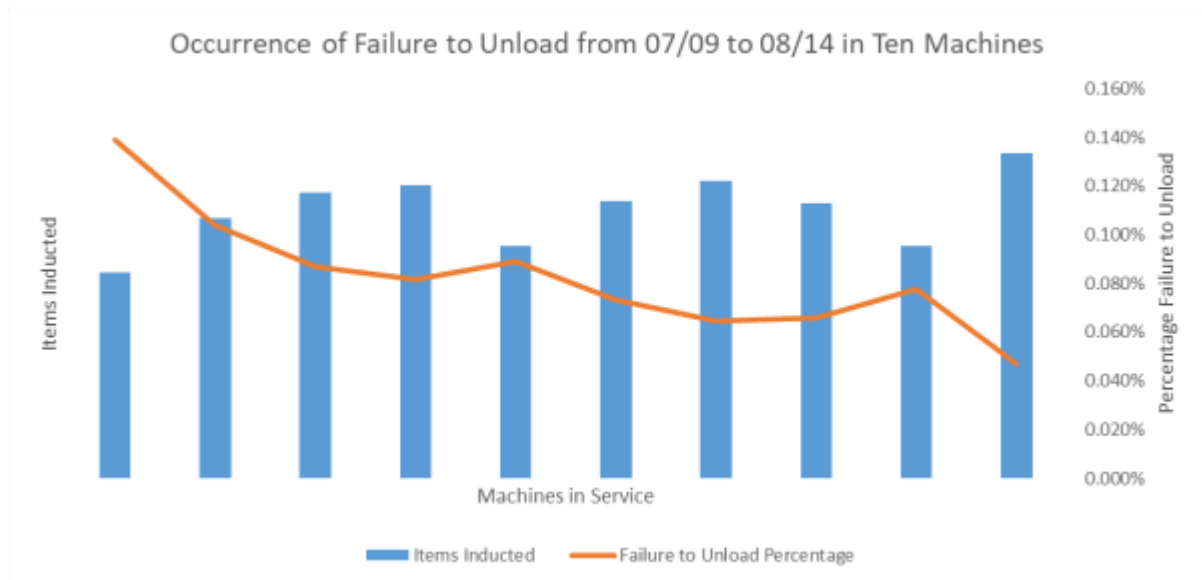


Рисунок 4.6 - Виникнення невдалого розвантаження з 07/09 по 08/14 у десяти машинах UIS

Хоча несправності універсального сортувальника предметів можна було б відобразити на карті завдяки великій кількості даних з WMS, виникнення збоїв у процесі (переповнені контейнери, брудні контейнери та прориви стін) мало б бути предметом спеціальних експериментальних розробок, оскільки вони не фіксуються в WMS, оскільки WMS не контролює їх.

4.3 Аналіз

Проектування автоматизованого рішення для управління контейнерами складалося з трьох кроків. По-перше, автор визначив робочий діапазон UIS (коефіцієнти закриття контейнерів, вага), кількісно оцінив частоту та середній час між відмовами UIS, а також розробив симуляції для формування остаточного проекту та перевірки ключових гіпотез. Було розроблено дві симуляції: симуляцію роботизованої фізики та симуляцію процесу FlexSim. Перша симуляція мала на меті зрозуміти, який тип автоматизації інтегрується

в поточні схеми та підтримуватиме необхідні показники. Друге симуляція використовувалася для розрахунку використання робота, визначення кількості машин, які може обслуговувати один робот, та чи призведе відмова до вибухів стін (неможливість індукції).

Роботизоване моделювання

Обґрунтування.

За допомогою програмного забезпечення для моделювання Roboguide було створено фізичні симуляції для розрахунку охоплення робота (кількість колон UIS), завантаження та фактичного часу циклу. Час циклу було визначено як час, який робот повинен провести з нульового положення, щоб зняти контейнер зі стіни UIS, опустити повний контейнер на вихідний конвеєр, підняти порожній контейнер з вхідного конвеєра, поповнити стіну UIS та повернутися в нульове положення. Креслення UIS у САПР було імпортовано в модель для імітації точних розмірів. Це моделювання є критично важливим для проектування системи, яка відповідає фізичним та конструкторським обмеженням з точки зору робототехніки. Для розрахунку часу циклу було змодельовано випадкові розташування контейнерів, а середній час циклу було взято за вихідний показник. Було протестовано два типи конфігурацій автоматизації (робот на рейці або статичний робот). Портальні та AGV системи не тестувалися, оскільки ці рішення не могли відповідати основним обмеженням (час циклу, вартість, готовність та надійність). Наприклад, досліджувані рішення AGV не могли піднімати більше 22 фунтів при досягненні вищих контейнерів та мали час циклу близько 50 секунд – це було визнано неприйнятним для цього процесу. У цьому моделюванні перевірялися три гіпотези.

Гіпотеза I: верстата FANUC M710ic/45M (здатного піднімати до 45 кг) з одним кінцевим виконавчим механізмом буде достатньо для підняття вантажної сумки.

Гіпотеза II: Тільки два статичні роботи могли виконати суворі вимоги щодо часу циклу, охоплюючи всі колони.

Гіпотеза III: Наявність двох кінцевих ефекторів, один з яких містить порожню сумку, а інший — повну, зменшить час циклу.

Було змодельовано дві моделі та конфігурації роботів. Меншу модель FANUC M710ic/45M, здатну піднімати 45 кг, та більшу модель FANUC R2000ic/125L, здатну піднімати 125 кг. Кожну модель було змодельовано з одним та двома кінцевими ефекторами (або інструментами на кінці важеля). Також було змодельовано кілька конфігурацій транспортування (позаду робота, збоку).

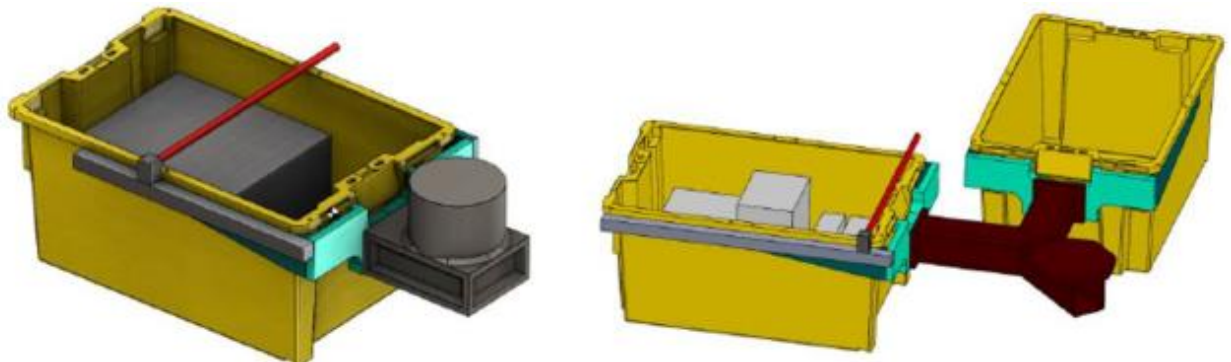


Рисунок 4.7 - Конфігурації з одним та двома кінцевими ефекторами

Вихідні дані та аналіз: Для гіпотези I аналіз навантаження показав, що корисне навантаження J6 (зап'ястя манипулятора робота) перевищувало максимально допустиме для M710ic/45M в обох конфігураціях (з одним та двома кінцевими ефекторами), що означає, що ми повинні відхилити гіпотезу. З подальшого аналізу (див. рис. 24 та 25) ми можемо зробити висновок, що більш доцільним роботом був би R2000iC/125L з одним або

двома кінцевими ефекторами, оскільки всі корисні навантаження, моменти та інерції J6 значно нижчі за відповідні максимально допустимі значення.

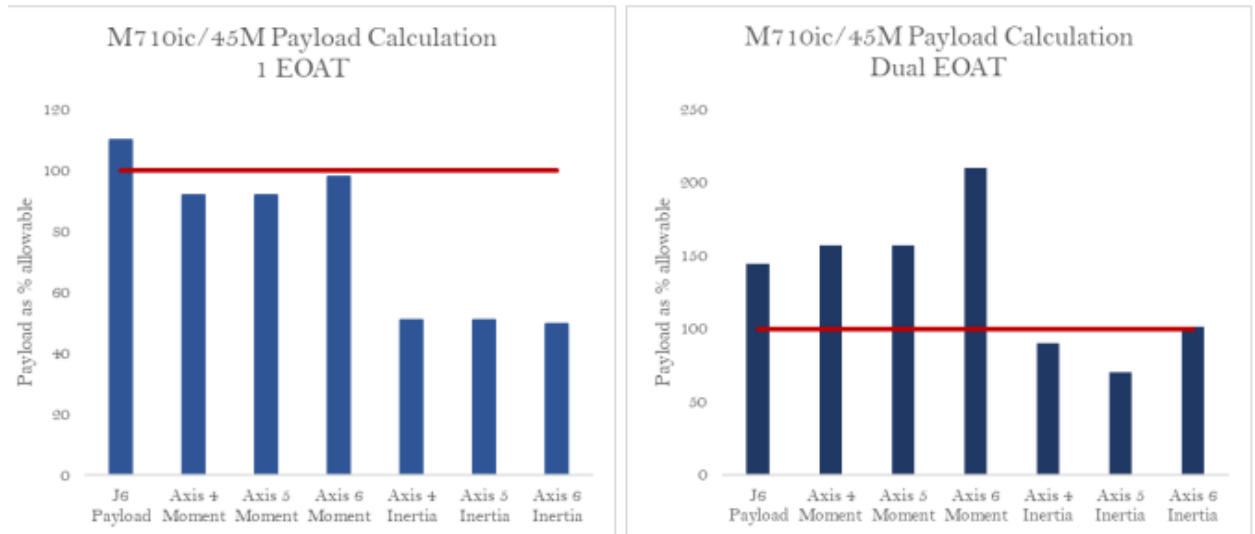


Рисунок 4.8 - Розрахунок корисного навантаження m710iC/45M з одним та двома кінцевими ефекторами

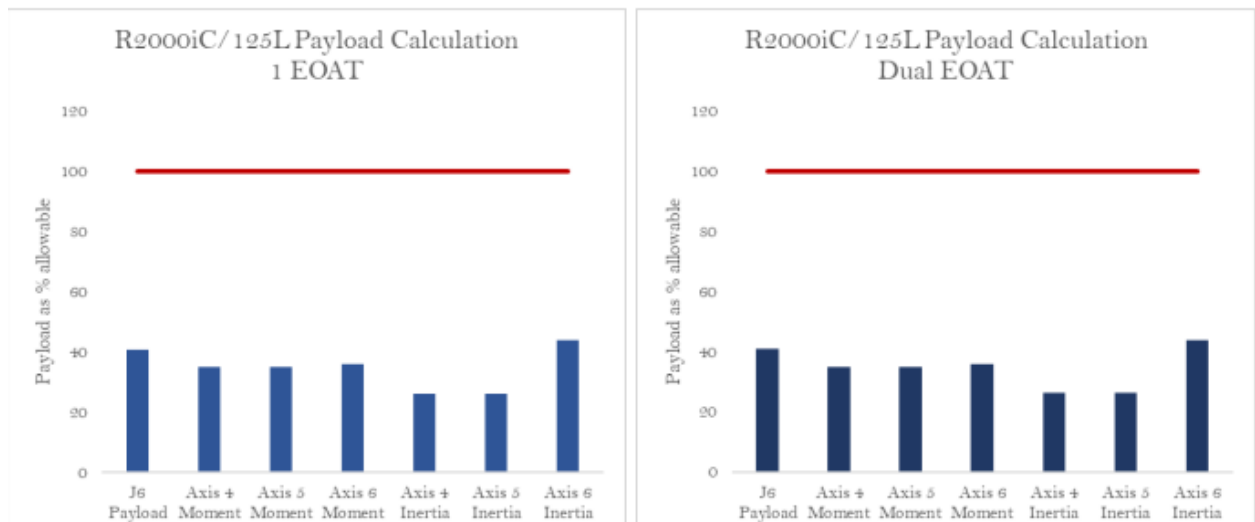


Рисунок 4.9 - Розрахунки корисного навантаження R2000iC/125L з одним та двома кінцевими ефекторами

Для гіпотези II два статичні роботи можуть досягти пропускну здатності 8 місткостей/хвилину, тоді як один робот на рейці може обслужити

лише 3 місткості/хвилину, що перевищує рівень обслуговування 99,7%, визначений у розділі.

Отже, гіпотезу II слід відхилити, оскільки робот на рейці здатний обслуговувати необхідний 20-секундний цикл, маючи змогу дістатися до всіх колон на стіні UIS за допомогою 20-футової рейки. Моделювання показує, що з одним кінцевим ефектором мінімальна відстань від UIS до центру робота становитиме 94 дюйми, тоді як з двома кінцевими ефекторами відстань збільшиться до 107 дюймів, оскільки це вимагатиме більшої моделі робота та більшого простору для повороту. Однак для гіпотези III наявність двох кінцевих ефекторів не зменшила час циклу, оскільки важчий робот був би повільнішим і все одно мав би щоразу піднімати порожній контейнер. Гіпотезу III також було відхилено.

Таблиця 4.4 - Аналіз часу циклу та охоплення Roboguide

Конфігурація робота	Статичний (1 вихідний час)	Статичний (2 EOAT)	Залізниця
Конфігурація конвеєра	Складені	Складені	Складені
Максимальне корисне навантаження	40 кг	65 кг	40 кг
Висота вхідного конвеєра	30 дюймів	12 дюймів	20 дюймів
Висота вихідного конвеєра	52 дюйми	34 дюйми	42 дюйми
Робот-підйомник	70 дюймів	53 дюйми	75 дюймів
Відстань від центру робота до стіни	94 дюйми	107 дюймів	94 дюйми
Час циклу	13 секунд	14,5 секунд	19,5 секунд
Робот, визначений	M-710iC/45M	R-2000iC/125L	R-2000iC/125L

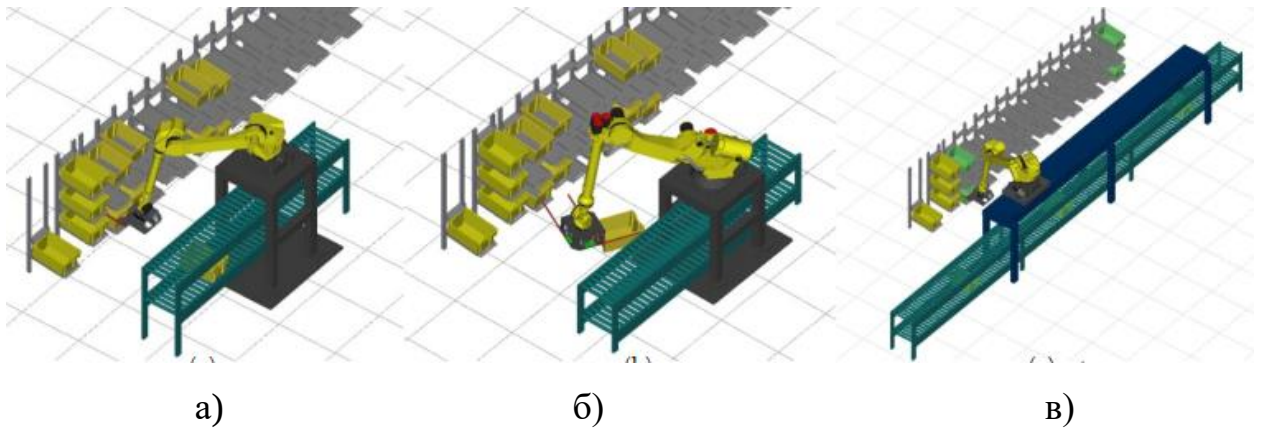


Рисунок 4.10 - Моделювання роботів з кількома конфігураціями та моделями: а) Статична ЕОАТ 1; б) Статична ЕОАТ 2; в) Рейка 1 ЕОАТ.

Зведений зміст результатів. На завершення, з точки зору фізики, кращою конфігурацією було б розташування R2000iC/125L на відстані 94 дюймів від UIS з одним кінцевим виконавчим механізмом. Наявність двох кінцевих виконавчих механізмів збільшить загальну вартість без покращення загального часу циклу. Щоб визначити, чи знадобиться для системи один робот на рейці, чи два статичні роботи, буде проведено фінансовий аналіз з використанням котирувань постачальників.

5 СПЕЦІАЛЬНА ЧАСТИНА

5.1 Моделювання процесів FlexSim

FlexSim — це програмне забезпечення для моделювання, яке дозволяє «моделювати, імітувати, прогнозувати та візуалізувати системи у виробництві та обробці матеріалів». Це потужний симулятор процесів, здатний обробляти різні макети, компоненти та зв'язки між об'єктами.

Обґрунтування.

Мета моделювання полягає у визначенні того, чи здатна автоматизована система обробки контейнерів на рейках (і, відповідно, статичній) обслуговувати одну або кілька машин UIS з різними коефіцієнтами швидкості. У той час як попереднє моделювання стосувалося фізики роботів, це моделювання має на меті відтворити машину UIS, використовуючи експлуатаційні дані для розуміння можливостей процесу, використання робота та черги контейнерів. Реалістичним орієнтиром було б визначити, чи може робот рухатися достатньо швидко, щоб уникнути вибивань, проривів стін або довгої черги закритих контейнерів. Використовуючи фактичні дані сканування з працюючих машин, було протестовано кілька конфігурацій роботів з різними швидкостями. Час прибуття, розміри та дуги призначення об'єктів не моделювалися з розподілу, а витягувалися з необроблених даних. Дві машини UIS, що використовувалися, мали витягнуті дані за один день, оскільки це були дві машини з найвищою продуктивністю, а 19 червня був днем з найвищим обсягом для цих машин у червні, коли були витягнуті дані. Були розглянуті три конфігурації UIS: робот, що обслуговує одну, дві паралельні або дві суміжні машини. Моделювання передбачає видалення та заміну повних контейнерів з машини UIS. Моделювання передбачає, що автоматизована

система не виконуватиме жодної з функцій вирішення проблем, які наразі виконують співробітники, таких як перестановка контейнерів або виправлення застрягань. Моделювання передбачає, що робот буде зупинений, поки співробітник усуває застрягання.

Методологія:

1. Індукційна подача UIS на основі необроблених даних, взятих безпосередньо від 19 червня двох працюючих машин. Журнал, використаний для цього моделювання, містив час сканування, розмір елемента, вагу елемента та пункт призначення дуги, що відповідають фактичним індукованим об'єктам.

2. Під час індукції, якщо немає вільного контейнера для сортування елемента, симуляція його виключає. Для моделювання цього симуляція надсилає виключення до черги відмов для запису частоти виникнення.

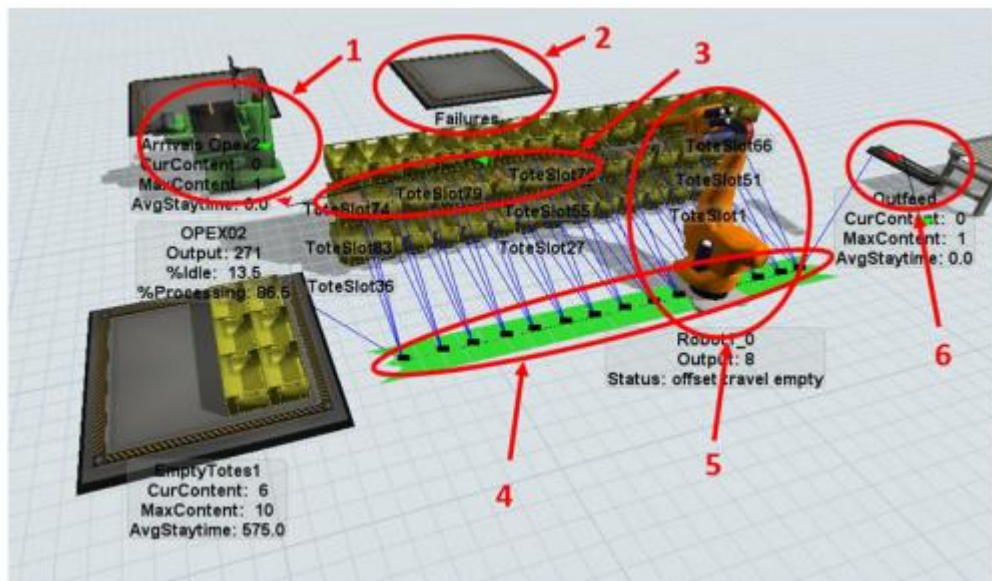


Рисунок 5.1 - Знімок моделювання FlexSim окремої машини

3. Моделювання сортує товар відповідно до існуючих конфігурацій програмного забезпечення UIS. Моделювання призначає дугу призначення після того, як його об'єм та вага зчитуються з каталогу ASIN. UIS

намагається відсортувати товар у контейнер з доступним дуговим призначенням, за умови, що об'єм або вага не перевищуватимуть 35 000 кубічних см або 25 фунтів після додавання товару. У такому випадку машина UIS відкриє новий пункт призначення контейнера, що відповідає дуговому перевантаженню. Єдина розбіжність з реальністю пов'язана з тим, що працівники контейнерів вручну закривають контейнери через розбіжності у фізичному об'ємі або вазі, виявлені під час операцій.

4. Вузли, зображені вище, представляють зупинки на шляху робота; вони відповідають рейці у виробничому середовищі. Коефіцієнти швидкості, що тестуються, коливаються від 0,5х до 2,0 нормальної швидкості.

5. Робот забирає повні контейнери та розміщує їх у черзі під назвою «Вихід». Для моделювання аналізу чутливості використовувалися коефіцієнти швидкості. Базова швидкість дорівнює швидкості поперечного руху робота зі швидкістю 4,91 фута/с та прискоренню до 6,562 фута/с.² Час завантаження та розвантаження взято з кінематичного та динамічного моделювання в попередньому розділі. Параметри робота були взяті з моделювання швидкостей шарнірів FANUC 710iC/45M та кінематичних симуляцій. Коефіцієнт швидкості 2 відповідає тому, що робот виконує дії завантаження та розвантаження вдвічі швидше.

6. Обведена колом черга — це точка вивантаження. Черга розташована на кінці «рейки», оскільки це більше нагадує майбутній стан IXD з вивантажувальним конвеєром, розташованим на кінці машини, а не з операторами, які розміщують контейнери на будь-якому відкритому місці конвеєра, що йде паралельно UIS.

7. Дані про простої були взяті з тих самих робочих машин у день надання даних про обсяг. Даним бракувало деталізації; єдиним доступним показником був відсоток часу, протягом якого UIS працювала або зупинялася щогодини. Щоб виправити це, моделювання працювало так, ніби щогодини всі простої були послідовними, хоча й починалися у випадковий час. На

практиці, затори не завжди зупиняють UIS від продовження сортування елементів в інші області та не завжди вимагають зупинки індуктора. Однак у таких випадках проблему вирішує спеціальний контейнер для зберігання речей, що змушує робота відключатися, навіть якщо товари все ще надходять і сортуються по контейнерах.

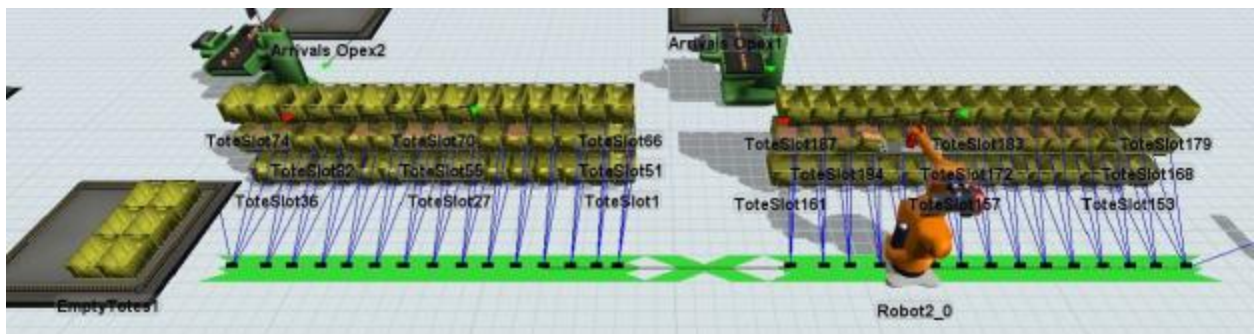
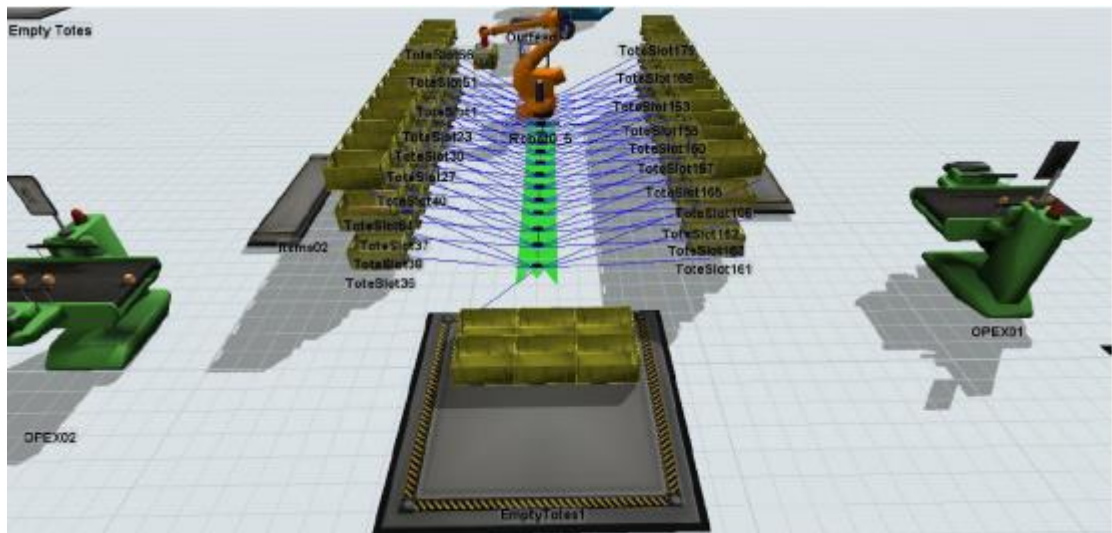


Рисунок 5.2 - (зверху) Паралельна конфігурація (знизу) Послідовна конфігурація

Гіпотеза І: Автоматизована система збору контейнерів зможе обслуговувати одну машину без проривів у стінках (неможливість індукції) з нормальною швидкістю (коефіцієнт швидкості = 1).

Гіпотеза II: Автоматизована система обробки контейнерів зможе обслуговувати дві машини паралельно без проривів стінок з нормальною швидкістю (коефіцієнт швидкості = 1).

Гіпотеза III: Автоматизована система збору контейнерів не зможе обслуговувати два автомати, з'єднані послідовно, без проривів стінок на нормальній швидкості (коефіцієнт швидкості = 1).

Вихідні дані та аналіз.

Щоб модель була корисною, вона повинна точно відтворювати логіку закриття сумок, яка зараз спостерігається в IXD. Таким чином, деякі результати змінюватимуться залежно від сценаріїв, оскільки у FlexSim відсортовано таку ж кількість об'єктів, як і в той день. Більше того, та сама

Діють правила заповнення тотів, а також кількість тотів, видалених з ЄІС. Це означає, що кількість одиниць на тот може бути використана для порівняння моделювання з фактичними експлуатаційними даними, оскільки ця кількість буде змінюватися:

1 – Продавці сумок постійно переставляють речі в сумці, тим самим впливаючи на те, які речі в якій сумці знаходяться.

2 – Постачальники тоут-решток іноді можуть закривати тоути раніше терміну, якщо існує невідповідність між фізичним та віртуальним обсягом. Якщо товар у тоуті більший порівняно з обсягом каталогу, співробітник може закрити тоут, який фізично заповнений, тоді як UIS вважає, що віртуально є вільне місце.

Фактична середня кількість одиниць на сумку становила 44,7 та 42,5 для двох машин. У всіх симуляціях середнє значення становило 43,5, а всі сценарії знаходилися в діапазоні +/- 6%. Це задовільне значення для цілей цієї симуляції. Усі графіки показують коефіцієнт швидкості (0,5x – 2x) як залежну змінну.

На рис. 5.3 показано кількість аварійних відключень для всіх трьох конфігурацій як функцію швидкості роботи. При нормальному коефіцієнті

швидкості аварійні відключення не відбуваються в конфігурації з одним верстатом та двома паралельними верстатами, тоді як велика кількість аварійних відключень відбувається для послідовно з'єднаних подвійних верстатів.

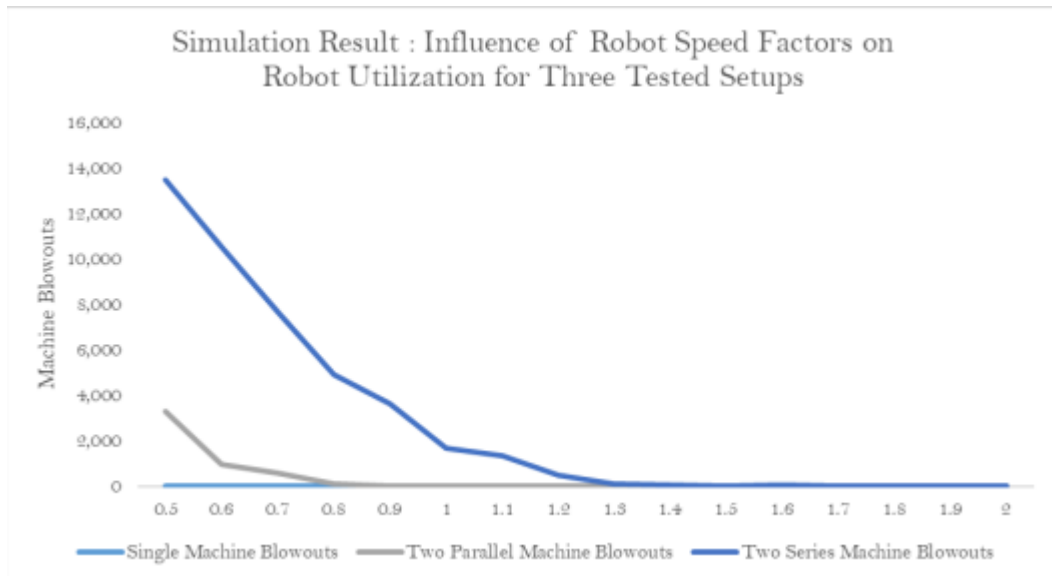


Рисунок 5.3 - Кількість продувок машини для всіх трьох конфігурацій

Це означатиме, що процес буде зупинено, оскільки робот не зможе вчасно дістатися до всіх контейнерів, і через збій процесу утворилася б черга. Тому ми повинні прийняти всі три гіпотези, представлені вище.

На рис. 5.4 показано використання робота для всіх трьох конфігурацій у повному спектрі змодельованих швидкостей. Основний висновок з цієї діаграми полягає в тому, що в середньому робоче навантаження є цілком керованим для всіх трьох конфігурацій, проте використання значно зростає від однієї машини до двох паралельних та двох послідовно з'єднаних машин. Крім того, зі збільшенням коефіцієнта швидкості використання падає, оскільки робот здатний швидко обслуговувати контейнери. Цей інтуїтивно зрозумілий результат додатково підтверджується рис. 5.2, на якому для конфігурації з двома послідовно з'єднаними машинами накопичуються довші

черги. При бажаному коефіцієнті швидкості 1, лише одна та дві паралельні машини показують прийнятні черги нижче 5.

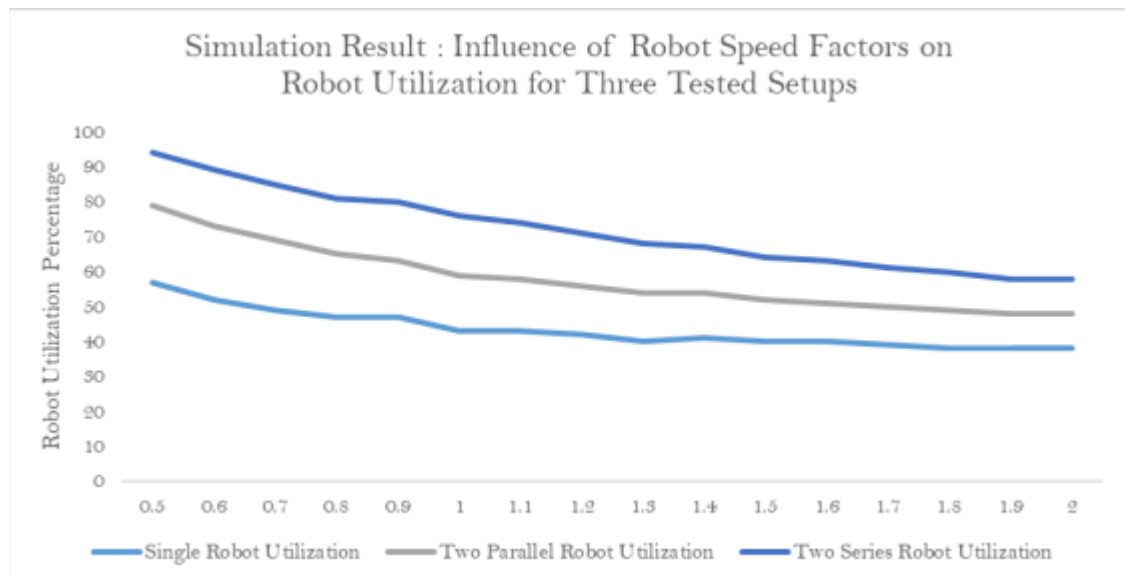


Рисунок 5.4 - Довжина черги сумки для всіх трьох конфігурацій

Зведений зміст результатів.

Модель FlexSim показує, що як робот на рейці, так і, відповідно, два статичні роботи, зможуть обслуговувати одну або дві паралельні машини UIS без виникнення аварійних зупинок. Однак обслуговування двох машин послідовно було б неможливим через високі аварійні зупинки на нижчих швидкостях. З цих результатів можна зробити висновок, що залежно від вартості та компонування, як дві статичні, так і одна рейкова конфігурації робота здатні вичерпно обслуговувати одну або дві паралельні машини на нормальних швидкостях. Як для статичної, так і для рейкової конфігурацій робота середній час між відмовами (MTBF) становив 160 секунд (усереднено за даними тестування), а середній час до ремонту (MTTR) апроксимовано як трикутний розподіл з мінімумом 5, піковим значенням 15 та максимальним значенням 30 секунд для всіх коефіцієнтів швидкості. MTBF означатиме, що якби робот не мав жодних можливостей ремонту контейнерів, він би

припиняв працювати кожні 160 секунд через попередження машини або заклинювання, що підкреслює важливість зменшення кількості попереджень на машині та проектування роботизованої робочої комірки, здатної виявляти та виправляти помилки UIS. Зрештою, модель відтворювала логіку заповнення та закриття сумок; проте в реальному житті продавці сумок можуть переставляти товари в сумках або закривати їх раніше. З огляду на це, фактична кількість одиниць на сумку була в межах $\pm 6\%$ від фактичної для всіх сценаріїв.

6 ОХОРОНА ПРАЦІ ТА БЕЗПЕКА В НАДЗВИЧАЙНИХ СИТУАЦІЯХ

6.1 Вимоги охорони праці під час роботи з електроустаткуванням

Загальні положення

Інструкція з охорони праці для електрика при виконанні робіт з ремонту та обслуговування електроустаткування розроблена відповідно до Закону України «Про охорону праці» (Постанова ВР України від 14.10.1992 № 2694-XII) в редакції від 20.01.2018 р, на основі «Положення про розробку інструкцій з охорони праці», затвердженого Наказом Комітету по нагляду за охороною праці Міністерства праці та соціальної політики України від 29 січня 1998 року № 9 в редакції від 01 вересня 2017 року, з урахуванням «Правил технічної експлуатації електроустановок споживачів», затвердженими наказом Міністерства палива та енергетики 25.07.2006 р. № 258 (у редакції наказу Міністерства енергетики та вугільної промисловості України 13.02.2012 р. №91, «Правил безпечної експлуатації електроустановок споживачів», затверджених наказом Держнаглядохоронпраці України 09.01.1998 р. № 4.

Всі положення даної інструкції з охорони праці поширюються на електриків освітньої установи, які виконують роботи з ремонту та обслуговування електроустаткування.

До самостійного виконання робіт з ремонту та обслуговування електричного обладнання допускаються особи не молодше 18 років, які пройшли навчання за фахом, а також:

- медичний огляд і не мають протипоказань за станом здоров'я до виконання даної роботи;

- вступний і первинний на робочому місці інструктажі з охорони праці;

- навчання безпечним методам і прийомам праці;

перевірку знань правил улаштування електроустановок, правил безпеки при експлуатації електроустановок, вимог охорони праці;

при ремонті і обслуговуванні електрообладнання напругою до 1000В мають групу з електробезпеки не нижче III, а понад 1000В - не нижче IV.

Електрику необхідно знати і виконувати вимоги інструкції з охорони праці при виконанні робіт з ремонту та обслуговування електроустаткування, інструкцій по роботі з ручним інструментом, електричним інструментом і драбинами.

Електрику при виконанні робіт з ремонту та обслуговування електроустаткування слід дотримуватися вимог Правил безпечної експлуатації електричних установок споживачів і Правил технічної експлуатації електричних установок споживачів, і мати відповідну групу з електробезпеки згідно з вимогами цих Правил.

Виконуючи роботи з ремонту та обслуговування електричного обладнання, може спостерігатися вплив нижчеперелічених шкідливих і небезпечних виробничих факторів:

- падіння з висоти;
- ураження електричним струмом;
- підвищена напруженість електричного поля;
- підвищена запиленість повітря робочої зони;
- підвищений рівень вібрації;
- недостатня освітленість робочої зони;
- фізичні перевантаження;
- нервово-психічні перевантаження.

Електрику при виконанні ремонту і обслуговування електроустаткування необхідно використовувати наведені нижче ЗІЗ:

- напівкомбінезон бавовняний - на 12 місяців;
- рукавички на - 3 місяці;

черевики шкіряні на - 24 місяці;
калоші діелектричні - чергові;
рукавиці діелектричні - чергові;
килимки діелектричні - чергові.

Електрик при ремонті і обслуговуванні електрообладнання зобов'язаний:

тримати у чистоті і порядку своє робоче місце;
дотримуватися Правил внутрішнього трудового розпорядку;
вміти застосовувати засоби індивідуального, колективного захисту, засоби пожежогасіння;

вміти надавати першу допомогу потерпілим від нещасних випадків;

знати і виконувати всі вимоги нормативних актів з охорони праці, правил протипожежного захисту та виробничої санітарії.

негайно повідомляти своєму безпосередньому керівнику про будь-який нещасний випадок, що трапився на виробництві, про ознаки професійного захворювання, а також про ситуацію, яка створює загрозу життю і здоров'ю людей;

знати терміни випробування захисних засобів і пристосувань, правила експлуатації, догляду та користування ними. Не дозволяється використовувати захисні засоби і пристосування з простроченим терміном перевірки;

виконувати тільки доручену роботу;

дотримуватися вимог інструкцій з експлуатації обладнання;

знати, де знаходяться засоби надання допомоги, первинні засоби пожежогасіння, головний і запасні виходи, шляхи евакуації в разі аварії або пожежі;

знати номери телефонів медичної установи (103) і пожежної охорони (101).

Електрик може відмовитися від виконання дорученої йому роботи, якщо виникла виробнича ситуація, яка становить загрозу для його життя і здоров'я оточуючих, або для навколишнього середовища, і доповісти про це своєму прямому керівнику.

На робочому місці заборонено курити, вживати алкогольні напої та інші речовини, які надають наркотичну дію на організм людини.

З метою запобігання отримання травм і виникнення травмонебезпечних ситуацій слід дотримуватися нижчеперелічених вимог: не можна залучати до роботи сторонніх осіб;

не починати роботу в разі відсутності умов для її безпечного виконання;

виконувати роботу тільки на справному обладнанні, зі справними пристроями та інструментом;

виявивши несправність терміново доповісти безпосередньому керівнику або усунути їх власними силами, якщо це відноситься до посадових обов'язків;

не торкатися неізольованих або пошкоджених проводів;

не виконувати роботу, яка не входить до професійних обов'язків.

Вміти надавати першу допомогу при кровотечах, переломах, опіках, ураженнях електричним струмом, раптовому захворюванні або отруєнні.

Дотримуватися правил особистої гігієни:

верхній одяг, головний убір і інші особисті речі слід залишати в гардеробі;

працювати в чистому спецодязі;

приймати їжу в призначеному для цього місці.

Вміти правильно користуватися ЗІЗ та засобами колективного захисту, первинними засобами пожежогасіння, протипожежним інвентарем, знати, де вони знаходяться.

Особи, які порушили цю інструкцію з охорони праці для електрика при виконанні робіт з ремонту та обслуговування електроустаткування, несуть дисциплінарну, адміністративну, матеріальну і кримінальну відповідальність відповідно до чинного законодавства України.

Вимоги безпеки перед початком роботи

Одягти спецодяг, провести огляд і підготовку робочого місця, прибрати зайві предмети.

Видалити із зони проведення робіт сторонніх осіб і звільнити робоче місце від сторонніх матеріалів та інших предметів, обгородити робочу зону і встановити знаки безпеки.

Переконалися в достатньому освітленні робочого місця, відсутність електричної напруги на відремонтованому обладнанні.

Оглянути на справність вимикачі, розетки електричної мережі, електровілок, електричних проводів, з'єднувальних кабелів, переконалися в наявності і справності ЗІЗ (засобів індивідуального захисту) і попереджувальних пристроїв (рукавичок діелектричних, окулярів захисних, калош, килимків і т. п.).

Виконуючи роботи з інструментом необхідно упевнитися в його справності, в відсутності механічних пошкоджень ізоляційного покриття і в своєчасності проходження випробувань інструменту.

Провести перевірку робочого місця на відповідність вимогам пожежної безпеки, на достатність освітлення робочого місця.

Виявивши недоліки і порушення з питань електричної і пожежної безпеки, негайно доповісти своєму безпосередньому керівнику.

6.2 Вимоги безпеки під час виконання робіт

Виконуючи посадові обов'язки, електрик зобов'язаний мати при собі посвідчення перевірки знань з питань охорони праці. За відсутності посвідчення або наявності посвідчення з терміном перевірки, працівник не отримує допуск до роботи.

Роботи в електричних установках щодо заходів безпеки поділяються на 3 категорії:

- зі зняттям напруги;
- без зняття напруги на струмопровідних частинах або біля них;
- без зняття напруги віддалік від струмопровідних частин, що перебувають під напругою.

Працівники, які виконують спеціальні види робіт, до яких висуваються додаткові вимоги безпеки, повинні бути навчені безпечному проведенню таких робіт і мати про це відповідний запис в посвідченні про перевірку знань.

Працівникові, який обслуговує закріплені за ним електричні установки напругою до 1000 В одноосібно, необхідно мати III групу з електробезпеки.

Виконуючи роботи в електричних установках потрібно проводити організаційні заходи, що забезпечують безпеку робіт:

- оформляти роботи нарядом-допуском, розпорядженням відповідно до переліку робіт, що виконуються в порядку поточної експлуатації;
- проводити підготовку робочих місць;
- допуск до роботи;
- здійснювати контроль над виконанням робіт;
- переводити на інше робоче місце;
- установлювати перерви в роботі та її закінчення.

Для підготовки робочого місця до роботи, яка вимагає зняття напруги, необхідно застосувати, в певному порядку, наведені нижче технічні заходи:

виконати необхідні відключення і вжити всіх заходів, що виключають помилкове або самовільне включення комутаційної апаратури;

розвісити заборонні плакати на приводах ручного і на ключах дистанційного керування комутаційною апаратурою;

провести перевірку на відсутність напруги на струмопровідних частинах, які повинні бути заземлені для захисту людей від ураження електричним струмом;

встановити заземлення (включити заземлюючі ножі, застосувати переносні заземлення);

встановити огорожі, якщо необхідно, близько робочих місць або струмоведучих частин, що залишилися під напругою, а також вивісити на даних огорожах плакати безпеки.

в залежності від місцевих умов, струмовідні частини обгородити до чи після їх заземлення.

Працювати без зняття напруги на струмопровідних частинах або поблизу них слід як мінімум двом працівникам, одному з них, керівнику робіт, необхідно мати групу IV; іншим групу III з обов'язковим оформленням роботи нарядом-допуском або розпорядженням.

При знятті і встановленні запобіжників під напругою в електроустановках напругою до 1000 В слід заздалегідь відключити всі навантаження, які підключені до зазначених запобіжників; використовувати при цьому ізолюючі кліщі або діелектричні рукавички, а якщо є відкриті плавкі вставки, то і захисні окуляри.

Роботу з використанням драбин потрібно проводити вдвох, один з працівників повинен перебувати знизу. Стояти на ящиках або інших предметах забороняється. При установці приставних драбин на балках,

елементах металевих конструкцій і т. п. слід надійно закріпити верхню і нижню частину драбини на конструкціях.

Під час обслуговування та ремонту електричних установок користуватися металевими драбинами забороняється.

6.3 Вимоги безпеки після закінчення робіт з ремонту та обслуговування електроустаткування

Відключити (від'єднати) необхідне електрообладнання, електроінструмент від мережі.

Навести порядок на робочому місці, прибрати в спеціальні місця деталі, матеріал, сміття і відходи.

Прибрати у відведене місце весь інструмент і пристосування.

Зняти і прибрати спецодяг, ЗІЗ, ретельно помити руки.

Провести огляд робочого місця на відповідність його всім вимогам протипожежного захисту.

Повідомити своєму безпосередньому керівнику про недоліки і несправності, які були під час виконання роботи. Зафіксувати це в оперативному журналі.

Вимоги безпеки в аварійних ситуаціях

У випадку пожежі:

вимкнути електричне обладнання, припливно-витяжну вентиляцію, якщо вона є;

повідомити в пожежну частину за телефоном 101 і доповісти про це своєму керівнику, а при його відсутності іншій посадовій особі;

приступити до ліквідації осередка загоряння, застосовуючи передбачені для цього засоби пожежогасіння. Виконувати гасіння електричного обладнання, що знаходиться під напругою, можна тільки

вуглекислотними вогнегасниками типу ОУ або піском. Гасити їх водою або пінним вогнегасником забороняється.

Електрик повинен пам'ятати, що при раптовому відключенні напруги, вона може бути подана знову без попередження.

Слід швидко відключити механізми і пристрої:

- в разі раптового відключення електроенергії,;
- якщо подальша їх робота загрожує безпеці працівників;
- в разі відчуття дії електричного струму при торканні металевих частин пускової апаратури;
- в разі іскріння;
- при найменших ознаках загоряння, появи диму, запаху гару;
- якщо з'явився незнайомий шум.

У разі короткого замикання в мережі електроживлення необхідно знеструмити обладнання і повідомити своєму прямому керівнику.

Якщо сталося ураження електричним струмом, слід звільнити потерпілого від дії електричного струму, для чого відключити електричну мережу або від'єднати потерпілого від струмопровідних частин за допомогою діелектричних захисних засобів та інших ізолюючих речей і предметів (сухий одяг, суха жердина, прогумований матеріал і т. п.), або перерізати (перерубати) провід будь-яким інструментом з ізолюючою рукояткою, обережно, без додаткового нанесення травм потерпілому. До прибуття медпрацівника необхідно надати потерпілому першу допомогу.

При нещасних випадках (травмуванні людини) негайно повідомити про це безпосереднього керівника.

6.4 Розрахунок захисного заземлення

Захисне заземлення забезпечує зниження напруги дотику при замиканні на корпус до відносно безпечних значень шляхом зменшення потенціалу заземленого обладнання, вирівнювання потенціалів підвищенням потенціалів місця, на якому стоїть людина, до значень, що близькі до потенціалу заземлених конструктивних частин обладнання.

Розрахунок захисного заземлення має на меті визначення основних параметрів заземлення – кількість, розміри та порядок розміщення одиночних заземлювачів та заземлюючих провідників, при яких напруга дотику та кроку в період замикання фази на заземлений корпус не перевищує допустимих значень.

Розрахунок захисного заземлення здійснюється для випадку розташування заземлювача в однорідній землі. При цьому враховується опір верхнього шару землі (шар сезонних змін), який обумовлений замерзанням або засухою ґрунту. Розрахунок, який заснований на коефіцієнтах використання провідності заземлювача називається способом коефіцієнтів використання. Його виконують, як при простих, так і при складних конструкціях групових заземлювачів.

Загальні вимоги електробезпеки повинні відповідати ДСТУ 7237:2011. Для захисту від уражень електричним струмом використовують захисне заземлення. Воно повинно захищати людей від уражень електричним струмом у випадку дотику до металевих неструмопровідних частин, які можуть опинитись під напругою внаслідок пошкодження ізоляції, це досягається з'єднанням металевих частин електроустановок з землею, або її еквівалентом.

Згідно з класифікацією приміщень за ступенем небезпеки ураження електричним струмом (ПУЕ 1.1.6.), приміщення в якому проводяться всі роботи відноситься до першого класу (без підвищеної небезпеки). Під час

роботи використовуються електроустановки з напругою живлення 36 В, 220 В, та 360 В. Опір контура заземлення повинен мати не більше 4 Ом.

Розрахунок проводять за допомогою методу коефіцієнта використання (екранування) електродів. Коефіцієнт використання групового заземлювача η – це відношення діючої провідності цього заземлювача до найбільш можливої його провідності за нескінченно великих відстаней між його електродами.

При розрахунку заземлювачів в однорідній землі способом коефіцієнтів використання значення опору R захисного заземлення визначаємо в наступному порядку:

обчислюємо опір пристрою заземлення R_z . Згідно правил улаштування електроустановок (ПУЕ) найбільш припустимі значення R_z , складають для установок до 1000 В:

10 Ом при сумарній потужності генераторів або трансформаторів, що живлять дану мережу, не більше 100 кВА;

4 Ом у всіх інших випадках.

- визначаємо необхідний опір штучного заземлювача $R_{ш}$:

$$R_{ш} = \frac{R_e \cdot R_z}{R_e - R_z}, \quad (4.1)$$

де R_e – опір розтікання природного заземлювача, Ом; R_z – необхідний опір заземлюючого пристрою, Ом.

- обчислюємо кількість вертикальних і довжину горизонтальних електродів:

$$n = \frac{4 \cdot \sqrt{S}}{a'}, \quad (4.2)$$

де n – кількість вертикальних електродів, штук; S – площа цеху, m^2 ; a' – задана відстань між електродами, м.

$$l_r = 2a + 2b, \quad (4.3)$$

де l_r – сумарна довжина горизонтальних електродів, м; a – ширина сторони цеху, м; b – довжина сторони цеху, м.

- розраховуємо опори розтікання вертикального R_v та горизонтального R_g електродів:

$$R_v = \frac{\rho_{роз.в}}{2 \cdot \pi \cdot l_v} \left(\ln \frac{2l_v}{d} + \frac{1}{2} \ln \frac{4t + l_v}{4t - l_v} \right), \quad (4.4)$$

де $\rho_{роз.в}$ – розрахунковий питомий опір землі для вертикального електрода, Ом·м;

l_v – довжина вертикальних стрижневих електродів, м; d – діаметр електрода, мм;

t – глибина занурення в землю верхнього кінця електрода, м;

$$R_g = \frac{\rho_{роз.г}}{2 \cdot \pi \cdot l_g} \cdot \ln \frac{2l_g}{0,5 \cdot b' \cdot t}, \quad (4.5)$$

де $\rho_{роз.г}$ – розрахунковий питомий опір для горизонтального електрода, Ом·м;

l_g – довжина горизонтальних електродів, м; b' – товщина горизонтального електрода, м.

- за даними таблиці 4.1 та таблиці 4.2 визначаємо коефіцієнти використання для вертикальних та горизонтальних електродів η_v та η_g та з їх врахуванням обчислюємо розрахунковий опір заземлювача за виразом:

$$R_g = \frac{R_v \cdot R_g}{R_v \cdot \eta_g + R_g \cdot \eta_v \cdot n}, \quad (4.6)$$

Для розрахунку заземлювача задаємось такими вихідними даними: виробничий цех площею $S=5000$ м² і з понижуючою підстанцією 10/0,4 кВ. Заземлювач передбачається виконати з вертикальних стрижневих електродів довжиною $l_v=5$ м, діаметром $d=12$ мм і відстанню між ними $a'=5$ м та горизонтальних електродів (сталева смуга перетином 440 мм) на глибині $t=0,8$ м. Розрахункова величина питомого опору ґрунту у місці спорудження захисного заземлення береться з таблиці 6.3 (для чорнозема $c=20$ Ом/м). Коефіцієнти вертикальної прокладки K_v і горизонтальної прокладки K_g приймаються з таблиці 6.4 (для третього кліматичного району $K_v=1,3$, $K_g=2,5$).

Талиця 4.1 – Коефіцієнт використання горизонтального стрічкового електрода, що з'єднує вертикальні електроди (труби, кутики і ін.) групового заземлювача

Відношення відстані між вертикальним і електродами до їх довжин	Число вертикальних електродів							
	2	4	6	10	20	40	60	100
Вертикальні електроди розміщені в ряд								
1.	0,8 5	0,7 7	0,7 2	0,6 2	0,4 2	-	-	-
2.	0,9 4	0,8 0	0,8 4	0,7 5	0,5	-	-	-
3.	0,9 6	0,9 2	0,8 8	0,8 2	0,6 8	-	-	-
Вертикальні електроди розміщені по контуру								
1.	-	0,4 5	0,4 0	0,3 4	0,2 7	0,2 2	0,2 0	0,1 9
2.	-	0,5 5	0,4 8	0,4 0	0,3 2	0,2 9	0,2 7	0,2 3
3.	-	0,7 0	0,6 4	0,5 6	0,4 5	0,3 9	0,3 6	0,3 3

Талиця 4.2 – Коефіцієнт використання вертикальних електродів групового заземлювача (труб, кутиків, і т. ін.) без урахування впливу стрічки зв'язку

Число заземлювачів	Число вертикальних електродів					
	1.	2.	3.	1.	2.	3.
	Електроди, розміщені в ряд			Електроди, розміщені по контуру		
2	0,85	0,91	0,94	-	-	-
4	0,73	0,83	0,89	0,69	0,78	0,85
6	0,65	0,77	0,85	0,61	0,73	0,80
10	0,59	0,74	0,81	0,56	0,68	0,76
20	0,48	0,67	0,76	0,47	0,63	0,71
40	-	-	-	0,41	0,58	0,66
60	-	-	-	0,39	0,55	0,64
100	-	-	-	0,36	0,52	0,62

Таблиця 4.3 – Розрахункові значення питомих електричних опорів ґрунтів

Ґрунт	Значення, які рекомендуються для розрахунків, Ом/м
Пісок	700
Супісок	300
Суглинок	100
Глина	40
Чорнозем	20
Торф	20

Таблиця 4.4 – Значення підвищувальних коефіцієнтів K_r , K_v за кліматичними зонами

Кліматична зона	Тип заземлювачів	
	Горизонтально прокладені заземлювачі (смугові та ін.) при глибині від поверхні ґрунту $t=0,8$ м, K_r	Стрижневі вертикально встановлені заземлювачі при глибині від поверхні землі $t=0,5-0,8$ м, K_v
I	4,5–7	1,8–2
II	3,5–4,5	1,6–1,8
III	2,5–4	1,4–1,6
IV	1,5–2	1,2–1,4

Розрахункові питомі опори ґрунту для вертикальних і горизонтальних заземлювачів визначаються відповідно так:

$$\rho_{роз.в} = K_v \cdot \rho, \text{ Ом/м}, \quad (6.7)$$

$$\rho_{роз.г} = K_r \cdot \rho, \text{ Ом/м} \quad (6.8)$$

Таким чином за формулами (6.7), (6.8), для чорнозему:

$$\rho_{роз.в} = 1,3 \cdot 20 = 26, \text{ Ом/м};$$

$$\rho_{роз.г} = 2,5 \cdot 20 = 50, \text{ Ом/м}.$$

У якості природного заземлювача використовуємо металеву технологічну конструкцію з опором розтікання природного заземлювача

$$R_e = 15 \text{ Ом}.$$

Здійснюємо розрахунок у відповідності з зазначеною послідовністю:

- згідно ПУЕ необхідний опір заземлюючого пристрою складає:

$$R_3 = 4 \text{ Ом};$$

за формулою (6.1) визначимо необхідний опір штучного заземлювача $R_{ш}$:

$$R_{ш} = \frac{15 \cdot 4}{15 - 4} = 5,5 \text{ Ом};$$

за формулами (4.2), (4.3) обчислюємо кількість вертикальних та довжин горизонтальних електродів:

$$n = \frac{4 \cdot \sqrt{5000}}{5} = 5 \text{ штук},$$

$$l_r = 2 \cdot 50 + 2 \cdot 100 = 300 \text{ м};$$

за формулами (4.4), (4.5) розраховуємо опори розтікання вертикального R_v та горизонтального R_h електродів:

$$R_v = \frac{26}{2 \cdot \pi \cdot 5} \left(\ln \frac{2 \cdot 5}{0,012} + \frac{1}{2} \ln \frac{4 \cdot 3,3 + 5}{4 \cdot 3,3 - 5} \right) = 5,7 \text{ Ом},$$

$$R_h = \frac{50}{2 \cdot \pi \cdot 300} \cdot \ln \frac{2 \cdot 300}{0,5 \cdot 0,04 \cdot 0,8} = 0,3 \text{ Ом};$$

за даними таблиць (4.10, (4.11) обираємо коефіцієнти використання для вертикальних та горизонтальних електродів $K_v=0,4$ та $K_h=0,21$;

обчислюємо розрахунковий опір заземлювача R за формулою (4.6):

$$R_r = \frac{5,7 \cdot 0,3}{5,7 \cdot 0,21 + 0,3 \cdot 0,4 \cdot 56} = 0,22 \text{ Ом}.$$

Таким чином, проєктований заземлювач є контурним, складається з 56 вертикальних стрижневих електродів довжиною 5 м і діаметром 12 мм та горизонтального електрода у вигляді сталеві смуги довжиною 300 м, перетином 440 мм², занурених у землю на 0,8.

ВИСНОВКИ

У роботі запропонована роботизована робоча комірка для автоматизації видалення повних контейнерів із сортувальної машини та поповнення порожніх контейнерів, в яких продукти будуть сортуватися в IxD. За допомогою підходу DMADV було виміряно поточну операційну область процесу. Серія контрольованих експериментів протестувала вплив автоматизації на затори процесу та їхні результати, а також методи зниження їхньої кількості. Концептуальні макети були розроблені на основі фізики робототехніки та операційного моделювання FlexSim. Тестова роботизована робоча комірка була розроблена для тестування таких функціональних можливостей, як виявлення та вирішення проблем з контейнерами, з метою зменшення ризиків та остаточного підтвердження кількох функціональних можливостей на підтримку повного впровадження.

Запропоноване рішення являє собою робота на рейках з одним кінцевим виконавчим механізмом та системою машинного зору COGNEX для перевірки переповнених контейнерів. У разі позитивного результату контейнери будуть направлені на струшувальний конвеєр, який, як було показано, виправляє 77% переповнених контейнерів. Зрештою, для усунення пограничних випадків все одно знадобиться втручання для вирішення проблем.

ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ

1. Collis D. Walmart Inc. Takes on Amazon.com. . Harv. Bus. Sch. Publ., May 2018. p. 30.
2. Lunden I. Amazon's share of the US e-commerce market is now 49%, or 5% of all retail spend [Електронний ресурс]. TechCrunch, 13 Jul. 2018. Режим доступу: <https://techcrunch.com/2018/07/13/amazons-share-of-the-us-e-commerce-market-is-now-49-or-5-of-all-retail-spend> (дата звернення: 26.12.2018).
3. Sisson P. 9 facts about Amazon's unprecedented warehouse empire [Електронний ресурс]. Curbed, 21 Nov. 2017. Режим доступу: <https://www.curbed.com/2017/11/21/16686150/black-friday-2018-amazon-warehouse-fulfillment> (дата звернення: 26.12.2018).
4. Birenbaum J.P. Inbound supply chain optimization with ship-mode variation in a fixed-capacity fulfillment center: Thesis. Massachusetts Institute of Technology, 2018.
5. Walker A.M. Automation solutions for E-commerce multi-item packing: Thesis. Massachusetts Institute of Technology, 2018.
6. Carroll J.S. Introduction to Organizational Analysis: The Three Lenses. MIT Sloan School of Management, 2006.
7. Grant R.M. The Resource-Based Theory of Competitive Advantage: Implications for Strategy Formulation. p. 23.
8. Warehousing and Logistics Robots. Tractica, 31 Mar. 2017.
9. The Robotics Revolution: The Next Great Leap in Manufacturing [Електронний ресурс]. Boston Consulting Group, 2015. Режим доступу: <https://www.bcg.com/en-us/publications/2015/lean-manufacturing-innovation-robotics-revolution-next-great-leap-manufacturing.aspx> (дата звернення: 24.12.2018).
10. IFR. The Impact of Robots on Employment [Електронний ресурс]. PDF.

11. Graetz G., Michaels G. Robots at Work. *Rev. Econ. Stat.*, 2018, vol. 100, no. 5, pp. 753–768.
12. Arntz M., Gregory T., Zierahn U. The Risk of Automation for Jobs in OECD Countries. 2016.
13. Muro M., Andes S. Robots Seem to Be Improving Productivity, Not Costing Jobs. *Harvard Business Review*, 16 Jun. 2015.
14. Bughin J. Skill Shift: Automation and the Future of the Workforce. McKinsey & Company, May 2018.
15. Sękala A., Gwiazda A., Kost G., Banaś W. Modelling and simulation of a robotic work cell. *IOP Conf. Ser. Mater. Sci. Eng.*, 2017, vol. 227, p. 012116.
16. Gadaleta M., Berselli G., Pellicciari M. Energy-optimal layout design of robotic work cells: Potential assessment on an industrial case study. *Robot. Comput.-Integr. Manuf.*, 2017, vol. 47, pp. 102–111.
17. Bricogne M., Troussier N., Rivest L., Eynard B. Agile Design Methods for Mechatronics System Integration. In: Bernard A., Rivest L., Dutta D. (eds.) *Product Lifecycle Management for Society*. Berlin, Heidelberg: Springer, 2013. vol. 409, pp. 458–470.
18. Pai Y.S., Yap H.J., Singh R. Augmented reality-based programming, planning and simulation of a robotic work cell. *Proc. Inst. Mech. Eng. Part B J. Eng. Manuf.*, 2015, vol. 229, no. 6, pp. 1029–1045.
19. Pochyly A., Kubela T., Singule V., Čihák P. Robotic bin-picking system based on a revolving vision system. In: 2017 19th Int. Conf. on Electrical Drives and Power Electronics (EDPE), 2017, pp. 347–352.
20. Sansoni G., Bellandi P., Docchio F. Combination of 2D and 3D vision systems into robotic cells for improved flexibility and performance. In: 2011 4th IEEE Int. Workshop on Advances in Sensors and Interfaces (IWASI), 2011, pp. 22–30.
21. Sandhu G.S., McGinn C., Kelly K. Investigation into a Low Cost Robotic Vision System. p. 9.

22. Sansoni G., Bellandi P., Leoni F., Docchio F. Optoranger: A 3D pattern matching method for bin picking applications. *Opt. Lasers Eng.*, 2014, vol. 54, pp. 222–231.
23. Zeng A. et al. Robotic Pick-and-Place of Novel Objects in Clutter with Multi-Affordance Grasping and Cross-Domain Image Matching. *ArXiv:1710.01330 [cs]*, Oct. 2017.
24. Buchholz D. 3D Point Cloud Based Pose Estimation. In: *Bin-Picking*, vol. 44. Cham: Springer, 2016, pp. 13–37.
25. Zeng A. et al. Multi-view Self-supervised Deep Learning for 6D Pose Estimation in the Amazon Picking Challenge. *ArXiv:1609.09475 [cs]*, Sep. 2016.
26. Lenz I., Lee H., Saxena A. Deep Learning for Detecting Robotic Grasps. *ArXiv:1301.3592 [cs]*, Jan. 2013.
27. Hernandez C. et al. Team Delft's Robot Winner of the Amazon Picking Challenge 2016. *ArXiv:1610.05514 [cs]*, Oct. 2016.
28. Mahler J. et al. Dex-Net 2.0: Deep Learning to Plan Robust Grasps with Synthetic Point Clouds and Analytic Grasp Metrics. *ArXiv:1703.09312 [cs]*, Mar. 2017.
29. Argote L., Goodman P.S. *The Organizational Implications of Robotics*. p.
30. А.Г. Микитишин, М.М. Митник, П.Д. Стухляк, В.В. Пасічник Комп'ютерні мережі. Книга 1. [навчальний посібник] (Лист МОНУ №1/11-8052 від 28.05.12р.) - Львів, "Магнолія 2006", 2013. – 256 с.
31. А.Г. Микитишин, М.М. Митник, П.Д. Стухляк, В.В. Пасічник Комп'ютерні мережі. Книга 2. [навчальний посібник] (Лист МОНУ №1/11-11650 від 16.07.12р.) - Львів, "Магнолія 2006", 2014. – 312 с.
32. Микитишин А.Г., Митник, П.Д. Стухляк. Комплексна безпека інформаційних мережевих систем: навчальний посібник – Тернопіль: Вид-во ТНТУ імені Івана Пулюя, 2016. – 256 с.
33. Микитишин А.Г., Митник М.М., Стухляк П.Д. Телекомунікаційні системи та мережі : навчальний посібник для студентів спеціальності 151

«Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології» – Тернопіль: Тернопільський національний технічний університет імені Івана Пулюя, 2017 – 384 с.

34. Введення в комп'ютерну графіку та дизайн: Навчальний посібник для студентів спеціальності 174 "Автоматизація, комп'ютерно-інтегровані технології та робототехніка"/Укладачі: О.В. Тотосько, П.Д. Стухляк, А.Г. Микитишин, В.В. Левицький, Р.З. Золотий - Тернопіль: ФОП Паляниця В.А., 2023 - 304с. <http://elartu.tntu.edu.ua/handle/lib/41166>.

35. Пилипець М. І. Правила заповнення основних форм технологічних документів : навч.-метод. посіб. / Уклад. Пилипець М. І., Ткаченко І. Г., Левкович М. Г., Васильків В. В., Радик Д. Л. Тернопіль : ТДТУ, 2009. 108 с. <https://elartu.tntu.edu.ua/handle/lib/42995>.