

Міністерство освіти і науки України
Тернопільський національний технічний університет імені Івана Пулюя
(повне найменування вищого навчального закладу)
Факультет прикладних інформаційних технологій та електроінженерії
(назва факультету)
Кафедра автоматизації технологічних процесів та виробництв
(повна назва кафедри)

КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА

на здобуття освітнього ступеня

бакалавр

(освітній рівень)

на тему: Розробка робототехнічного комплексу для палетизації продукції
в картонних ящиках

Виконавці: студенти 4 курсу, групи КАс-41

Спеціальність 151

“Автоматизація та комп’ютерно-інтегровані технології”
(шифр і назва спеціальності)

Ловско А.А.

(підпис)

(прізвище та ініціали)

Полажинець І.І.

(підпис)

(прізвище та ініціали)

Керівник

(підпис)

Михайлишин Р.І.

(прізвище та ініціали)

Нормоконтроль

(підпис)

Козбур І.Р.

(прізвище та ініціали)

Завідувач кафедри

(підпис)

Савків В.Б.

(прізвище та ініціали)

Рецензент

(підпис)

Золотий Р.З.

(прізвище та ініціали)

А н о т а ц і я

В дипломній роботі використані такі терміни: промисловий робот, транспортування, робототехічна палетизація, вакуумний захоплювальний пристрій, палетизація PowerPac, розвантаження контейнерів.

Об'єктом дослідження є процес автоматизації палетизації продукції в картонних коробках.

Мета роботи – є розробка та тестування програми автоматизації робототехнічної комірки для палетизації продукції в картонних коробках.

Автоматизація розподільчих центрів та центральних складів сьогодні є життєво важливою темою. Проблемною, а також трудомісткою сферою на центральних складах є процедура вивантаження контейнерів, яка сьогодні все ще часто складається з ручної роботи. Процедура розвантаження контейнерів складається з вивантаження контейнерів, заповнених коробками різного розміру та ваги, та розміщення їх заздалегідь визначеною схемою на піддоні. Зниження ризику виробничого травматизму - це альтернатива, що розглядається все більшою кількістю компаній. В роботі оцінено потенціал використання роботизованої палетизації та відповідних допоміжних засобів для розвантаження контейнерів на централізованому складі. Це дослідження включало оцінку нещодавно розробленого програмного забезпечення Palletizing PowerPac, яке є програмним забезпеченням, призначеним для процедур палетизації. Проведено аналіз робочого середовища щодо ергономіки з метою дослідити, як його можна вдосконалити. З вибраним захоплювачем слід захоплювати коробки вагою менше 30 кг та довжиною сторін 600 мм або менше. Два рішення, ParseLift та Empticon, були оцінені як найбільш доцільні для використання у поєднанні з роботизованою палетизацією для розвантаження контейнера.

The following terms are used in the diploma work: industrial robot, transportation, robotic palletizing, vacuum gripping device, PowerPac palletizing, container unloading.

The object of research is the process of automation of palletizing products in cardboard boxes.

The purpose of the work is to develop and test a program for automation of a robotic cell for palletizing products in cardboard boxes.

Automation of distribution centers and central warehouses is a vital topic today. A problematic as well as time-consuming area in central warehouses is the procedure of unloading containers, which today still often consists of manual labor. The procedure for unloading containers consists of unloading containers filled with boxes of different sizes and weights, and placing them in a predetermined pattern on the pallet. Reducing the risk of occupational injuries is an alternative that is being considered by a growing number of companies. The paper evaluates the potential of using robotic palletizing and appropriate aids for unloading containers in a centralized warehouse. This study included an evaluation of the recently developed Palletizing PowerPac software, which is software designed for palletizing procedures. An analysis of the working environment in terms of ergonomics in order to explore how it can be improved. Boxes weighing less than 30 kg and side lengths of 600 mm or less should be gripped with the selected gripper. Two solutions, ParceLift and Empticon, were rated as the most suitable for use in combination with robotic palletizing for container unloading.

ЗМІСТ

ВСТУП	7
1 АНАЛІТИЧНА ЧАСТИНА	8
1.1 Методи палатезування продукції	8
1.2 Використання промислового робота в якості палатезатора	21
2 ПРОЕКТНА ЧАСТИНА	34
2.1 Постановка завдання	34
2.2 Вибір технічного устаткування	38
2.3 Система ідентифікації	41
2.4 Налагодження системи централізованого складу	44
3 СПЕЦІАЛЬНА ЧАСТИНА	67
3.1 Вибір програмного забезпечення	67
3.2 Палетизація PowerPac	72
4 БЕЗПЕКА ЖИТТЄДІЯЛЬНОСТІ, ОСНОВИ ОХОРОНИ ПРАЦІ	82
4.1 Значення охорони праці в забезпеченні здорових умов праці	82
4.2 Охорона праці як система заходів щодо гармонізації використання комп'ютерних технологій	82
4.3 Аналіз потенційних небезпек та шкідливостей виробничого середовища	84
4.4 Розрахунок освітленості робочого місця при розробці криптографічних систем	89
4.5 Електромагнітний імпульс ядерного вибуху і захист від нього радіоелектронних засобів	90
4.6 Забезпечення нормальних умов праці	92
4.6.1 Вибір приміщення	92
4.6.2 Забезпечення нормальних санітарно- гігієнічних умов на робочому місці	93
ВИСНОВКИ	98
ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ	99

ВСТУП

У часи посиленої глобалізації транспорт та попит на автоматизовані логістичні рішення також зростають. Сьогодні багато вантажів перевозять у контейнерах, на кораблях, поїздах та вантажних автомобілях. Управління завантаженням і вивантаженням товарів з контейнерів здійснюється різними способами залежно від виду товару та відстані. Якщо товари потрібно перевозити на великі відстані, важливий ступінь заповнення, що в багатьох випадках робить процес завантаження та розвантаження проблематичним.

Додаток "Вивантаження контейнерів" є поширеним серед різних розподільчих центрів, де товари перевантажуються для подальшого розподілу в різні універмаги. Процедура роботи складається з вивантаження контейнерів, наповнених коробками різного розміру та ваги, та розміщення їх за заздалегідь визначеним візерунком на піддоні для подальшого розподілу вантажівкою.

В роботі оцінено потенціал використання роботизованої палетизації та відповідних допоміжних засобів для розвантаження контейнерів на централізованому складі. Це дослідження включало оцінку нещодавно розробленого програмного забезпечення Palletizing PowerPac, яке є програмним забезпеченням, призначеним для процедур палетизації. Проведено аналіз робочого середовища щодо ергономіки з метою дослідити, як його можна вдосконалити. З вибраним захоплювачем слід захоплювати коробки вагою менше 30 кг та довжиною сторін 600 мм або менше.

1 АНАЛІТИЧНА ЧАСТИНА

У цій частині описано способи збору даних, оцінки програмного забезпечення RzPP та способу аналізу. Методологія розділена на чотири розділи: Збір даних, Оцінка палетизації PowerPac, Перевірка на фронтальній автоматизації та Аналіз пропонуваніх рішень.

Для початку дослідження літератури з використанням бібліотеки ТНТУ з електронною базою даних послужили базою для збору даних для теоретичних основ. Зібрані дані склалися з робочих позицій та рухів, часу циклу та точок зору оператора на робоче середовище. Дані складали фільми, фотографії та неструктуровані інтерв'ю з працівниками. Ергономічні дослідження були структуровані двома методами - швидкою оцінкою всього тіла (REBA) та Національним інститутом охорони праці (NIOSH) та програмним забезпеченням для моделювання людини Джеком. REBA використовується для аналізу пози, тоді як NIOSH фокусується на рухах і часто використовується в цьому типі операцій. Джек був використаний для візуалізації ергономічної проблеми та виділення конкретних частин тіла, які особливо обтяжені. Використовувались як методи, так і програмне забезпечення, оскільки вони доповнюють один одного. Ергономічний аналіз проводили у трьох випадках із різними підходами.

1.1 Методи палатезування продукції

Швидка оцінка всього тіла - це метод аналізу постави всього тіла [31]. Метод розглядає, наприклад, наскільки легким є об'єкт для захоплення та положення верхніх кінцівок. Погана ергономічна постава набуває вищих балів, ніж менш шкідлива. Якщо існує велика різниця в позах, метод також це враховує. REBA простий у використанні, оскільки не потрібно сучасне обладнання [32].

REBA складається в основному з чотирьох етапів:

1. Виберіть принцип зразка

2. Збирайте пози тіла
3. Проаналізуйте пози
4. Складіть результат

Вибірку можна відібрати шляхом виявлення поганих робочих позицій, аналізу вибірки часу або аналізу завдань. При виявленні поганих робочих позицій спостерігається весь робочий цикл і вибираються деякі небезпечні робочі пози. Аналіз вибірки часу відноситься до постави, яку має робітник / оператор у певний час, наприклад кожен десяту секунду протягом десяти-двадцяти хвилин. Для аналізу завдання робочий цикл поділяється на різні операції, якщо можна проаналізувати позу кожної операції.

У збірці пози тіла зазвичай використовується відеокамера, але просто фотографії добре працюють при ідентифікації робочих поз.

Під час аналізу пози та складання результатів важливо пояснити та мотивувати, чому постава викликає певний бал. Це сприятиме вдосконаленню роботи операцій.

Переглянуте рівняння підйому NOISH - це метод аналізу рухів під час підйому [31] [33]. Експерти Національного інституту охорони праці в США розробили рівняння, яке враховує фактори, пов'язані з допустимими навантаженнями, щоб визначити граничні значення максимального навантаження, з яким слід боротися. Двома загальними обмежувальними значеннями є: Границя дії (AL, що рекомендована межа підйому) та Максимально допустима межа (MPL, що є максимальною межею підйому). Значення, нижчі за AL, можуть виконувати 99% усіх чоловіків та 75% усіх жінок без ризику отримати травму. Робочі ситуації, які дають значення вище рівня MPL, вказує на те, що існує великий ризик постраждати, і ці ситуації слід негайно покращувати.

Рівняння Рекомендованого обмеження ваги (RWL):

$$RWL = 23 * H_m * V_m * D_m * A_m * F_m * C_m \text{ kg}$$

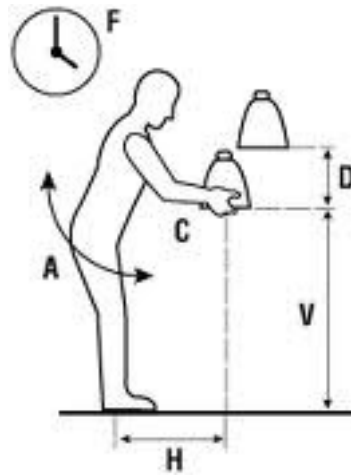


Рис. 1.1 Визначення підйомних змінних H, V, D, A, F і C.

де,

H_m = горизонтальний коефіцієнт = $25 / \text{год}$, де H - горизонтальна відстань від ніг оператора до положення захоплення об'єкта.

V_m = коефіцієнт вертикалі = $1 - 0,003 | V - 75 |$, де V - вертикальна відстань від ніг оператора до положення захоплення об'єкта.

D_m = коефіцієнт відстані = $0,82 + 4,5 / D$, де D - відстань підйому.

A_m = асиметрична константа = $1 - 0,0032A$, де A - асиметричний кут відносно верхньої частини тіла під час підйому.

F_m = коефіцієнт частоти і має значення від нуля до одиниці. Це значення можна знайти в таблиці 6 Додатка - Ергономіка.

C_m = коефіцієнт зв'язку, який має значення від нуля до одиниці, а також отриманий з таблиці 7 у Додатку - Ергономіка.

Центр моделювання та моделювання людини в Університеті Пенсільванії почав розробляти Джека в середині 1980-х. На початку розробки вони мали значну підтримку з боку армії США та NASA, але сьогодні вона продається та розробляється багатонаціональною конгломерованою компанією Siemens.

Джек - це інструмент людського моделювання, придатний для ергономічного аналізу у виробничих середовищах. Представлення моделі розвивалось протягом багатьох років і в даний час базується на антропометричних, анатомічних та біомеханічних даних, див. Рисунок 21 [34].

Людина, яку також називають манекеном, має обмеження в рухах суглобів, що повністю відповідає реальним рухам людини. Наприклад, плечі базуються на зворотних кінематичних алгоритмах, щоб переконатись, що тіло не може рухатися у дивні пози. Програмне забезпечення підтримує різні типи САД-файлів, що полегшує організацію робочого середовища, де діє манекен. Також доступні інші інструменти аналізу, напр. виявлення зіткнень та конверт охоплення, з метою підтримки при проектуванні робочого місця.

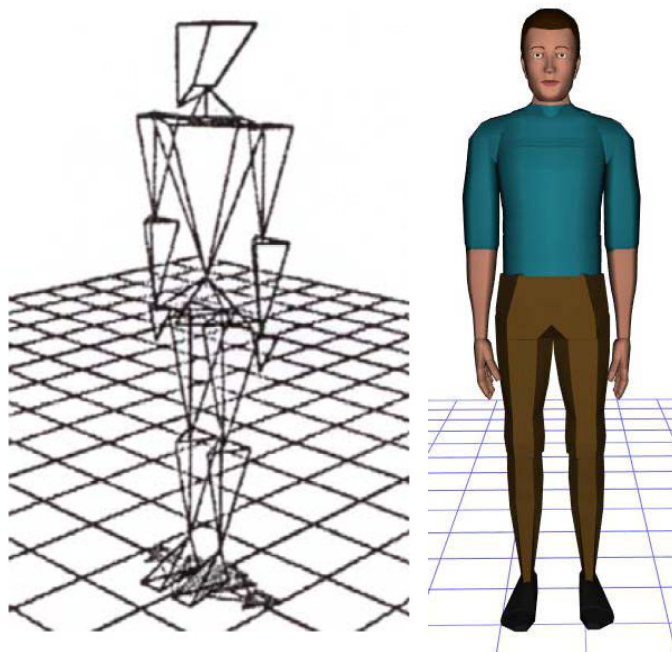


Рис. 1.2. Представництво людини у Джеку з 1980-х ліворуч і поточне представлення праворуч

Програмне забезпечення дозволяє створювати анімацію в Конструкторі моделювання завдань. У конструкторі можна складати різні завдання, напр. покласти, пройти і досягти, в послідовність. З цієї послідовності можна отримати ергономічний звіт, що складається з кутів з'єднання, крутних моментів та відсотка населення, яке здатне виконати послідовність без ризику травм.

Для вибору найбільш підходящого та застосовного рішення були використані два систематичні методи оцінки - матриця П'ю та матриця Кессельрінга. У матриці П'ю різні рішення порівнюються з еталонними, які

часто становлять існуюче рішення. Це порівняння базується на заздалегідь визначених критеріях. Рішення, які є кращими чи гіршими за еталонні в конкретних критеріях, отримують плюс відповідний мінус. Якщо неможливо відокремити розчин і еталон, нуль позначається нулем. Рішення з найвищою чистою вартістю передаються подальшому процесу розробки.

Другий метод, що використовується, матриця Кессельрінга, використовує ті самі критерії, але в цій матриці критерії зважуються. Вага варіюється від одного до п'яти, і якщо критерій важливий, присвоєне значення - п'ять. Загальний бал рішень порівнюється з ідеальним рішенням.

Parcelift, що виробляється компанією Vaculex, є неавтоматичним підйомним засобом на основі вакууму та допомагає оператору в підйомі. Цей підйомний засіб можна застосувати до існуючої конвеєрної стрічки, див. Рис. 1.3. Parcelift спеціально розроблений для завантаження та розвантаження контейнерів [35]. З ергономічної точки зору цей допоміжний пристрій кращий за ручну роботу [36]. Інструмент можна прикріпити до коробки з усіх боків, що збільшує його гнучкість.

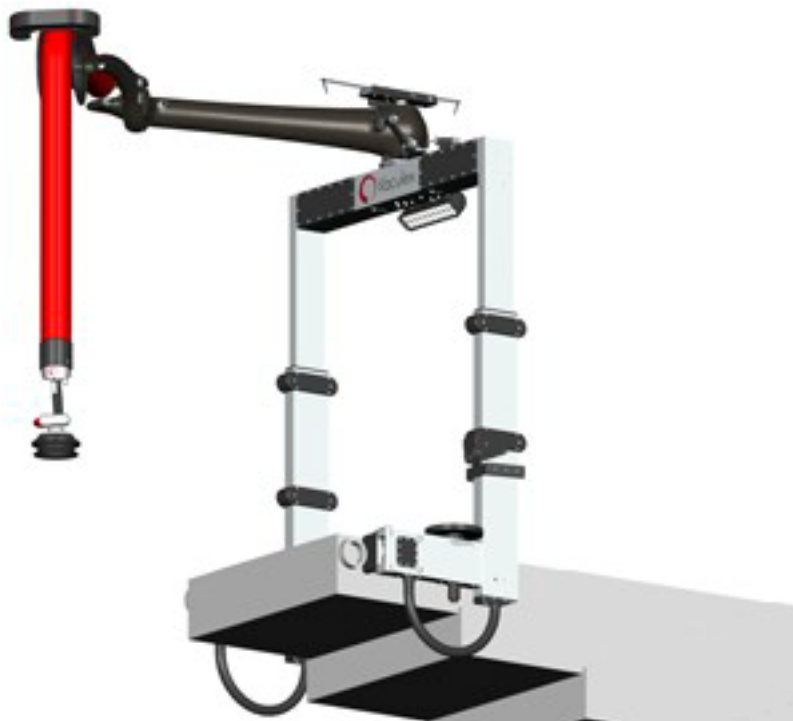


Рис. 1.3. Parcelift

ParcelLift має рекомендоване максимальне навантаження 40 кг, а розвантажувальна здатність обмежена оператором. Він підходить як для 20-футових, так і для 40-футових контейнерів, оскільки застосовується до конвеєрної стрічки. Інвестиційна вартість, яка включає повну установку, становить 250 000 шведських крон [37].

Іншим існуючим рішенням для вивантаження контейнера без палетизації продуктів є Empticon [38].



Рис. 1.4. Empticon.

Він виготовляється компанією Univeyog у Данії та полегшує збирання картону з контейнера на конвеєр. Empticon заснований на телескопічному конвеєрі, який здатний досягати всіх коробок в контейнері. У передній частині конвеєра Empticon обладнаний сімома руками. Кожна рука, у свою чергу, забезпечена присоскою. Ці озброєння кріпляться до коробки / -ов та тягнуть її / їх до конвеєра та опускають у прорізи стрічки, щоб не заважати коробкам. Потім працівник переводить Empticon до наступної коробки за допомогою бездротового пульта управління, див. Рис. 1.5.



Рис. 1.5. Пульт бездротового управління

Картонні коробки, якими може займатися Empticon, повинні мати розміри більше 150x150x150 мм в довжину, ширину та висоту та менше 1000x800x800 мм. Максимальна вага картонної коробки - 40 кг. Empticon можна використовувати як для контейнерів на 20, так і на 40 футів, а також для контейнерів із високим кубом розміром 40 футів. Використовуючи Empticon, кваліфікований та навчений оператор може вивантажувати 600 коробок на годину і навіть більше, якщо є можливість вибрати дві або три коробки одночасно. Інвестиційна вартість Empticon становить 1 000 000 шведських крон, але зверніть увагу, що ця ціна включає навчання, доставку та монтаж.

Ще однією машиною, яка не управляється вручну, є повністю автоматизований ParcelRobot, див. Рисунок 25 [39]. Ця система базується на 3D-лазерному сканері, комп'ютері та роботі. Процедура починається з того, що лазерний сканер сканує зразок картону і передає дані на комп'ютер, який, у свою чергу, обчислює положення захоплення та траєкторію руху до цього положення. Система також враховує доступність положення зчеплення та уникнення зіткнень. Робот захоплює коробку вакуумною прокладкою під назвою UniGripper, і коли робот вибрав коробку, він поміщає коробку на конвеєрну стрічку [40]. Коли вибрано всі доступні коробки, телескопічний конвеєр можна продовжити далі в контейнер. Ця система може використовуватися як для 20-футових, так і для 40-футових контейнерів.

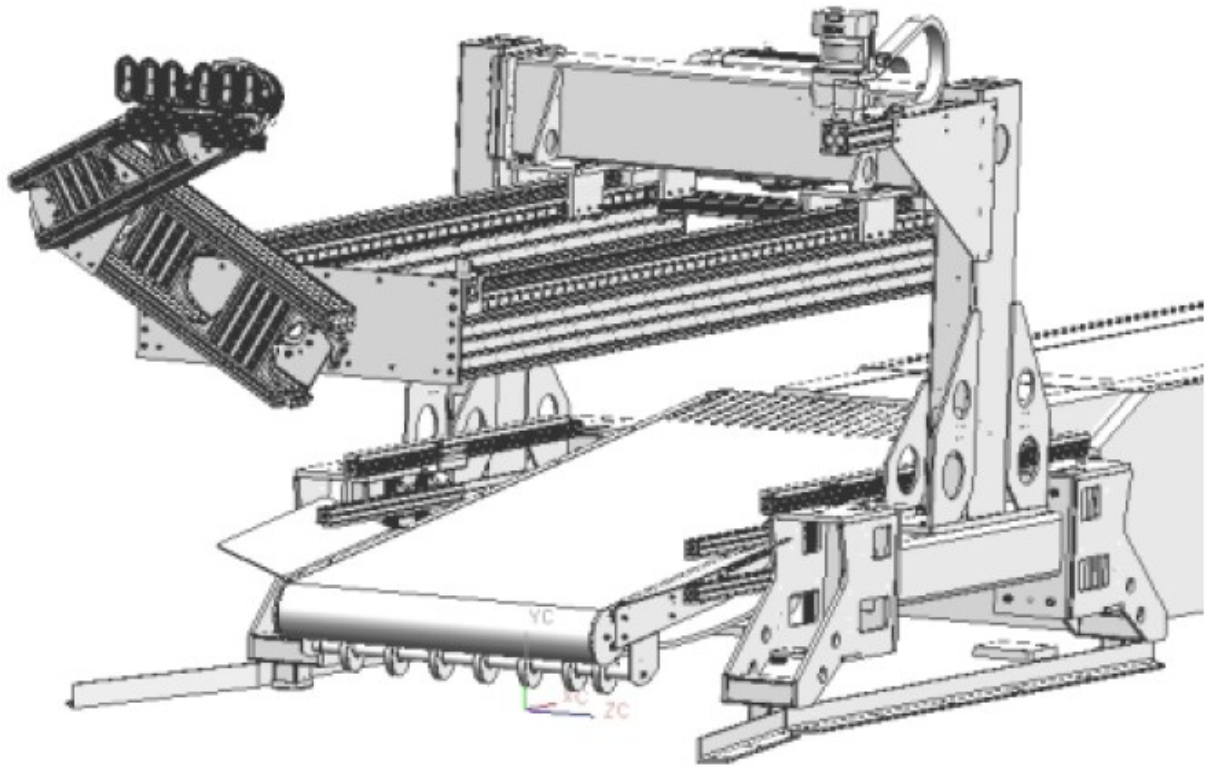


Рис. 1.6. ParcelRobot.

ParcelRobot дозволяє вивантажувати до 500 коробок на годину, а коробки вагою до 60 кг можна обробляти. Розміри коробки можуть різнитися від 200 до 600 мм для кожної довжини краю [41]. Інвестиційні витрати на цю систему складають 2 500 000 шведських крон.

Компанія Universal Robotics розробила програму під назвою “Random Box Mover” (RBM) для виявлення, ідентифікації та переміщення коробок, розподілених у випадковому порядку. RBM використовує структуровані світлові та недорогі камери для стереоскопічного 3D-бачення, див. Рис.1.7.

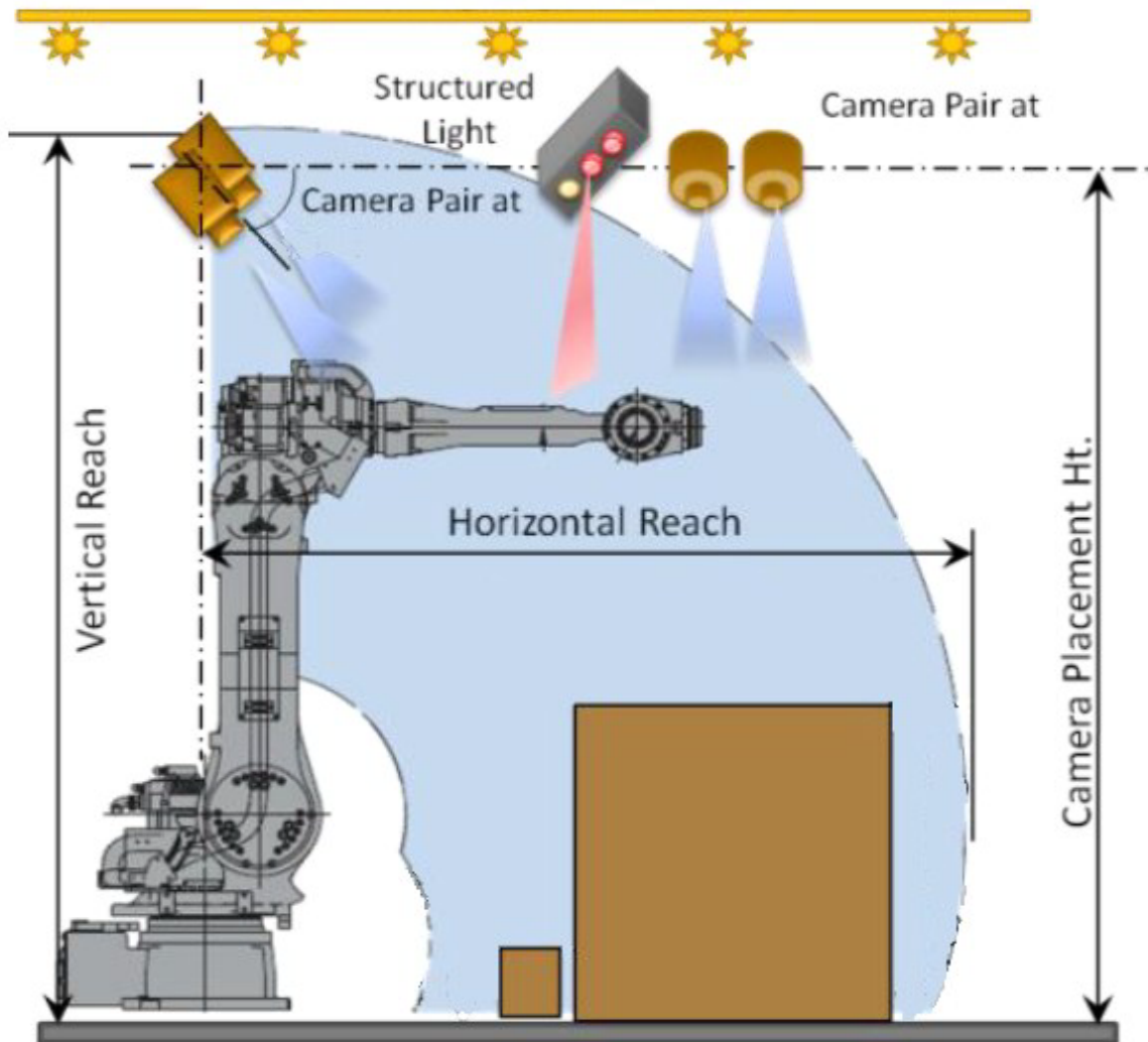


Рис. 1.7. Основний макет Random Box Mover.

Обробкою зображень керує власне програмне забезпечення компанії Spatial Vision Robotics, яке генерує положення картону за допомогою координат (X, Y та Z) разом із обертанням картону в заданому координатному кадрі. Це служить входом до програмного забезпечення на базі ПК, де інформація перетворюється на вибраний робот-контролер, і в результаті робот знає, де знаходиться коробка. Система універсальна в тому сенсі, що працює з декількома різними марками і моделями роботів. У поєднанні з роботом Motoman MH50-20, що використовує контролер DX100, RBM здатний переміщувати 720 коробок на годину, які розташовані в будь-якій орієнтації. Додаток управляє коробками розмірами від 152 x 152 x 3 мм до кубічних

коробок із довжиною сторін 1219 мм. Точність може варіюватися від $\pm 0,5$ мм до ± 5 мм залежно від вимог точності [42].

Типовий сценарій дії картону в контейнері можна побачити на рисунку 1.8 Картонні коробки розташовані в різних орієнтаціях та на різній глибині в контейнері.



Рис. 1.8. Зверху, коробки в контейнерах різної орієнтації. Середнє, геометрія картону визначається як єдине ціле. Знизу кожен вікно ідентифікується як сутність.

По-перше, програмне забезпечення виявляє та генерує загальний тривимірний вигляд картону, див. Рис. 1.8. Оскільки в цьому випадку є кілька коробок, програмне забезпечення вибирає коробки, які є найближчими до робота. Якщо всі коробки розташовані на однаковій відстані, буде обрано найбільш розташовані коробки.

По-друге, ідентифікується кожна коробка та її просторове положення щодо визначеної координатної системи. Це показано на рисунку 1.8., і оскільки найвища, ліва коробка найближча, ця коробка також буде обрана першою.

Використовуючи програму забезпечення для роздумів, 3D-калькулятор, який надає Universal Robotics, можна визначити, коли відстані слід вказувати камери, щоб мати бажане поле зору. За якістю вхідних даних визначаються розмір коробки, охоплення роботи, розмір робочого конверта, а також місце розташування та тип камери.

TEUN, розроблений компанією Ergolog B.V, є повністю автоматичним системним рішенням для вивантаження контейнерів, завантажених підлогою, палетизації коробки та, нарешті, загортання їх у поліетиленову плівку [43]. На рисунок 1.9 показано TEUN в експлуатації. TEUN пропонується як послуга, а ціна за вивантажений контейнер коливається від 500 SEK до 2000 SEK. Різна ціна залежить від додаткових послуг, таких як зважування, обгортання, маркування та багато іншого.



Рис. 1.9. TEUN з інтегрованим розвантаженням, палетизацією та загортанням картону

Система складається з шестивісного робота Stäubli TX200 з корисним навантаженням 125 кг разом із системою зору для виявлення коробки. TEUN може обробляти коробки з розмірами поверхні від 100x100 мм до 600x600 мм.

Спочатку робот сканує вміст контейнера. Потім коробки захоплюються за допомогою вакуумного захоплювача і розміщуються запрограмованим рисунком на піддоні. Коли піддон закінчений, він автоматично транспортується до наступної станції для обгортання. Оскільки це автоматична система, єдиною необхідною ручною роботою є обслуговування TEUN новими піддонами та транспортування готових піддонів. Як результат, це оптимальне рішення щодо ергономіки.

Copal - це напівавтоматичне рішення, розроблене Copal Development BV для вивантаження коробки з контейнера, див. Рис. 1.10. Процедура

вивантаження починається з того, що оператор підводить маніпулятор до коробки. Коли маніпулятор знаходиться в положенні захоплення, оператор дозволяє присоски прикріпити до коробки, натискаючи кнопку. Потім оператор рухає рукою до конвеєрної стрічки, де випускаються коробки. Після цього машина виготовляє палети автоматично за заздалегідь визначеним шаблоном.

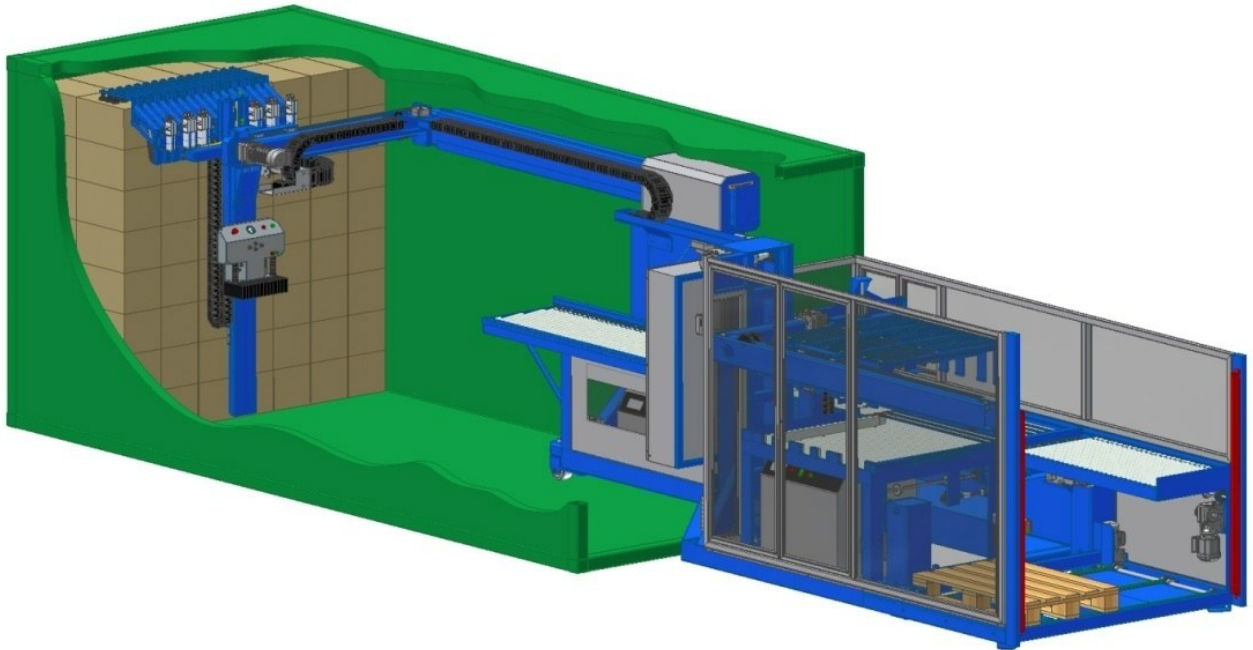


Рис. 1.10. Soral

Він складається з кронштейна, який повертає картонні коробки в потрібному напрямку, перш ніж картонні коробки розташовуються у заздалегідь визначеному шарі. Весь шар розташовується в буферній зоні, перш ніж він переміститься на піддон. Soral підтримує як стрингер-піддони, так і блок-палети, і може піддонувати коробки на висоті 185 см [44]. Soral може використовуватися як для 20-футових, так і для 40-футових контейнерів і має потужність розвантаження та палетизації 1500 коробок на годину. Інвестиційні витрати на це системне рішення становлять 3 475 000 шведських крон.

У розподільчому центрі ІКЕА в Торсвіку коробки вивантажують із контейнерів, щоб перевантажити інші контейнери для подальшого розподілу.

Щотижня вивантажується приблизно 100 контейнерів, і процедура виконання цього відрізняється від способу вирішення проблеми інших компаній. Вони перевозять свої товари на невеликих картонних піддонах, що забезпечує процедуру розвантаження вантажівкою. 40-футовий контейнер вивантажується протягом однієї години і вимагає лише двох операторів.

Ще одна компанія, яка зіткнулася з проблемою розвантаження контейнерів, - Attends Healthcare в Анебі. На Attends щомісяця прибуває та розвантажується 60 контейнерів, і представлено приблизно п'ятнадцять коробок різних розмірів. Процедура розвантаження складається з ручного переміщення картону з контейнера на конвеєрну стрічку. Перед тим, як його палетизувати роботом IRB 460, коробки розташовуються у різних формах на конвеєрній стрічці. Вся система вимагає трьох операторів. Інструмент, що використовується для захоплення коробки, є стандартним інструментом АББ для палетизації, Flexgripper [45]. Flexgripper складається з 40 присосок, розділених на десять зон, і має максимальну вагу на підйом 40 кг. Інструмент може обробляти коробки максимальним розміром 1200x500x300 мм та мінімальним розміром 240x240x100 мм. Самозахоплювач має вагу 75 кг.

1.2 Використання промислового робота в якості палатезатора

Для подальшого розуміння проблеми представлений опис характеристик галузі. Цей розділ починається із загальної інформації про перевезення предметів контейнерами, а далі опису того, що слід враховувати при палетизації.

Оскільки глобалізація зростає, збільшуються і перевезення готової продукції. Багато з найбільш швидкозростаючих економік виробництва розташовані в Південно-Східній Азії, але споживання на душу населення все ще є найвищим у Західному світі [4] [5]. Найефективнішою альтернативою перевезення на цій далекій відстані є судно, див. Рис. 1.11 [6].

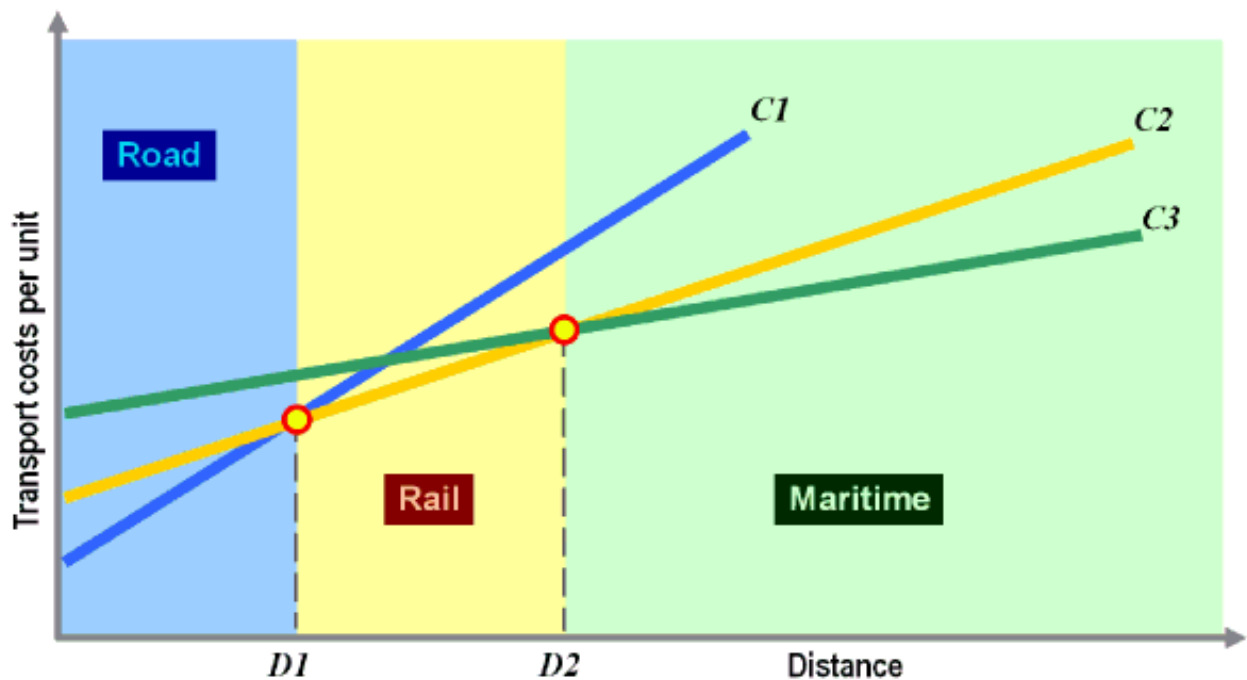


Рис. 1.11. Транспортні витрати за одиницю на відстані

Коли відстані менші, вигідніше та гнучкіше перевозити вантажівкою або поїздом. Цифра охоплює три найпоширеніші транспортні системи, де $C1$ - вартість перевезення однієї одиниці вантажівкою, $C2$ - вартість перевезення однієї одиниці поїздом, а $C3$ відноситься до вартості транспортних перевезень однієї одиниці. Відстань $D1$ зазвичай знаходиться між 500 і 750 км від вильоту, тоді як $D2$ близько 1500 км. Примітно, що ця цифра - це простота реальності, і для подальшого аналізу транспортної ситуації в конкретному випадку потрібна більш точно розрахована версія.

У 2009 році суднові перевезення перевищують 27 мільйонів TEU [7], де один TEU дорівнює одному 20-футовому контейнеру. При перевезенні вантажів на кораблі найпоширенішим способом є використання контейнерів. Головною перевагою використання суден замість поїздів є обсяг перевезень, який значно вищий для суден. Продукти, які не залежать від часу, також корисні для транспортування на судні. В основному є три різні типи стандартних контейнерів, 20-футовий, 40-футовий і 40-футовий високий куб [8].

Палетизування означає розміщення коробки, мішків або іншої упаковки заздалегідь визначеним шаблоном на піддоні. Піддон, див. Рис. 1.12 [9], є обладнанням, що використовується для полегшення обробки матеріалів. Він також захищає товари від брудної та вологої підлоги під час транспортування та зберігання.



Рис. 1.12. Палета

Тільки в США у 2002 р. Було використано понад 400 різних розмірів піддонів [10]. Міжнародна організація зі стандартизації (ISO) намагалася стандартизувати один розмір піддону, але не змогла цього зробити. Замість того, щоб мати міжнародний стандарт на піддони, у ISO 6780: 2003 було визначено шість розмірів піддонів, і різні розміри більш-менш загальні залежно від того, які континентальні піддони використовуються [11]. У Європі найпоширеніші піддони з розмірами 1200 x 800 мм, тоді як розміри 1100 x 1100 мм найчастіше використовуються в Китаї [10]. Звичайно, це створює проблеми при експорті та імпорті між континентами. Оскільки використовуються різні розміри, обладнання для навантажувача, таке як навантажувачі та системи зберігання, може бути несумісним з різними розмірами піддону. Це, у свою чергу, збільшує загальну транспортну вартість товару через необхідність депалетизації та повторної палетизації, а також створює менш ефективний у часі логістичний ланцюг [10]. Крім того, норми

фітосанітарного контролю додають труднощів при обміні піддонами з інших регіонів [12].

Ступінь заповнення має велике значення. Оскільки піддони займають обсяг в контейнері, який, переважно, слід використовувати для товарів, замість цього палети не є звичайними при контейнерних перевезеннях. Це для повного використання обсягу контейнера, таким чином максимізуючи вартість товару [10]. Натомість палетування виконується у приймачі, щоб уникнути згаданих раніше проблем з обробкою матеріалів та мінімізувати витрати. Цінність продуктів сильно відрізняється між різними підприємствами, а на деяких підприємствах, таких як електронні, навіть вигідне палетизувати готову продукцію перед завантаженням контейнера [13].

Промислові роботи використовуються з 1961 року, коли перший робот був впроваджений на заводі General Motors в Нью-Джерсі [14]. Сьогодні промислові роботи застосовуються в робочих середовищах, які є незручними або небезпечними для людини. Там, де потрібен високий ступінь точності та повторюваності, напр. при дуговому зварюванні роботи також вигідні для реалізації.

Різниця між точністю та повторюваністю проілюстрована на рисунку 1.13 [15]. Визначення повторюваності - це здатність робота знову і знову досягати певного положення. Точність робота визначає, наскільки тісно він може досягти цього положення.

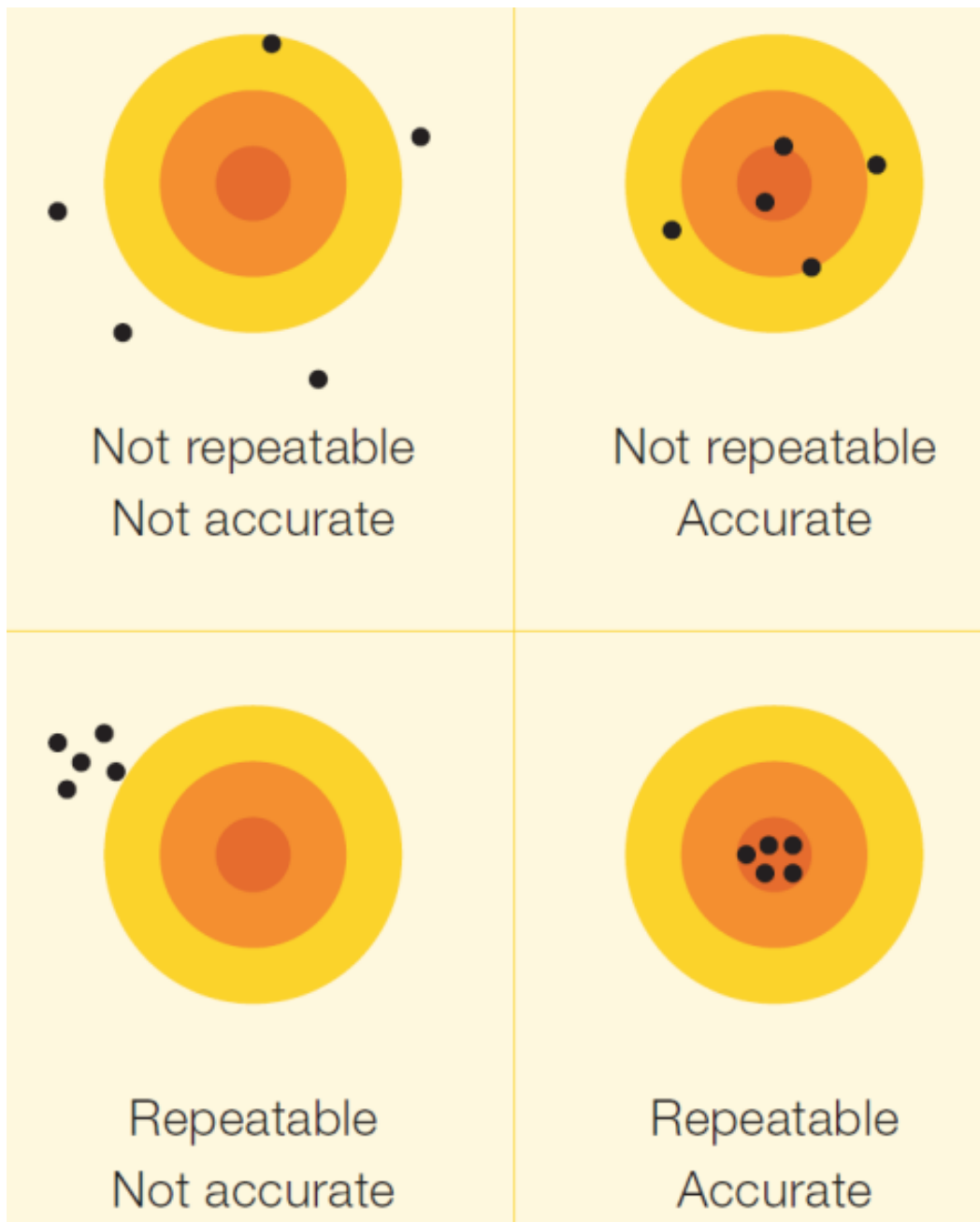


Рис. 1.13. Ілюстрація точності та повторюваності.

Роботи побудовані з суглобів і ланок, які легко можна порівняти з людським тілом. Кожна ланка з'єднана спільно з іншою ланкою. Кожне з'єднання, або вісь, забезпечує роботіві ступінь свободи руху, а кількість ступенів свободи часто класифікує роботів. Типи суглобів можуть існувати як у формі поступальної, так і обертальної характеристики. Майже всі промислові роботи виготовлені з використанням одного або декількох із цих п'яти типів з'єднань, див. Рисунок 1.14:

Лінійна - осі вхідної та вихідної ланок паралельні. Це поступальний ковзний рух.

Ортогональний - Цей тип з'єднання такий самий, як і тип лінійного з'єднання, але вихідна ланка перпендикулярна до вхідної ланки під час руху.

Обертальний - при цьому обертальному русі обертання відбувається навколо осі, яка перпендикулярна осям вхідних і вихідних ланок.

Скручування - те саме, що і обертальний шарнір, але обертальний рух знаходиться навколо осі, паралельної осям ланок.

Обертається - рух суглоба цього типу суглоба є таким самим, як і тип скручування, але вихідна ланка перпендикулярна до вхідної ланки під час руху.

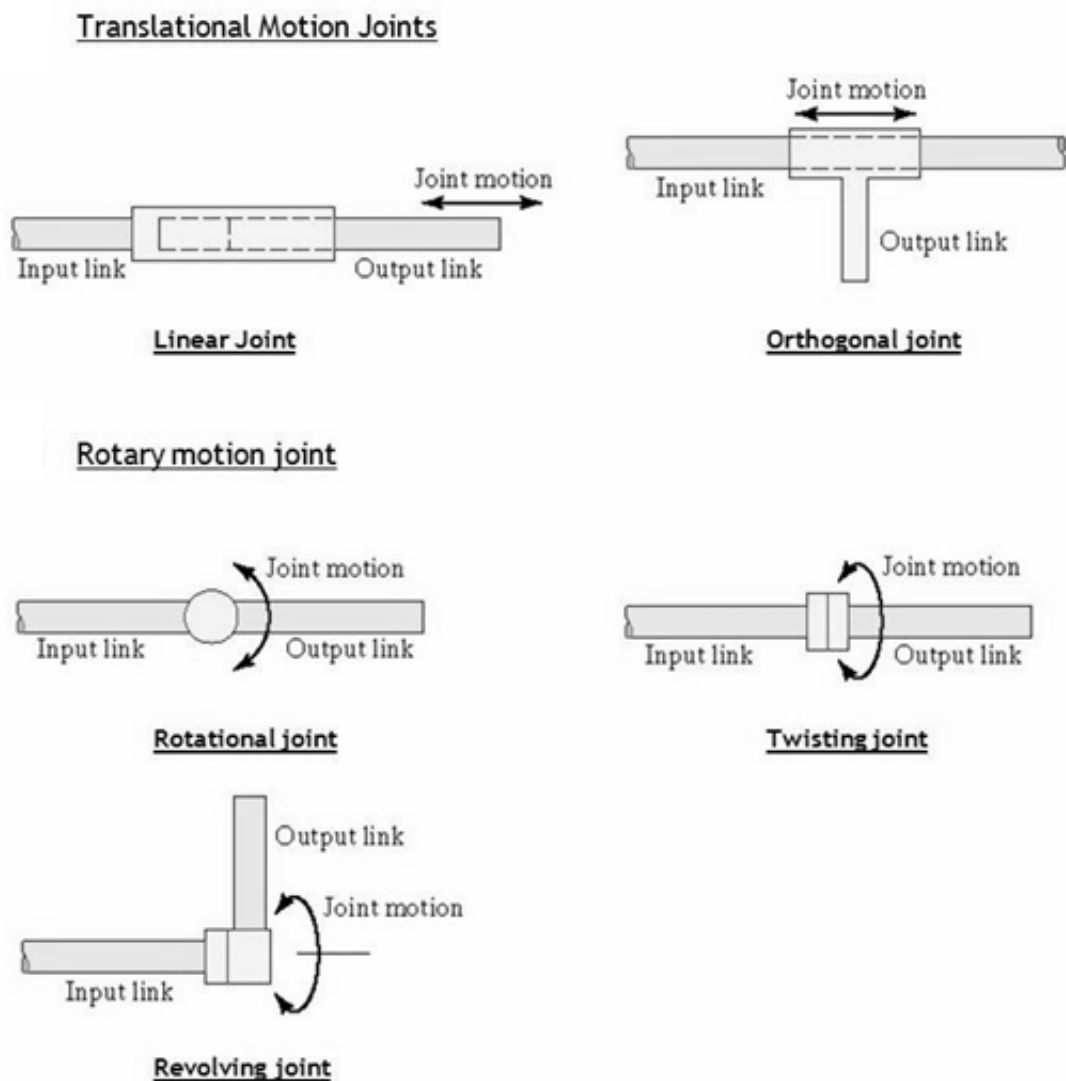


Рис. 1.14. Ілюстрація п'яти типів суглобів

Промислове застосування роботів в основному класифікується на три різні категорії: обробка матеріалів, операції з обробки та складання та перевірки. У категорії поводження з матеріалами є два типи поводження; передача матеріалу та машинне розвантаження та / або завантаження. Передача матеріалу відноситься до роботи з підбору та палетизації, коли робот бере деталі, коробки або інші предмети з одного положення і розміщує їх за певним візерунком на піддоні. Ці операції в основному виконуються чотиривісними роботами, які складаються з двох обертальних шарнірів та двох скручувальних шарнірів, див. Рис. 1.15 [16] [17]. Що стосується машинного завантаження або вивантаження, потрібен більш гнучкий робот, і тому шестивісні роботи частіше використовуються для такого роду операцій. Шестивісний робот складається з трьох обертальних шарнірів та трьох скручувальних шарнірів і є більш придатним у складних умовах.

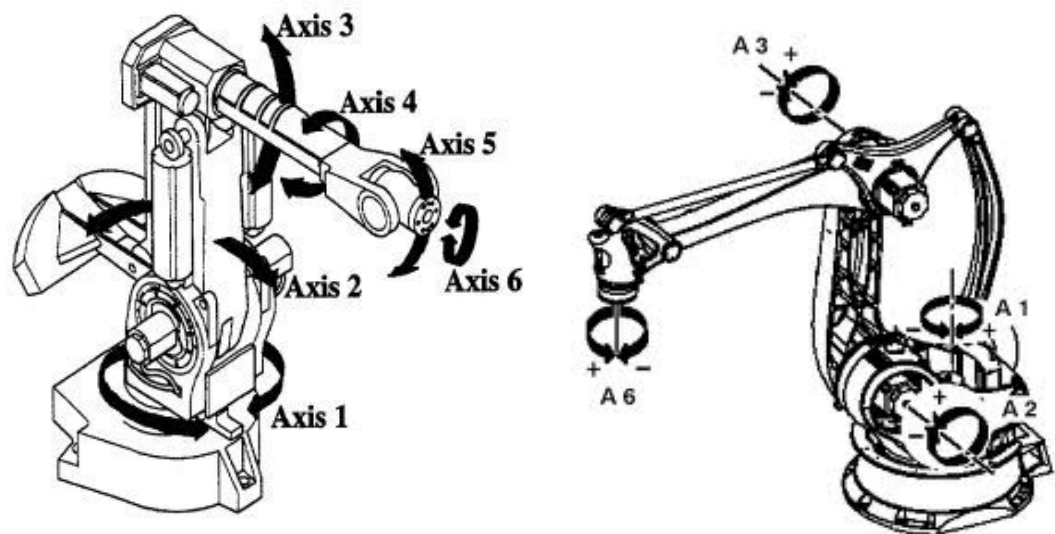


Рис. 1.15. Шестивісний робот ліворуч і чотиривісний робот праворуч

У таких технологічних операціях, як точкове зварювання, дугове зварювання, розпилення покриттям, роботи переважно застосовуються через рівень якості та повторюваність, яку може досягти робот. У таких операціях

важлива можливість регулювання кута нахилу інструменту, тому переважно використовуються б-осьові роботи.

Збірка та інспекція - це поєднання двох попередніх категорій. У більш простих і частих операціях економічно вигідно впровадити робота, замість того, щоб працівники виконували ці операції з ризиком отримати ергономічні травми. В операціях, де потрібен високий ступінь гнучкості, люди все ще є найкращим рішенням [14].

1.3 Захоплювальні системи для палатезиції

У цьому розділі буде описано, що таке визначення захоплювача, наведені приклади різних типів технологій захоплення, що використовуються в автоматизованих системах, та визначено вимоги, що пред'являються до захоплювача. Також буде надано більш глибоке пояснення вакуумних захопників та способи досягнення вакууму.

Захоплення визначаються одним способом як [22]:

«Захоплювачі - це підсистеми механізмів транспортування, які забезпечують тимчасовий контакт із об'єктом маніпулювання. Вони забезпечують положення та орієнтацію при перенесенні та сполученні об'єкта вантажно-розвантажувального обладнання »

Існують різні способи захоплення предмета. На рисунку 1.16 показано захоплення сферичного предмета за допомогою шести варіантів захоплень [22].

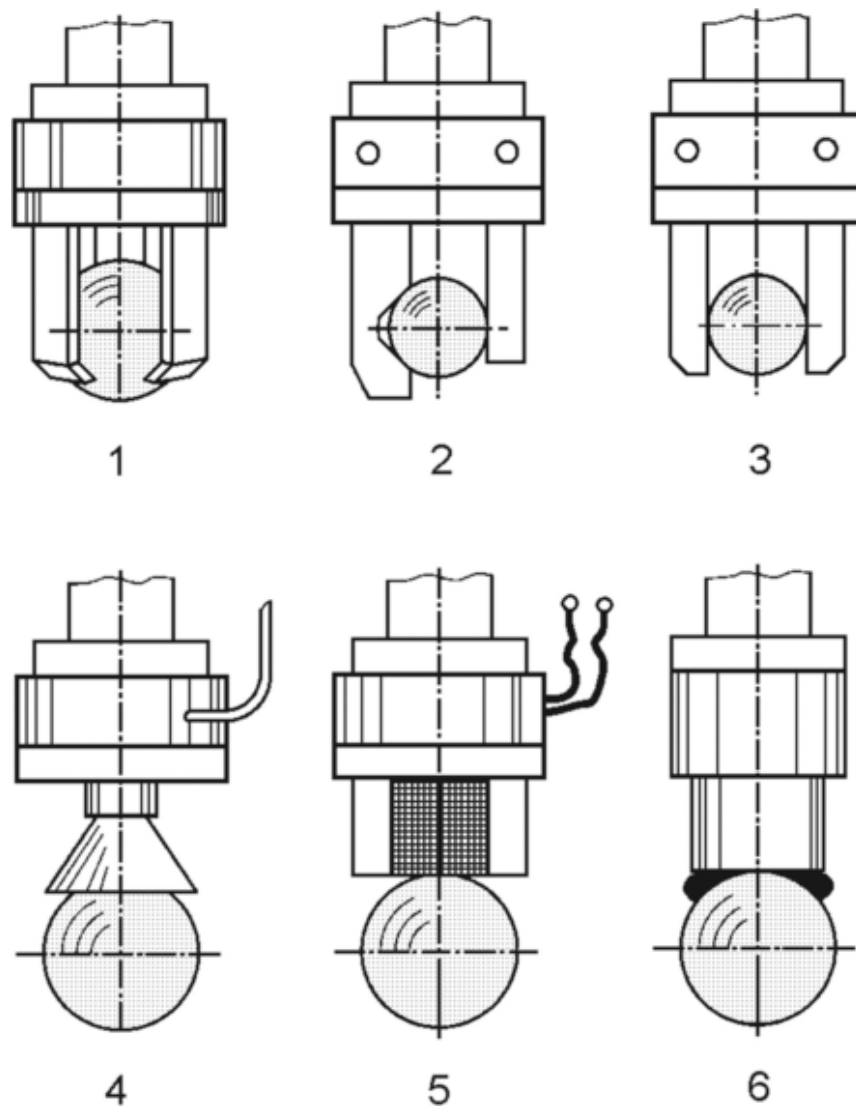


Рис. 1.16. Шість різних способів захоплення сферичного предмета.

Класифікація захопників може бути розділена на чотири різні категорії, як показано нижче:

Механічні захоплення

Інгресивні захоплювачі

Контигуйтивне попередження

Астриктивні захоплювачі

Ефективні механічні захоплювачі, наприклад захвати два та три на рисунку 1.16, використовують механічну силу, щоб захопити предмет. Ці захоплювачі є найбільш часто використовуваними типами і, як правило, складаються з двох або чотирьох пальців, залежно від предмета, який потрібно захопити. Для маніпулювання пальцями використовуються різні системи

приводу. Приводні системи бувають механічного, пневматичного, гідравлічного або магнітного типів. Вибір відповідної системи залежить від критеріїв та рейтингу, таких як сила зчеплення, витрати, обслуговування та керованість. Типовими матеріалами предметів для ударних механічних захопників є тверді предмети.

Інгресивні захоплювачі використовуються для предметів, виготовлених з нетвердих матеріалів, таких як текстиль. Використовуючи зазубрені краї, досягається стискання, схоже на шіпку. На відміну від невдалих захватів, інгресія застосовується на одній поверхні, і предмет можна утримувати без необхідності постійного прикладання сили.

Контигутивне затягування включає захоплювачі, які використовують або хімічну, або термоадгезію, див. Захопник шість на рисунку 1.16. Що стосується хімічної адгезії, стрічки, які накручуються на котушки, або постійно липкі прокладки використовуються для прикріплення предмета до захоплення. Це вимагає заміни стрічки або очищення прокладок через кілька циклів, щоб отримати однакову силу утримання. При термоадгезії використовуються невеликі крапельки води в поєднанні з рідким вуглекислим газом. У міру замерзання води між предметом та захопленням утворюється клейовий шар.

Астриктивні захоплювачі мають здатність забезпечувати силу утримання без необхідності будь-яких стискаючих напружень. Вакуумне всмоктування, електро- та магнітна адгезія, див. Захоплення чотири та п'ять, є прикладами цього типу технології захоплення. Захвати цього типу вимагають постійного потоку енергії, тобто повітря або електрики, щоб зберегти утримання між предметом та захоплювачем [22].

При виборі захоплювача в дію входять чотири характеристики та вимоги [22]:

Технологічні вимоги

Ефекти захоплених предметів

Перевантажувальне обладнання

Параметри навколишнього середовища

Час попереднього натягу, шлях захоплення та кількість об'єктів, захоплених за цикл, визначаються як технологічні вимоги. Вплив на захоплені предмети включає масу, тип матеріалу, температуру та допуски об'єкта. Одним з прикладів є те, що захоплення, що використовують магнітоадгезію, обмежені магніточутливими предметами, такими як залізо та сталь. Існують кореляційні зв'язки між захоплювачем та об'єктом, такі як маса об'єкта та необхідна сила захоплення, положення об'єкта та захоплення, які слід враховувати. Факторами, що стосуються обладнання для обробки, є бажаний тип з'єднань, механічних, електричних або рідинних, а також позиційна точність об'єкта, що вимагається додатком. Параметри навколишнього середовища включають температуру та вологість навколишнього середовища, вібрації та можливі забруднення.

В автоматизованих процесах з короткими циклами, коли об'єкт є відносно жорстким і має непористу поверхню, підходить вакуумне захоплення [23]. Залежно від конструкції вакуумного захоплюючого інструменту, пластикові пакети та предмети з криволінійними поверхнями також підлягають цьому типу захоплення [22]. Існують різні типи підходів до захоплення, де використовуються або присоски, або вакуумні прокладки, як показано на рисунку 1.17 [24]. Вакуумна накладка складається в основному з трьох частин, але конструкція деталей та додаткові функції різняться залежно від виробника [24] [25]. Верхня частина на рисунку 1.17 - корпус для вакуумного генератора та манометр для вимірювання отриманого вакууму. Середня частина - це клапанний модуль, який містить клапани регулювання вакууму. Внизу використовується пінопластовий ущільнювальний килимок для надійного захоплення предметів та зменшення ковзання.

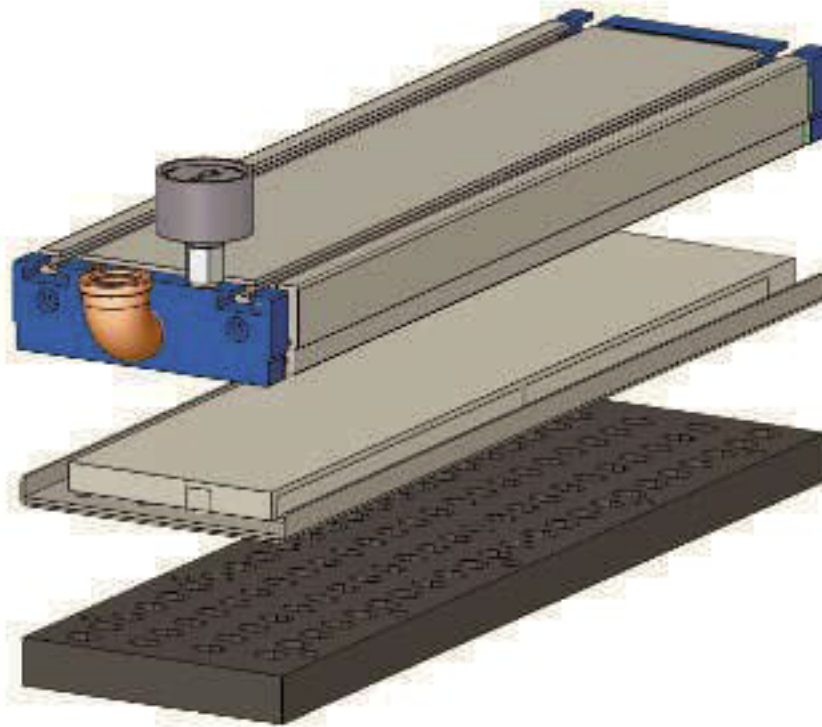


Рис. 1.17 Розгорнутий вид вакуумної подушки

На рівні моря атмосферний тиск становить 101,325 кПа або 1013 мбар. Зі збільшенням висоти атмосферний тиск зменшується. Для виникнення вакууму повинна існувати різниця в атмосферному тиску та прикладеному вакуумному тиску. Сила попереднього натягу F_p на об'єкт має пропорційне лінійне відношення до цих тисків та площі поверхні попереднього натягу A як, рів. 5,3 [22]:

$$F_p = (\sigma_0 - \sigma_u) * A = \Delta p * A \quad (1)$$

де,

σ_0 = атмосферний тиск [бар]

σ_u = прикладений вакуумний тиск [бар]

A = ефективна площа інтерфейсу між присоском і поверхнею предмета
[м2]

Для захоплюючих захватів, що використовують вакуумне всмоктування, вакуум створюється вакуумним генератором, який очищає повітря між подушечкою та предметом. Оскільки накладка і предмет стикаються, повітря не може потрапити і створюється вакуум.

Коли досягнуто попередження, слід враховувати додаткові фактори. Наступне рівняння дає ефективну силу всмоктування F_s щодо цих факторів, рівняння. 5.4 [22]:

$$F_s = (\sigma_0 - \sigma_u) * A * n * \eta * z * \frac{1}{s} + m * g \quad (2)$$

де,

n = коефіцієнт деформації для присосків

η = ефективність системи з урахуванням втрат на витоки

z = кількість присосок [шт]

s = коефіцієнт безпеки

m = маса предмета [кг]

g = сила тяжіння [м / с²]

подальші параметри описані у рівнянні [1]. s подано як [26]:

1: Для дуже контрольованих умов з дуже невеликим ризиком травмування та / або несправності машини.

1.5 Значення за замовчуванням.

3-5 Високий або дуже високий ризик травмування та / або несправності машини.

2 ПРОЕКТНА ЧАСТИНА

2.1 Постановка завдання

В роботі буде розглядатися випадок - централізованого складу. Для прикладу вибрано гігантський склад займає 100 000 квадратних метрів і обслуговує всі магазини у північному регіоні України. Споживча електроніка - це важкий бізнес, де виробники завжди змагаються за те, щоб забезпечити найнижчі ціни. Через боротьбу з утриманням низьких цін норма прибутку на одиницю зменшиться. Ще однією проблемою, яку доводиться вирішувати виробникам, є часта відсутність працівників через важкі умови праці та напружене робоче середовище. Ця проблема є показником, що мотивує автоматизоване рішення для ручної роботи з розвантаження контейнерів. Виробники мають сезонні коливання попиту, що впливає на вимоги централізованого складу. Восени спостерігається пік попиту, що, в свою чергу, впливає на централізований склад парою місяців раніше. Також є пік навесні, коли всі готуються до літа. В інші місяці року попит набагато нижчий, що, звичайно, впливає на пропоновані рішення.

Для розвантаження контейнера програми поділяється на два етапи, які називаються першим та другим етапом. Перший етап складається з розвантажувальних контейнерів, заповнених коробками, див. номер один на Рисунку 2.1. Номер два на Рисунку 2.1 - це телескопічна стрічкова стрічка, яка транспортує коробки з контейнера на наступний етап. Другий етап складається з розміщення цих коробок заздалегідь визначеною схемою на піддоні, див. Номер три на рисунку 2.1. Ця процедура називається палетизацією. Потім піддон і коробки загортають у поліетиленову плівку, див. номер чотири на рисунку 2.1. Сьогодні для розвантаження контейнера потрібно чотири оператора в зміну і складається повністю з ручної роботи.

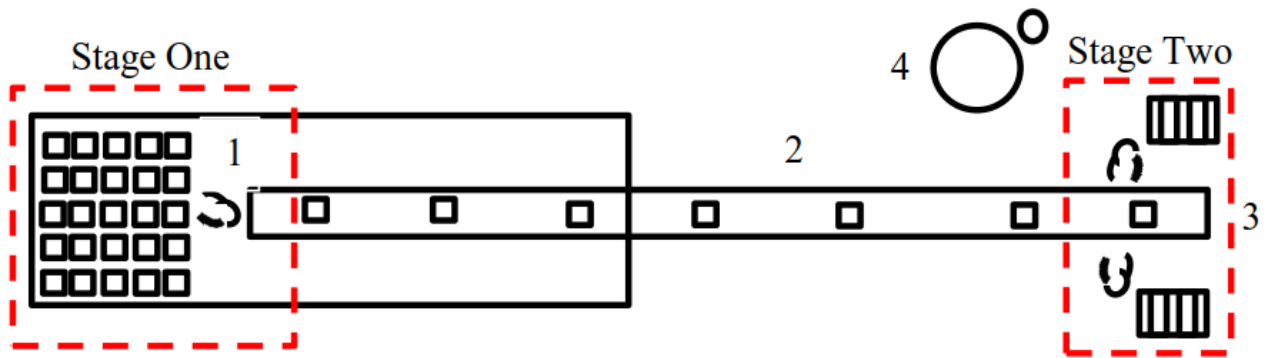


Рис. 2.1. Принципова схема поточного середовища

Розвантаження контейнера програми є ергономічно вимогливим. Отже, були проаналізовані та оцінені можливості впровадження автоматизованого рішення для першого етапу та роботизованого рішення для другого етапу. Оскільки Front Automation є компетентним та досвідченим у галузі роботизованої палетизації, переважним є роботоване рішення для другого етапу, див. рисунок 2.2.



Рис. 2.2. Приклад роботизованої палетизації.

Щодо програмування роботів для палетизації, було розроблено програмне забезпечення, яке спрощує це завдання. У віртуальному середовищі шаблони піддонів та макети комірок робота можуть бути змодельовані для оцінки та оптимізації часу циклу, а також перевірені перед фізичним впровадженням. Одним із таких програм є RobotStudio Palletizing PowerPac (далі - PzPP), яке нещодавно було розроблено компанією ABB Robotics. Було невизначено, чи зможе це програмне забезпечення відповідати вимогам.

Технологія захоплення картону - ще одна сфера, яка буде висвітлена в цьому дослідженні. Завдяки великій різноманітності розмірів, ваги та орієнтації картону буде проаналізовано кількість необхідних захватних пристроїв та їх конструкцію.

На перший погляд на операції з укладання піддонів складність, здається, невисока, але слід враховувати багато факторів. Орієнтація картону, підхід до вибору та швидкість - це деякі питання, якими слід керувати. Ще одним фактором, який слід враховувати, є зовнішній вигляд готових піддонів. У деяких випадках контейнери вміщують більше одного типу коробки, що ще більше збільшує складність. В даний час існує більше сотні різних розмірів картону, і щороку впроваджується приблизно сотня нових продуктів. Це означає, що рішення має бути гнучким для того, щоб поводитися з різноманітними товарами. Бажано, щоб оператори, які не мають ні технічної освіти, ні досвіду програмування, мали змогу запрограмувати нові процедури піддону протягом 20 хвилин. Отже, високі вимоги до зручності користування також потрібні для пропонованих рішень.

Через незадовільне робоче середовище метою є оцінка потенційних рішень на першому етапі та визначення того, чи роботизована палетизація з використанням палетизації PowerPac є можливою та застосовною на другій стадії. Дослідження досліджуватиме можливості вдосконалення робочої процедури розвантаження контейнерів з урахуванням економічних, ергономічних та технічних аспектів.

Для програмування робота використовувалося програмне забезпечення RzPP. Причина вибору цього програмного забезпечення базувалася на двох факторах. По-перше, програмне забезпечення було нещодавно випущено, і тому жодних попередніх досліджень не існує. Це робить програмне забезпечення більш цікавим з аналітичної точки зору. По-друге, попередній досвід та знання у програмі RobotStudio, в яку інтегровано RzPP, зробили вибір ще більш очевидним. Процедура роботи по розвантаженню контейнерів також складається із загортання піддонів у поліетиленову плівку і не буде розглядатися в цьому дослідженні.

Оскільки оцінити вигоди від покращення робочого середовища у фінансовому плані було складно, фінансовий аналіз ергономіки не проводився.

Через широке різноманіття ваг, це дослідження було зосереджено лише на продуктах вагою 30 кг або менше.

Встановлено такі розмежування:

- Програмування та оцінка здійснюватимуться лише на RzPP АББ, а також на інших подібних програмних засобах.
- Жодне розслідування щодо того, як обернути піддони поліетиленовою плівкою, проводитись не буде.
- Фінансовий аналіз ергономіки не проводився.
- Продукти вагою більше 30 кг не будуть включені в дослідження

Для уточнення мети цього дослідження встановлюються наступні питання:

Чи можливо оператору, який не має досвіду в програмуванні роботів, встановити нову процедуру піддону піддонів у програмному забезпеченні АББ протягом 20 хвилин?

Чи можливо використовувати робот-палетизатор для усього асортименту продуктів, і якщо ні, то які продукти це можливо?

Як вплине на продуктивність роботи впровадження робототехнічного рішення?

Як вплине на робоче середовище складу?

Яким буде рівень спроможності запропонованих рішень?

Чи можливо та економічно вивантажити контейнери протягом двох годин за допомогою роботизованої палетизації?

2.2 Вибір технічного устаткування

Програмне забезпечення RzPP використовується для імітації роботизованої палетизації. Його можливості та недоліки вивчали, використовуючи різні розміри картону та схеми піддонів. Щоб перевірити моделювання, для перевірки точності, повторюваності та надійності програмного забезпечення використовували фізичну робочу станцію в Front Automation, див. Розділ 2.3. Для оцінки зручності користування використовувались такі суб'єктивні враження, як логічний макет, відповідні попередження та обмеження часу максимум 20 хвилин. Юзабіліті було проаналізовано за допомогою моделювання та оцінено, для яких типів продуктів роботизована палетизація підходить як з економічної точки зору, так і з боку продуктивності.



Рис. 2.3. Макет робочої станції

Конвеєри склали вхідні та вихідні живильники, які розташовувались перпендикулярно один одному і мали висоту 40 см. Робот - модель IRB460 від компанії АВВ і розміщувався на підставці висотою 80 см. Додаткові характеристики щодо робота див. У [3].

Як захоплюючий інструмент була використана вакуумна прокладка під назвою UniGripper. Інструмент, див. рисунок 2.4, мав площу всмоктування 200x300 мм з товщиною піни 10 мм і кругові всмоктувальні активатори радіусом п'ять мм, розподілених по колодці. Інструмент був оснащений додатковою функцією, що називається «плаваюча плита», яка дозволяла

компенсувати зміни висоти картону. Під час перевірок проводились випробування як з функцією плаваючої плити, так і без неї.

Перевірки проводились шляхом неодноразового захоплення коробки біля подавального пристрою та переміщення її до подавального пристрою, що створило візерунок піддону. Коробки мали розміри 400x600x250 мм (ширина, довжина та висота) з вагою від дев'яти кг до п'ятнадцяти кг.

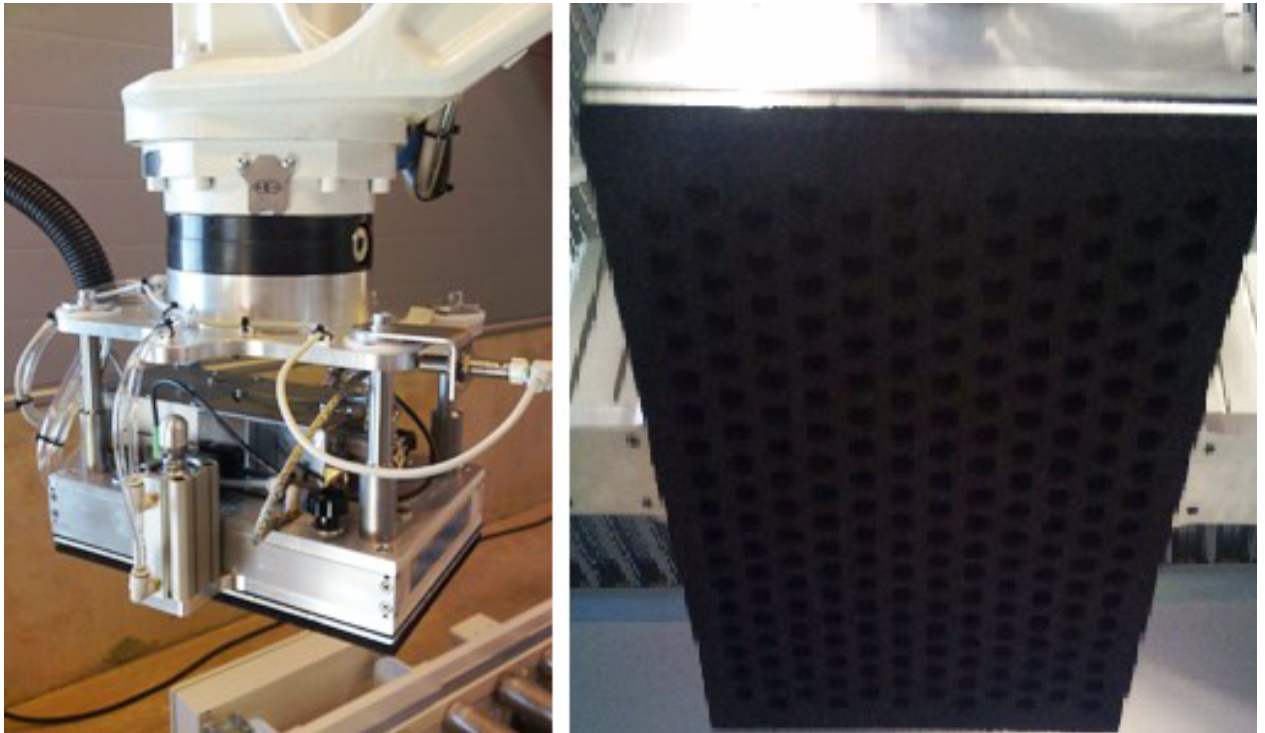


Рис. 2.4. Інструмент для захоплення, який називається UniGripper, ліворуч, а конструкція вакуумних колодок праворуч

Для аналізу запропонованих рішень використовувались різні підходи та методи. Аналізованими розмірами були продуктивність, економічна ефективність та ергономічність. Для всіх рішень було зіставлено та проаналізовано два стани. Поточний стан посилається на поточну ситуацію в Ельгігантені сьогодні, де автоматизація відсутня. Майбутня держава стосується того, коли впроваджується вдосконалення ручної роботи на першому етапі та роботизованої палетизації на другому етапі програми Розвантаження контейнера. Оскільки на Ельгігантені в майбутньому штаті

фізичного впровадження не проводилось, усі аналізи проводились за допомогою моделювання в PzPP та верифікації на робочій станції Front Automation.

При аналізі продуктивності вимірювали зміни у випуску продукції та час циклу застосування між двома станами. Це дало співвідношення між штатами, і, таким чином, була отримана продуктивність.

Коли аналізували робоче середовище з урахуванням ергономіки, у кожному штаті використовували рівняння підйому REBA та NIOSH. Зауважте, що ергономічний аналіз проводився лише для першого етапу, оскільки результати для другого етапу будуть майже однаковими. З ергономічної точки зору робоча процедура однакова на другому етапі, навіть якщо процедура виконується в зворотному порядку порівняно з першим етапом.

Для систематичної оцінки запропонованих рішень використовувались два методи оцінки - матриця П'ю та матриця Кессельрінга. Матриця П'ю - це матриця рішення для порівняння можливих рішень на основі заданих критеріїв із еталонним рішенням. Рішення, які вважаються кращими за еталонні, додатково аналізуються в матриці Кессельрінга, де критеріям присвоюються ваги.

Що стосується аналізу надійності рішення, це було зроблено як в програмному забезпеченні PzPP, так і в фізичній робочій станції Front Automation. Метою цього аналізу було дослідити, наскільки надійним є рішення щодо факторів збурення, таких як помилки оператора та виявлення помилок програмним забезпеченням. Аналіз також охоплює оцінку PzPP, її надійність та надійність.

2.3 Система ідентифікації

Доступні декілька підходів та можливостей для систем зору роботів. У цьому розділі спочатку будуть представлені кроки, виконані в загальній системі машинного зору, а потім дві різні технології, що використовуються.

Існує три етапи, що виконуються системою машинного зору, див. Рисунок 2.5, при перетворенні зображення фізичного об'єкта в інформацію, яка може бути використана роботом або іншими промисловими додатками [27]. Доступні кілька підходів та можливостей для систем зору роботів . У цьому розділі спочатку будуть представлені кроки, виконані в загальній системі машинного зору, а потім дві різні технології, що використовуються.

Існує три етапи, що виконуються системою машинного зору, див. рисунок 2.5, при перетворенні зображення фізичного об'єкта в інформацію, яку може використовувати робот чи інші промислові програми [27].

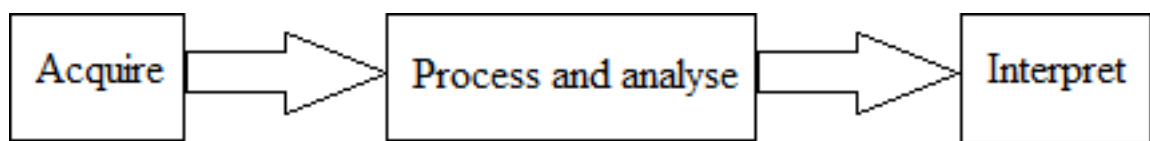


Рис. 2.5. Інструмент

За допомогою камери та системи оцифрування отримується зображення об'єкта. Зображення розділено на дискретні підкадри, які називаються пікселями. Кожен піксель відповідає інтенсивності світла щодо оточення, яке перетворюється в цифрове значення за допомогою аналого-цифрового перетворювача. Залежно від використовуваної системи інтенсивність світла класифікується за рівнями. Найпростіша система, двійковий зір, використовує дворівневу класифікацію, де пікселі мають або білий, або біло-чорний. Більш досконалі системи використовують до 256 рівнів інтенсивності.

Камери, які використовувались для отримання даних зображення, зазвичай мають роздільну здатність 640x480, 1024x768 або 1042x1392 пікселів [27]. Більш висока роздільна здатність генерує більше пікселів та кращі зображення об'єкта за рахунок дорожчої камери та більш тривалого часу обробки. Іншим аспектом, який слід враховувати під час отримання зображення, є підсвічування. Оскільки зовнішнє освітлення може відрізнятись або бути недостатнім для роботи камер, використовуються різні методи.

Одним із методів є структуроване світло, де чітко визначений шаблон пікселів проектується на об'єкт. Потім система зору може обчислювати інформацію про об'єкт, наприклад глибину.

На наступному кроці обробляють та аналізують цифрові значення, створені на попередньому кроці, обробляють за допомогою різних методів. На цьому кроці визначаються особливості об'єкта, такі як довжина та ширина, аналіз та порівняння інтенсивності пікселів.

Останній крок, інтерпретація, зображення порівнюється з відомими комп'ютерними моделями в базі даних. Якщо існує достатня кореляція між зображенням та моделлю, система зору може тоді визначити, до якого типу об'єкта посилається зображення. Це дає рішення та дії, які потім інтерпретуються та використовуються як вхідні дані, наприклад, до контролера робота.

Дві технології, що використовуються в системах машинного зору, - це стереоскопічне 3D-бачення та час польоту (TOF), див. рисунок 2.6 [28].

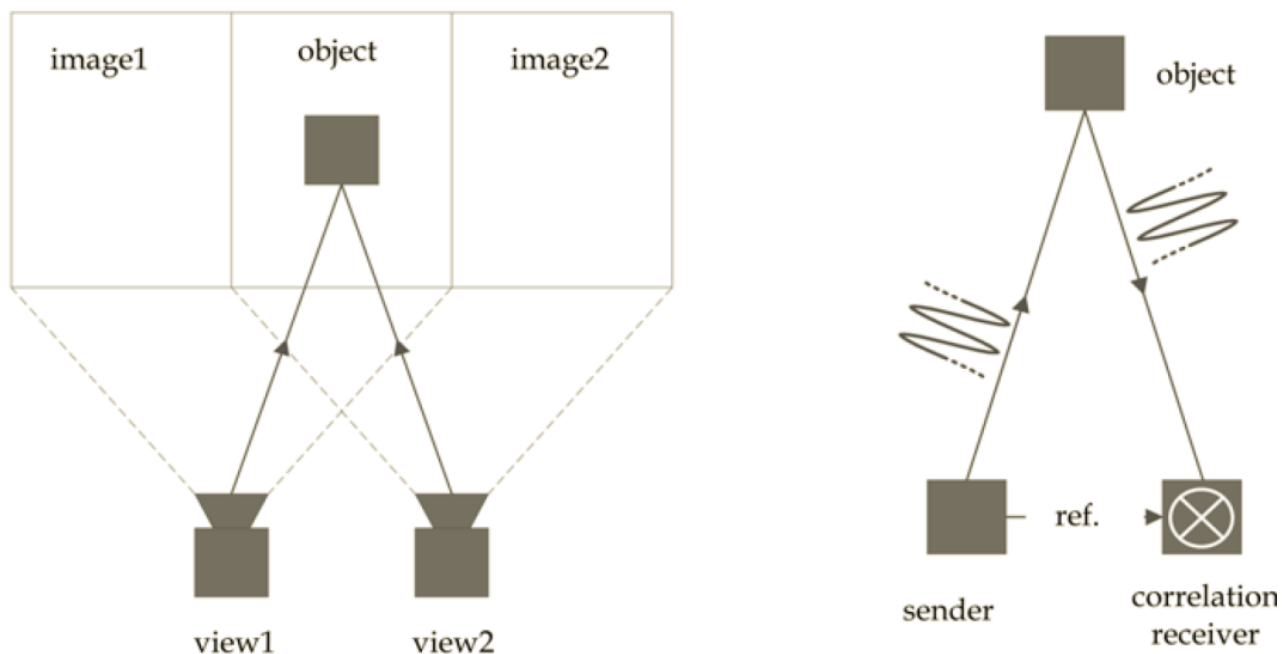


Рис. 2.6. Система стереоскопічного зору зліва та система зору TOF праворуч

Системи стереозору використовують дві камери для отримання фізичної точки об'єкта. Якщо в обох зображеннях, зроблених камерами, присутній піксель, відстань можна розрахувати за допомогою триангуляції [28].

TOF-система містить відправника, який випромінює ближнє інфрачервоне світло. Світло стикається з об'єктом, а потім передається кореляційному приймачу. Підрахувавши час, протягом якого світло проходить від відправника до приймача, можна обчислити відстань, на якій розміщений об'єкт. Ця послідовність повторюється на площі поверхні об'єкта, доки весь об'єкт не буде сканований.

Оскільки TOF є активною системою дальності, йому потрібне джерело освітлення, тоді як стереоскопічна система є пасивною [29]. TOF-система нечутлива до гірших умов освітлення та тіней, які часто є в контейнерах [30].

Проблема, яка називається проблемою відповідності, виникає з об'єктами, що мають рівні рівні сірого. Система стереозору матиме проблеми зі збором 3D-інформації про об'єкт через відсутність активного освітлення. Цю проблему можна зменшити, але вона вимагає набагато більшої обчислювальної потужності порівняно з TOF-системою [28].

2.4 Налагодження системи централізованого складу

У цьому розділі буде проаналізовано придатність впровадження PzPP як частини рішення для роботизованої палетизації. Сильні сторони та недоліки, згадані раніше, слугуватимуть базою для цього аналізу.

Коли нові товари надходять на Elgiganten, їх потрібно визначити в категорії «Дані про товар» та створити шаблон піддонів. Цей процес робиться за лічені хвилини і не потребує прямих попередніх знань про PzPP. Тому вважається, що досвідчений оператор може швидко навчитися та виконувати ці дії. Що стосується налаштувань вибору, це може спричинити труднощі, якщо одночасно потрібно вибрати кілька продуктів. Потрібно змінити орієнтацію та зміщення інструменту, що, в свою чергу, вимагає знань про те,

як інструмент налаштований та сконструйований. Через нестабільну поведінку RzPP необхідний певний досвід у цьому процесі.

Як зазначено в [18], ніякі навички програмування роботів не потрібні, але під час аналізу було показано, що ці навички дійсно потрібні. Коли, а не якщо, виникає проблема в знаннях RzPP у програмуванні роботів, щоб вивести та вирішити проблему. На даний момент документація, надана RzPP, не є обставинною, що ще більше ускладнює процедуру усунення несправностей.

Таким чином, передбачається, що мета операторів, які не мали попереднього досвіду в цій галузі, створити нову процедуру палетизації протягом 20 хвилин з використанням RzPP. Натомість один оператор повинен пройти навчання в RzPP і відповідати за створення нових процедур палетизації. Це також повинно створити послідовність і зробити процедуру ефективною та результативною.

Перш ніж пропонувати рішення, слід врахувати ключові фактори. У наступному розділі представлений аналіз типу коробки, на якому слід зосередитись, та часу циклу управління однією коробкою. Коли відомі розміри коробки та необхідний час циклу для вивантаження контейнера протягом двох годин, можна зробити вибір захоплювачів. Розрахунок рівня потужності закінчується цим розділом.

З файлу Excel, були отримані дані про контейнери та товари. Дані для контейнерів включали дати прибуття та утримувані товари. Дані про товар склалися з розмірів та ваги продуктів, кількості продуктів у коробці та обсягу в кубічних дециметрах для кожного товару.

Оскільки контейнери вміщують більше одного унікального продукту, а коробки можуть містити більше одного продукту, було встановлено такі визначення:

- Вміст контейнера C_1, C_2, \dots, C_n , де C - контейнер, а n - кількість унікальних продуктів / варіантів продуктів, які він містить. Наприклад, контейнер C_2 вміщує два різні продукти, тобто

мікрохвильові печі та підставки для телевізорів, або два різні варіанти товару, тобто білу та чорну мікрохвильову піч.

- Співвідношення картону 1: 1, 1: 2,..., 1: n, де один - коробка, а n - кількість продуктів у цій коробці. Наприклад, 1: 4 - це коробка, що містить чотири однакові продукти.

Вага виробів коливається від 0,2 кг до понад 40 кг. Після навчального візиту до виробника вакуумних інструментів та обговорень із відповідним інженером з продажу було прийнято рішення зосередитись лише на продуктах вагою менше 30 кг.

Оскільки файл Excel надавав розмірні дані лише для окремих продуктів, він застосовувався лише для коробки типу 1: 1, розподіл між шириною та довжиною для коробок 1: 2 тощо не був вказаний. Отже, були визначені лише розміри для одного продукту (навіть якщо в коробці було більше одного), обчислювався об'єм для коробок 1: 2, див. рисунок 2.7. На рисунку видно, що коробки не мають тенденції бути більшими або менший, оскільки містить більше одного продукту. Після обговорення було прийнято рішення зосередитися на коробках із відомою довжиною, шириною та висотою.

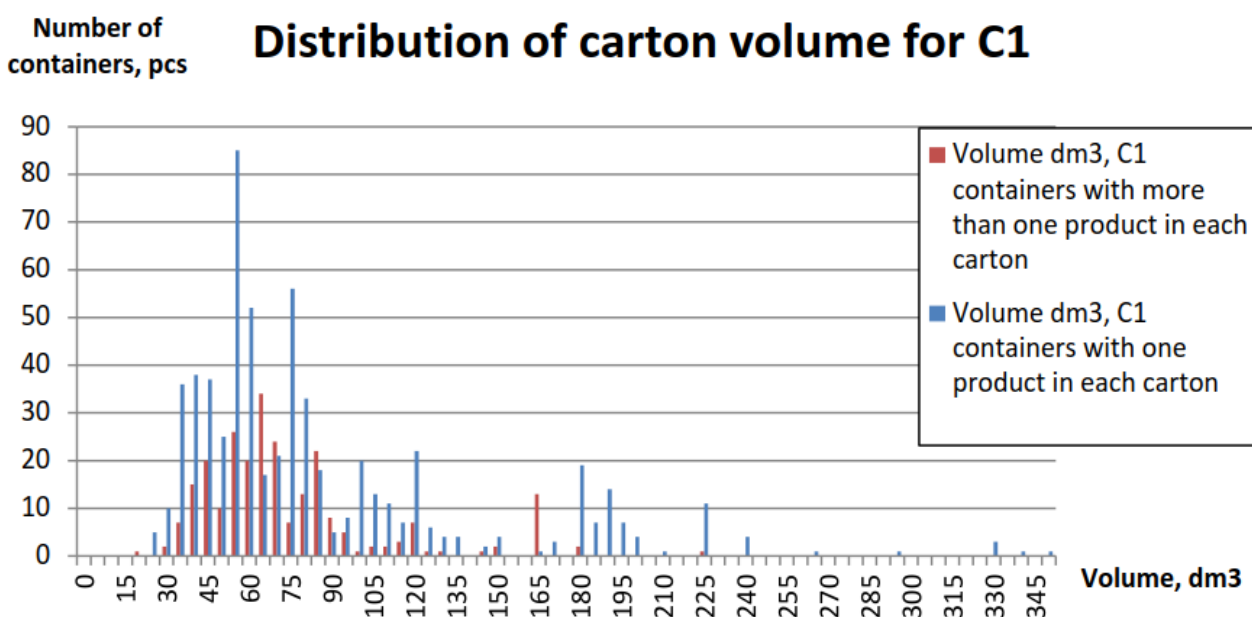


Рис. 2.7. Кількість контейнерів C1, розподілених серед обсягу коробки

Коли було прийнято це рішення, було проведено розсіювання, щоб полегшити вибір відповідного захоплювача або захоплювачів, див. рисунок 2.8. Рисунок ілюструє співвідношення між довжиною та шириною, до якої поверхні прикріплюється захоплювач. Для подальшого полегшення вибору захоплювача було встановлено розподіл ваги для коробки, див. Рисунок 2.8. Як видно на рисунку, більшість коробок мають вагу в діапазоні від десяти до двадцяти кг, що теоретично легко впорається вакуумна накладка.

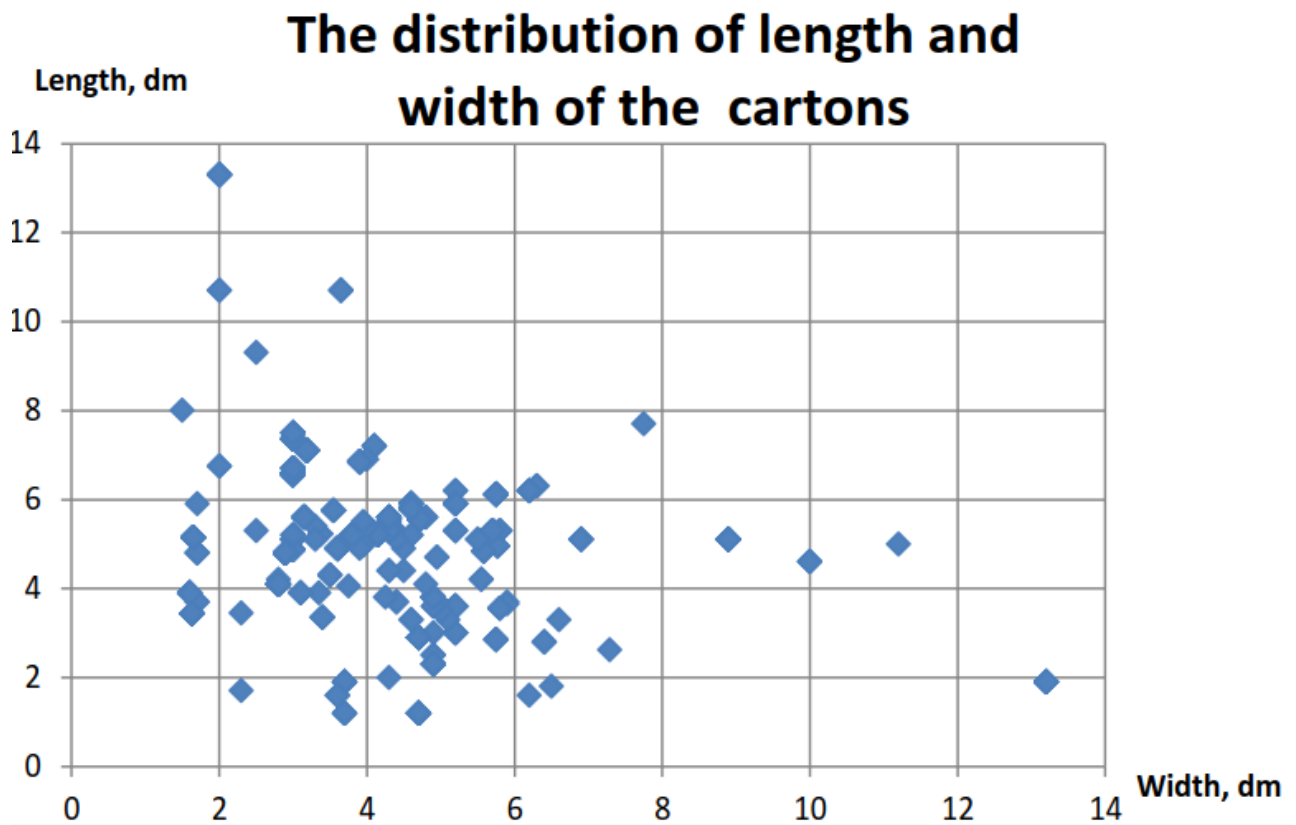


Рис. 2.8. Діаграма розподілу довжини та ширини коробки

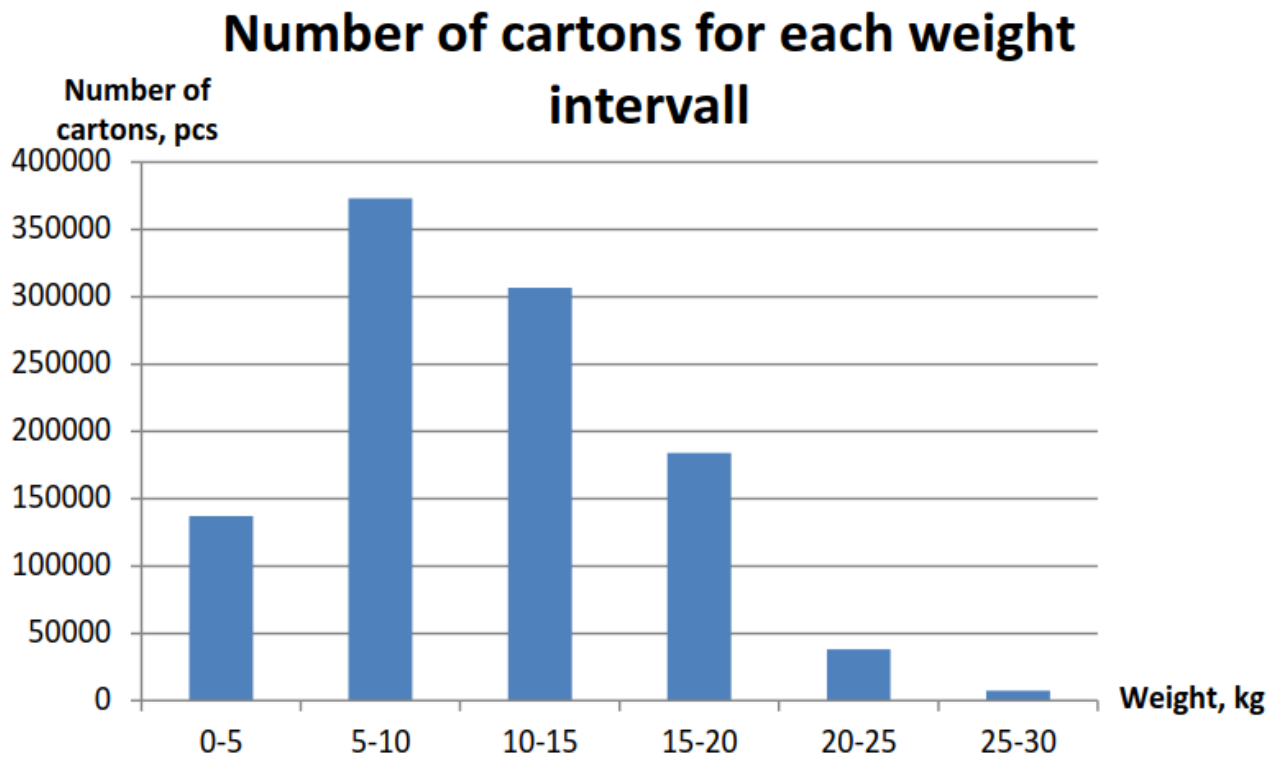


Рис. 2.9. Кількість коробок у кожному ваговому інтервалі

Загальна кількість коробок, які вивантажуються вручну протягом останніх 1,5 років, була розрахована з файлу Excel. Це було зроблено для того, щоб порівняти кількість коробок, які робот міг обробляти із загальною кількістю коробок.

Щоб зменшити складність проблеми, продукти, які потребуватимуть додаткового обладнання для обробки під час палетизації, не були включені в аналізи. Прикладом такого продукту є масляні радіатори, які повинні стояти вертикально на найменшій поверхні картону, роблячи таким чином шаблон піддону нестійким. Ці радіатори становлять менше 6% від загальної кількості коробок.

Оскільки було неможливо, як з точки зору часу, так і з точки зору доступності, протестувати всі різні коробки, для перевірок у Front Automation було обрано одну коробку. Картонна упаковка є репрезентативною для великої кількості коробки, за розмірами та вагою. Основна відмінність полягає в тому, що ця коробка може розглядатися як "найгірший варіант" щодо характеристик

картону. Ідеальна коробка - це тверде тіло, яке не деформується під час збирання та має рівномірно розподілену вагу по обсягу. Картонна коробка, використана під час перевірок, була далеко не ідеальною, як це видно на рисунку 2.10. По-перше, деформація поверхні підйому картону під час збирання, як показано червоними стрілками на рисунку 2.10. Як наслідок, ступінь стиснення вакууму пінопластова піна відрізняється по всьому інструменту; див. синю стрілку та лінії на рисунку 2.10.

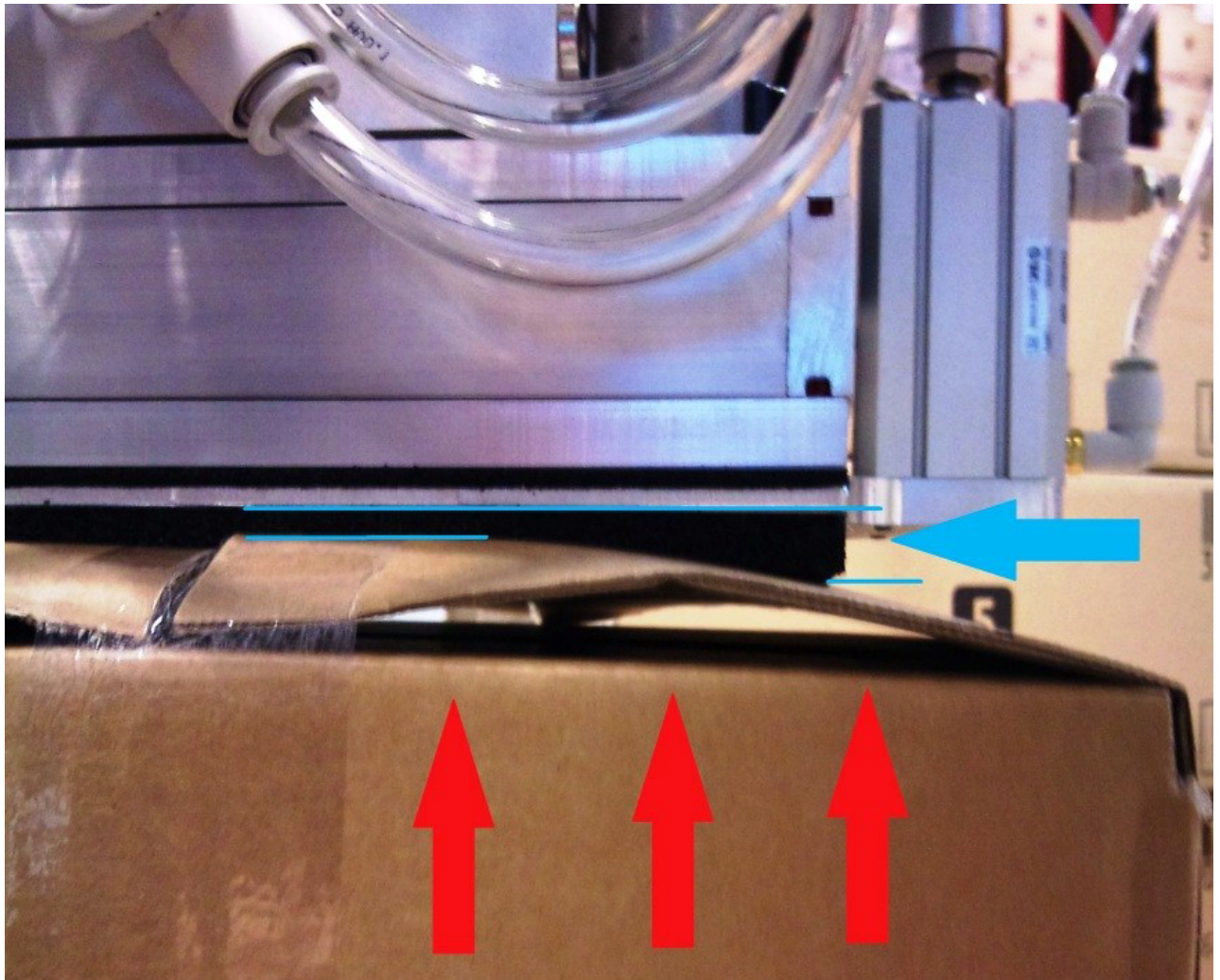


Рис. 2.10. Картонна коробка деформується під час збирання, як показано червоними стрілками. Синя стрілка та лінії показують різницю у стисненні вакуумної піни

Це призводить до зниження сили підйому інструменту. По-друге, вміст картону був м'яким, що ще більше знижує здатність картону протистояти деформації. Нарешті, коробка мала необроблену поверхню замість пофарбованої глянцевої поверхні. Завдяки цьому, коробка є менш повітронепроникною, і це витоку повітря призводить до нижчого досягнутого вакууму і, таким чином, меншої сили підйому.

Перш ніж можна буде обрати конструкцію захоплювача для роботи на Другій стадії, необхідно проаналізувати час циклу вибору коробки з подавального пристрою та розміщення їх за певною схемою на вихідній подачі. Цей аналіз був проведений з використанням як імітаційної моделі в PzPP, так і перевірки цієї моделі за допомогою робочої станції та коробки, для пошуку відповідних значень руху робота. Коли значення руху задовольняють, дається час циклу на виріб.

Значення руху робота, такі як прискорення, уповільнення, швидкість обертання інструменту та швидкість, змінювались у процесі перевірки. Важливим аспектом при встановленні значень руху є те, що робот повинен мати можливість виконати всю послідовність вибору та розміщення, не скидаючи жодної коробки. Якщо робот кинув будь-яку коробку, значення руху знижувались і запускалася нова послідовність. Також під час цих запусків аналізували точність і повторюваність робота. Це було зроблено шляхом розгляду кожного шару шаблону піддону, щоб виявити будь-які відмінності в орієнтації коробок і якщо ці різниці збільшувались із збільшенням значень руху.

Іншим аспектом, який враховували при аналізі значень руху, був зовнішній вигляд робота під час палетизації. Спокійні рухи не були бажаними, і вони були мінімізовані шляхом варіювання значень прискорення та уповільнення.

Наступні значення руху щодо зазначених вище аспектів виявились доречними для картону в 9 кг:

- швидкість = 2300 мм / с
- прискорення / уповільнення = 2,5 м / с²
- швидкість обертання = 270 град / с

При використанні цих значень час циклу палетизації 20 коробок становив 177 секунд або приблизно дев'ять секунд / коробка. У PzPP та ж імітована процедура піддону піддонів дала час циклу 175 секунд. Ця різниця є незначною, і, таким чином, PzPP вважається надійним для оцінки очікуваного часу циклу для інших продуктів та моделей піддонів.

Враховуючи цей час циклу дев'ять секунд / коробка, можна палетизувати 400 коробок на годину.

Раніше було описано, що вакуумне захоплення підходить для процесів з коротким часом циклу та для відносно жорстких об'єктів. Тому вакуумним захоплювачем було обрано інструментом захоплення, і в цьому розділі буде описана процедура вибору відповідної конструкції.

Як згадувалося раніше, картонні коробки мають вагу менше 30 кг. Картонні коробки вагою понад 30 кг складають один відсоток від загального обсягу і не включаються, оскільки неможливо досягти задовільного захоплення через характеристики картону.

Основною перевагою використання вакуумних прокладок є можливість управління коробками різного розміру. Ця гнучкість потрібна де різноманітність розмірів картону є великою.

Час циклу вибору та палетизації однієї коробки був відведений як дев'ять секунд. На рисунку 2.11. показано кількість коробки в контейнері.

Number of cartons per container

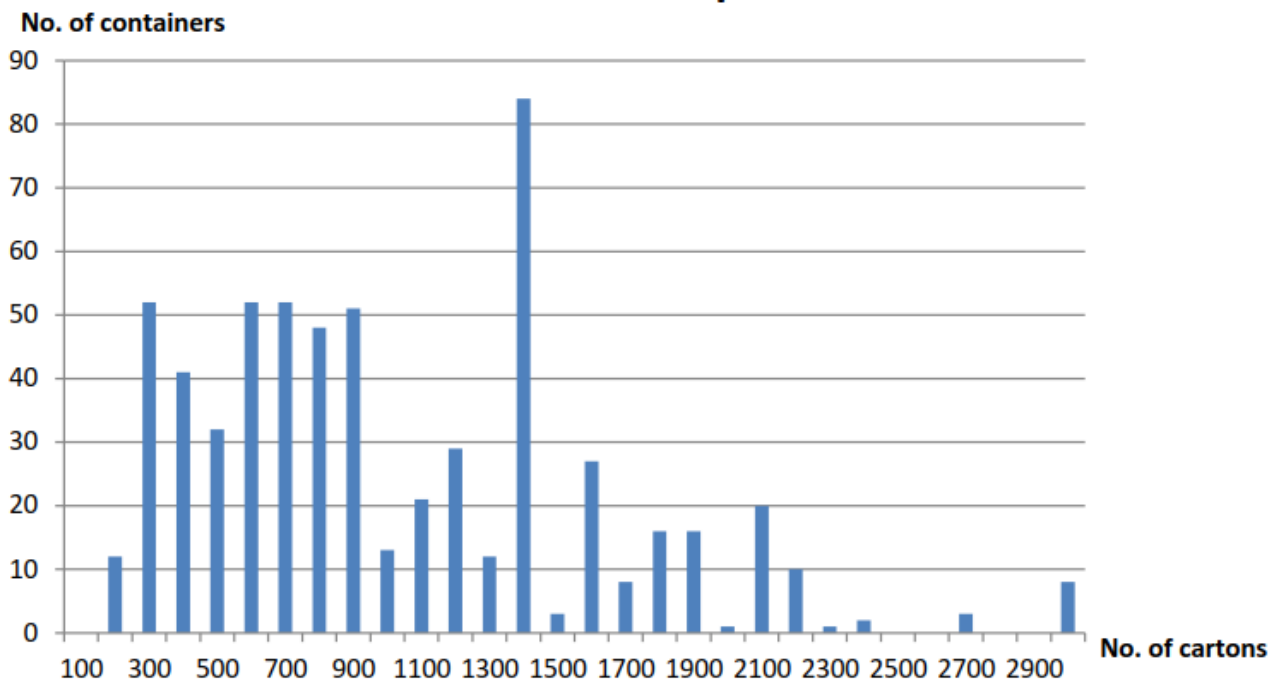


Рис. 2.11. Розподіл картону на контейнер

Якщо потрібно виконати бажання укласти на палети всі коробки в контейнері за дві години або менше, наступне рівняння показує, скільки коробів можна піддолити на палеті, коли змінюється кількість коробки, вибраних за цикл, що називається X:

$$\frac{7200 * X}{\text{cycle time for one carton}} = \# \text{cartons palletized in two hours}$$

Для значень X від 1 до 4, Таблиця 1 показує, скільки дев'яти кг картону, які можна піддолити на палеті протягом заданого часу. Картонні коробки вагою менше дев'яти кг можуть бути піддані на палети з використанням більш високих значень руху, таким чином зменшуючи час циклу та збільшуючи продуктивність. Для більш важкої коробки випробувань не проводилось, але значення руху, можливо, доведеться зменшити.

Таблиця 1: Кількість картонних коробок, палетованих за дві години для різних значень X.

X:	# cartons palletized in two hours:
1	800
2	1600
3	2400
4	3200

Оскільки більшість контейнерів вміщують 2400 коробок або менше, вибору одночасно не більше трьох коробок буде достатньо для задоволення заданого часу. З файлу Excel можна продемонструвати, що зі збільшенням кількості коробки в контейнері обсяг кожної коробки зменшується. Ми знаємо, що більшість коробок мають ширину та довжину менше або дорівнюють 600 мм.

При аналізі інструментів для вакуумного захоплення був вивчений стандартний піддонні захват від ABB, FlexGripper та порівняно з вакуумними прокладками. Сильними сторонами вакуумних накладок у порівнянні з FlexGripper є низька вага та легше обслуговування. У вакуумній подушці використовується лише один або два ежектори для кожної зони на подушці, тоді як FlexGripper використовує один ежектор для кожної присоски. Це збільшує кількість компонентів, що також збільшує вагу. Основне технічне обслуговування, яке потрібно проводити на вакуумній подушці, - це очищення та заміна піни. Коли пінопласт зношений, все дно колодки видаляється і замінюється новим. Технічне обслуговування FlexGripper вимагає зняття та зміни присосків. Завдяки конструкції FlexGripper, див. [45], присоски вирівняні так само, як ягоди на соломинці. Це означає, що якщо слід замінити внутрішній присосок, спочатку слід зняти кожен присосок, розміщений раніше. Інвестиційні витрати на наявність змінної нижньої пластини є низькими у порівнянні зі збільшеними витратами на довший час простою у виробництві, коли використовується FlexGripper.

Під час перевірок були проведені випробування для аналізу та з'ясування відповідної конструкції вакуумного захоплювача. На початку тестів було виявлено, що висота картону на однакових коробках може коливатися на

кілька сантиметрів. Оскільки положення вибору на подачі фіксується по висоті, робот завжди рухався саме в цьому положенні. Через це та через іноді менші висоти коробки, коробка не могла прикріпитися до вакуумного захоплювача. Отже, запропонований вакуумний захоплювач повинен містити функцію плаваючої пластини, щоб зробити захоплювач надійним проти перепадів висоти картону.

При захопленні коробки було зафіксовано рівень вакууму в 200 мБар. Цей рівень відрізнявся від рівня вакууму 600-800 мБар, зареєстрованого у виробника вакуумних захопників. Різниця була пов'язана з повітряними трубами, які були вузькими, отже, обмежували потік повітря. Це, в свою чергу, знизило силу підйому вакуумного захоплювача. Випробування проводили там, де піднімали коробку вагою п'ятнадцять кг. Захоплення ледве піднімало цю коробку. В якості чергового тесту було піднято піддон вагою п'ятнадцять кг та дві коробки вагою дев'ять кг кожна, див. рисунок 2.12.

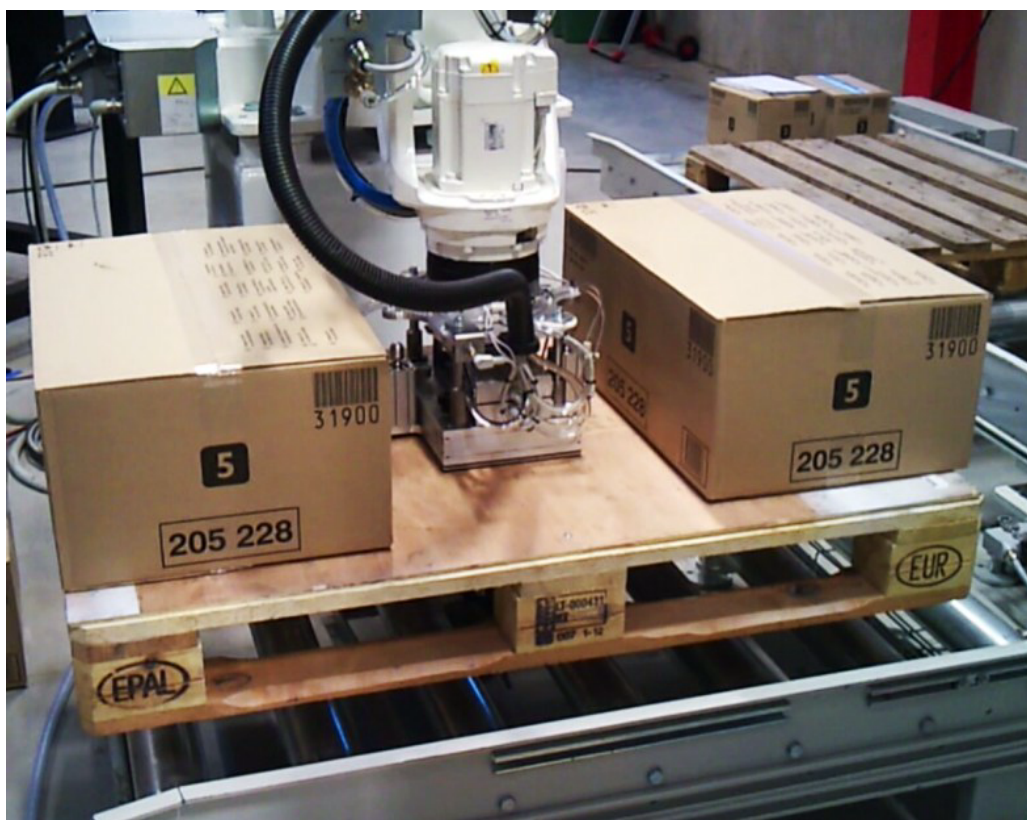


Рис. 2.12. Вакуумний захоплювач успішно піднімає піддон вагою п'ятнадцять кг та дві коробки вагою дев'ять кг кожна

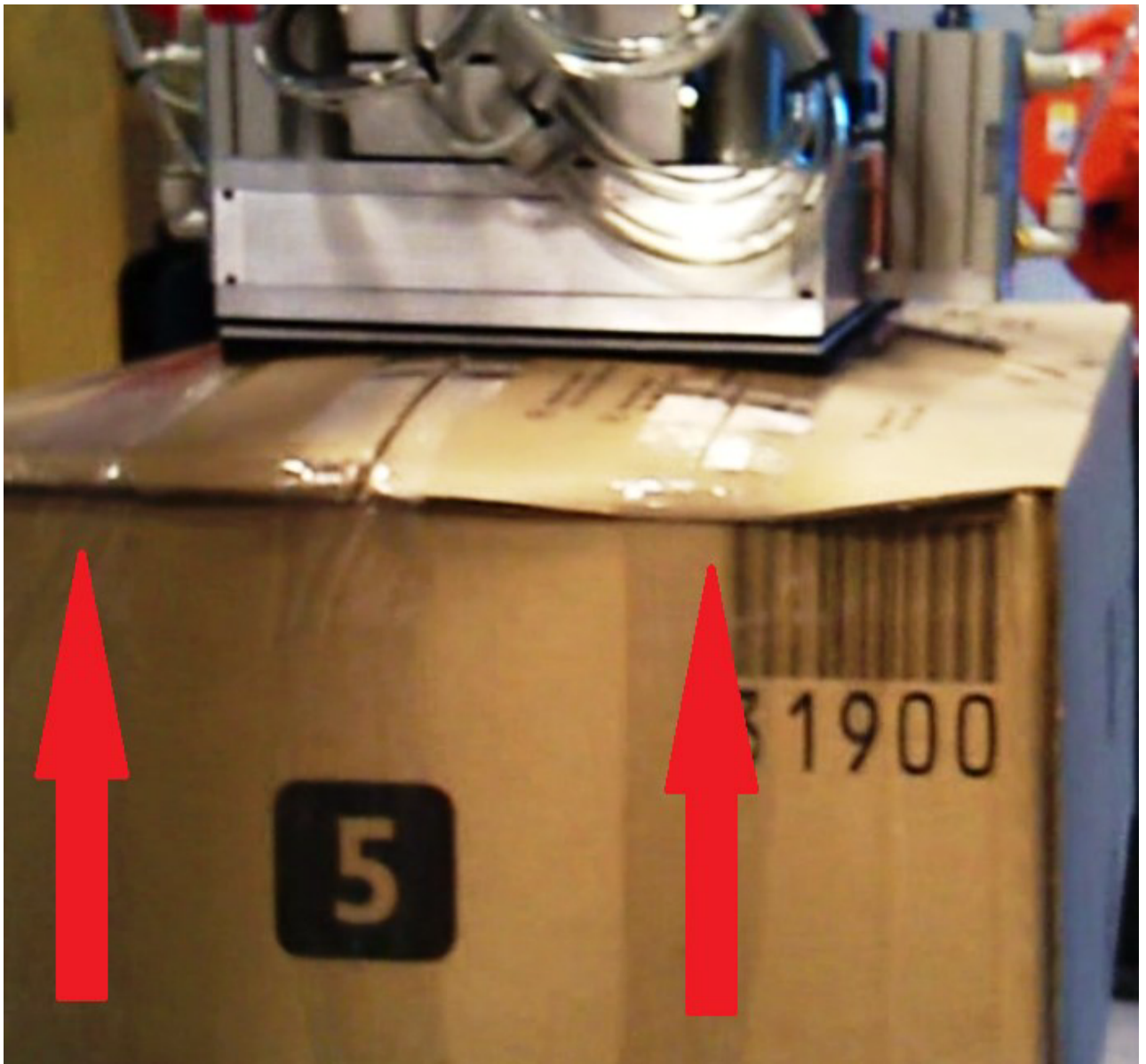


Рис. 2.13. Дві додаткові смуги клейкої стрічки на картонній упаковці, позначені червоними стрілками

Це випробування було успішним, оскільки піддон був менш деформований порівняно з підйомом коробки. Потім 15-кілограмову коробку трохи модифікували, додавши дві додаткові смуги клейкої стрічки, див. рисунок 2.13. Менша деформація під час підйому була досягнута завдяки додатковим стрічкам. Це призвело до успішного підйому, але коробка була недостатньо схоплена, щоб дозволити будь-який палетизуючі рухи без падіння.

Після заміни на більші повітряні трубки було зафіксовано рівень вакууму в 400 мБар, і коробку з п'ятнадцять кг легко підняли навіть без додаткових смужок стрічки.

Іншим аспектом, виявленим та проаналізованим під час перевірок, було як поводитися, коли площа вакуумного захоплювача більша, ніж поверхня коробки. Це спричинило проблему, коли коробку слід розміщувати у сусідніх коробках. Вже розміщені сусідні коробки прикріпилися до вакуумного захоплювача під час процедури розміщення, що призвело до зміщення позицій та орієнтації. Виступу вакуумного захоплювача усього три сантиметри було достатньо, щоб генерувати ці переміщення на коробці вагою дев'ять кг.

Як зазначено раніше, більшість коробок мають ширину та довжину менше або рівні 600х600 мм. Це мотивує вакуумний захоплювач із розмірами, рівними або меншими розмірам картону. У поєднанні з рівняннями (1) та (2), експертними висновками виробника вакуумних захоплювачів та верифікаціями, було зроблено рекомендацію щодо відповідної конструкції захоплювачів.

У вакуумній подушці, використовується плаваюча плита, яка працює як шукач та компенсує різницю у висоті коробки та / або піддону. Колодки повинні мати розміри 400х600 мм із використанням здвоєних ежекторів та повітряних трубок із внутрішнім діаметром не менше десяти мм, щоб забезпечити задовільний рівень вакууму. Оскільки вакуумна прокладка, яка використовується під час перевірки, має розмір лише одну четверту та успішно керовану коробку з поганими характеристиками вагою 9 кг, зазначені розміри для прокладки будуть працювати.

Для вирішення проблеми з випадковим прикріпленням сусідніх коробок під час розміщення, область всмоктування вакуумного захоплювача повинна бути розділена на шість різних зон, які називаються зонуванням. Кожна зона може бути або активною (можливе всмоктування вакууму), або неактивною і не залежить від інших зон. Шість квадратних зон однакового розміру на

колодці означає, що кожна зона має сторони 200 мм, що є лише у декількох коробок, див. рисунок 2.10. Це означає, що ризик прикріпити до іншої коробки при розміщенні мінімальний. Зонування також важливо при розміщенні декількох коробок один за одним під час однієї і тієї ж операції розміщення. Наприклад, бажано захопити дві коробки одночасно і розмістити в орієнтації, яка відрізняється від орієнтації захоплення. Це означає, що коробки не можна розміщувати одночасно, а скоріше одна за одною, для чого потрібен інструмент зонування.

Товщина піни на інструменті, що застосовується при верифікації була 10 мм. Запропонований інструмент повинен використовувати більш товсту піну, щоб компенсувати деформації картону під час підйому. Ця компенсація збільшить силу підйому, але товща піна стирається швидше, ніж тонша піна, що збільшує технічне обслуговування.

У ParcelRobot, також використовується той самий тип вакуумних прокладок, які посилюють вибір захоплення. Вибір перевіреної техніки ще більше підвищує довіру до рекомендованого захоплення.

Перш ніж пропонувати відповідні рішення, слід розрахувати відповідний рівень пропускної здатності. Ранній погляд на цю справу вказує на високоавтоматизоване рішення. Проаналізувавши кількість вхідних контейнерів та картонних коробок на місяць, цей погляд було переглянуто. З рисунка 2.14 нижче рівень потужності системи становить приблизно 65 000 коробки на місяць і на зміну. Налаштування не враховується в розрахунку, оскільки цей час важко оцінити.

Number of cartons per month

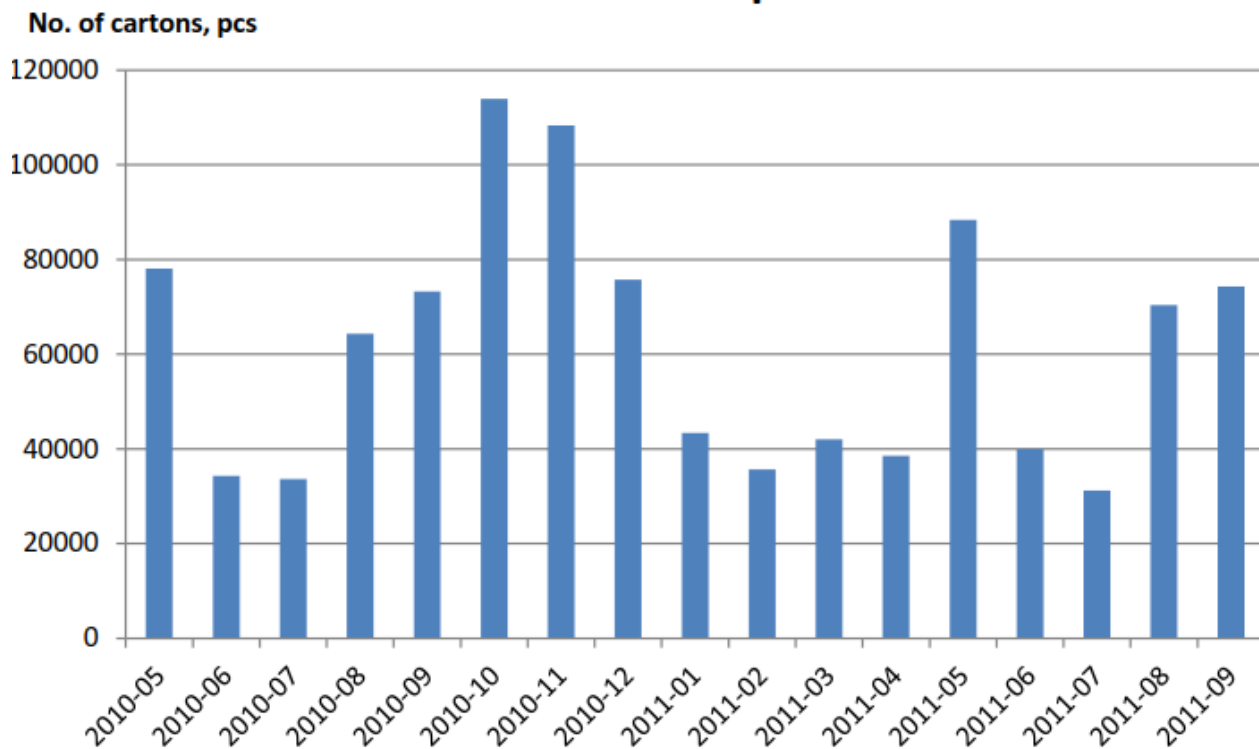


Рис. 2.14. Кількість коробок на місяць

Цей розрахунок передбачає, що контейнер завжди готовий до вивантаження. Час налаштування полягає у стикуванні причепа, закріпленні контейнера, завантаженні проекту з комп'ютера на контролер у комірці робота та пробному запуску програми.

Потужність вивантаження 65 000 коробок на місяць призводить до того, що щогодини потрібно вивантажувати менше 400 коробок. Цю кількість коробок на годину можна обробляти за допомогою усіх рішень. Це нижчий показник, ніж сьогодні, що бажано з ергономічної точки зору. Якщо робот є обмежуючим фактором, операторам немає сенсу робити стрес, як сьогодні. Як згадано в умовах стресу впливає на фізичне та психічне здоров'я оператора.

Виходячи з факторів, згаданих у попередніх розділах, потрібно було представити відповідне рішення. Процедура систематичного оцінювання складалася з двох методів - матриці П'ю та матриці Кессельрінга. Перед процедурою оцінки проводиться аналіз можливих рішень.

Використовуючи ParseLift, оператор може вивантажувати 600 коробок на годину за нормальних темпів роботи. ParseLift має низькі інвестиційні витрати та зменшує ергономічне навантаження на оператора. Додатковою перевагою підйомного засобу є придатність до існуючої конвеєрної стрічки. Інструмент простий у використанні, а термін навчання короткий. Очевидним недоліком ParseLift є те, що операторам все одно доводиться виконувати всі рухи, необхідні для захоплення коробки.

Основною перевагою Empticon у порівнянні з ручним розвантаженням контейнерів є те, що оператор не повинен обробляти важкі вантажі. Ця ергономічна перевага в кінцевому підсумку призведе до зниження вартості, спричиненої опорно-руховим апаратом. У "Емпіптікону" проблеми, коли слід витягувати важкі коробки з невеликою шириною, оскільки до коробки можна прикріпити лише кілька присосок, чого недостатньо, щоб витягнути її на транспортер. Також якість картону має велике значення, інакше присоски не прикріпляться до картону. Присоски також можуть мати проблеми з прикріпленням до коробки, якщо Empticon та контейнер не розташовані паралельно.

За допомогою ParcelRobot усувається проблема ергономіки, оскільки не потрібен оператор. Основними недоліками системи є інвестиційні витрати (2 500 000 доларів) та час окупності. Кількість коробок, які вивантажуються, повинна була бути високою, щоб досягти часу окупності в розумні терміни.

Для Random Box Mover доцільність є проблемою. Наприклад, якщо коробки розмірами 200x400x300 мм (ширина, глибина, висота) поміщають у робочий конверт, еквівалентний стандартному 20-футовому морському контейнеру, це призведе до того, що камери потрібно буде розташовувати на відстані 4 метрів над підлогою контейнера. При висоті стандартного контейнера 2 метри проблема очевидна. Ще одним недоліком є те, що RBM може працювати лише з USB-кабелями довжиною менше 5 метрів. Як наслідок, ПК повинен транспортуватися разом із системою камери, коли робот

надходить у контейнер. Загалом, програма Random Box Mover є потенційним рішенням для виявлення робочих об'єктів у космосі. Перевагами є використання недорогих камер та можливість адаптації до різних систем контролерів роботів. Через необхідність розміщення камер на вертикальній відстані, що перевищує стандартну висоту контейнера, це значний недолік. Через додаткові витрати (робот тощо) загальна вартість цієї системи висока.

Основною перевагою використання TEUN є те, що потрібен лише водій вантажівки, який завантажує та розвантажує машину з порожнім відповідним повним піддоном. Одним недоліком рішення є те, що система пропонується як послуга, і тому час окупності важко розрахувати.

У IKEA ергономічні проблеми низькі в порівнянні з Elgiganten, оскільки процедурою розвантаження керують вантажівки. На жаль, використані картонні піддони не застосовуються, оскільки це не рентабельно. Кількість розвантажених контейнерів в IKEA значно більша. Головною перевагою цього рішення є те, що воно не чутливе до різноманітних продуктів, що також є у IKEA.

У Attends кількість прибулих контейнерів становить близько 60 на місяць. Однак кількість варіантів менше, а вага коробки нижчий на Attends. Більша частина системного рішення застосовується, але захоплювач - ні.

Як правило, вдосконалене рішення для розвантаження контейнерів не підходить через низьку кількість контейнерів, що надходять, і їхній рівень автоматизації на сьогодні є низьким.

Процедура систематичного оцінювання розпочалася з матриці П'ю, де різні рішення порівнювались з еталонним, існуючим рішенням. Встановлено шість можливих рішень, які вказані в таблиці 2. Чотири з них використовують існуюче рішення на першому етапі та роботизовану палетизацію на другому етапі, тоді як рішення E та F є системними рішеннями для програми Розвантаження контейнера.

Таблиця 2: Різні рішення.

Solution:	Stage One:	Stage Two:
A	ParceLift	Robotized Palletizing
B	Empticon	Robotized Palletizing
C	ParcelRobot	Robotized Palletizing
D	Random Box Mover	Robotized Palletizing
E	TEUN	
F	COPAL	

Критеріями, що використовуються в матриці П'ю, є: ергономічність, вартість, продуктивність, техніко-економічне обґрунтування та застосовність. Ергономіка відноситься до робочого середовища для операторів у рішенні, а вартість стосується, якщо рішення має термін окупності менше п'яти років. Критерій продуктивності охоплює кількість картонних короб, які можна вивантажити та палетизувати. Доцільність означає, наскільки легко реалізувати, зрозуміти та працювати з рішенням. Запобігання виробничому травматизму в розчині охоплюється критерієм безпеки. Застосовність стосується того, наскільки добре розчин може впоратися з різноманітними продуктами.

Таблиця 3: Матриця П'ю.

Chalmers	Pugh matrix						
					Created: 120416		Page 1
					Modified: 120502		
Criteria	Solution alternative						
	Ref	A	B	C	D	E	F
Ergonomics		+	+	+	+	+	+
Cost		+	+	-	-	+	-
Productivity		0	0	-	+	-	+
Feasibility		0	0	-	-	-	0
Safety		0	+	+	+	+	+
Applicability		0	-	-	0	0	-
# +		2	3	2	3	3	3
# 0		4	2	0	1	1	1
# -		0	1	4	2	2	2
Net value		2	2	-2	1	1	1
Ranking		1	1	6	3	3	3
Further development		Yes	Yes	No	Yes	Yes	Yes
Decision	Evaluate alternatives A and B using a Kesseling matrix						

Позитивне чисте значення означає, що рішення є кращим, ніж існуюче рішення. Розчин С мав негативну чисту вартість, і тому це рішення негайно було усунуто. Рішення А, В, D, E та F все ще мали позитивну чисту вартість, і оскільки чиста вартість рішень незначно відрізнялася, необхідна подальша оцінка.

У матриці Кессельрінга було проаналізовано п'ять рішень щодо зважування критеріїв.

Таблиця 4: Матриця Кессельрінга.

Chalmers		Kesseling matrix											
		Created: 120416								Page 1			
		Modified: 120502											
Criteria		Solution alternative											
		Ideal		A		B		D		E		F	
Name	w	v	t	v	t	v	t	v	t	v	t	v	t
Ergonomics	5	5	25	4	20	5	25	5	25	5	25	4	20
Cost	3	5	15	5	15	3	9	1	3	3	9	2	6
Productivity	3	5	15	4	12	4	12	3	9	3	9	5	15
Feasibility	4	5	20	5	20	3	12	2	8	2	8	3	12
Safety	4	5	20	3	12	4	16	5	20	4	16	3	12
Applicability	4	5	20	4	16	4	16	1	4	2	8	1	4
Total		30	115	25	95	23	90	17	69	19	75	18	69
Rank					1		2		4		3		4
Decision		Propose both alternative A and B											

Рішення D, E та F мали найнижчий загальний бал, що означало, що ці рішення були усунені. Рішення А і В мають загальний бал, близький один до одного. Через суб'єктивний вплив на результат матриць та той факт, що це невелика різниця в загальній оцінці, рішення про пропозицію двох рішень було очевидним. Зверніть увагу, що значення в матрицях базуються на аналізі, зробленому раніше.

На основі аналізу викладено два запропоновані рішення. Використовуючи неструктуровані інтерв'ю, точки зору операторів щодо

поточного робочого середовища мотивують ці два запропоновані рішення. Твердження А і В є рішеннями для першого етапу. Пропозиція А включає напівавтомат Empticon, а пропозиція В - ручний підйомний пристрій ParceLift. Кожне з цих рішень можна поєднати з рішенням для другого етапу, роботизованою палетизацією, яке далі описано в цьому розділі.

Порівняно з Empticon, ParceLift вимагає короткого навчального часу і, отже, підходить для великої плинності кадрів. Оскільки ParceLift застосовується до існуючої конвеєрної стрічки в Elgiganten, це також може бути першим кроком до автоматичного рішення на першому етапі. Використовуючи ParceLift, оператор повинен розмістити коробки в правильній орієнтації, щоб уникнути реалізації функції рульового управління.

ParceLift успішно впроваджено в Posten Logistics в штаті Оребро, де щодня обробляється велика кількість різноманітних коробок. Відносно низькі інвестиційні витрати та придатність до існуючої конвеєрної стрічки - дві речі, які підтримують це рішення.

Погані ергономічні пози не покращуються впровадженням ParceLift, але ризик розвитку опорно-рухового апарату зменшується за рахунок зменшення робочих навантажень.

Головною перевагою впровадження Empticon є ергономічні переваги. Оператору не потрібно піднімати коробки вручну, а керує транспортером до коробки. Коли картонні коробки розміщені на конвеєрній стрічці, необхідна функція рульового управління, щоб перемістити картонні коробки у задане положення. Це положення повинно бути однаковим для всіх коробок, оскільки положення вибору робота є постійним. Орієнтація коробки в контейнері буде однаковою на конвеєрній стрічці, оскільки компанія Empticon не може переорієнтувати коробки.

Щоб бути кваліфікованим водієм Empticon, потрібен досить довгий час практики. На даний момент плинність персоналу відносно висока. Однак,

якщо Emrticon потрібно успішно впровадити, групу операторів потрібно навчити та навчити керувати машиною.

Інвестиція в Emrticon випустить існуючу конвеєрну стрічку, яка може бути використана для інших воріт під час піків у сезонних варіаціях.

Процедура роботизованої палетизації починається з розміщення коробки вздовж двох сторін, див. рисунок 2.15. Для процедури палетизації це позиціонування є важливим, оскільки якщо коробка не орієнтована однаково кожного разу, коли шаблон піддону буде невпорядкованим

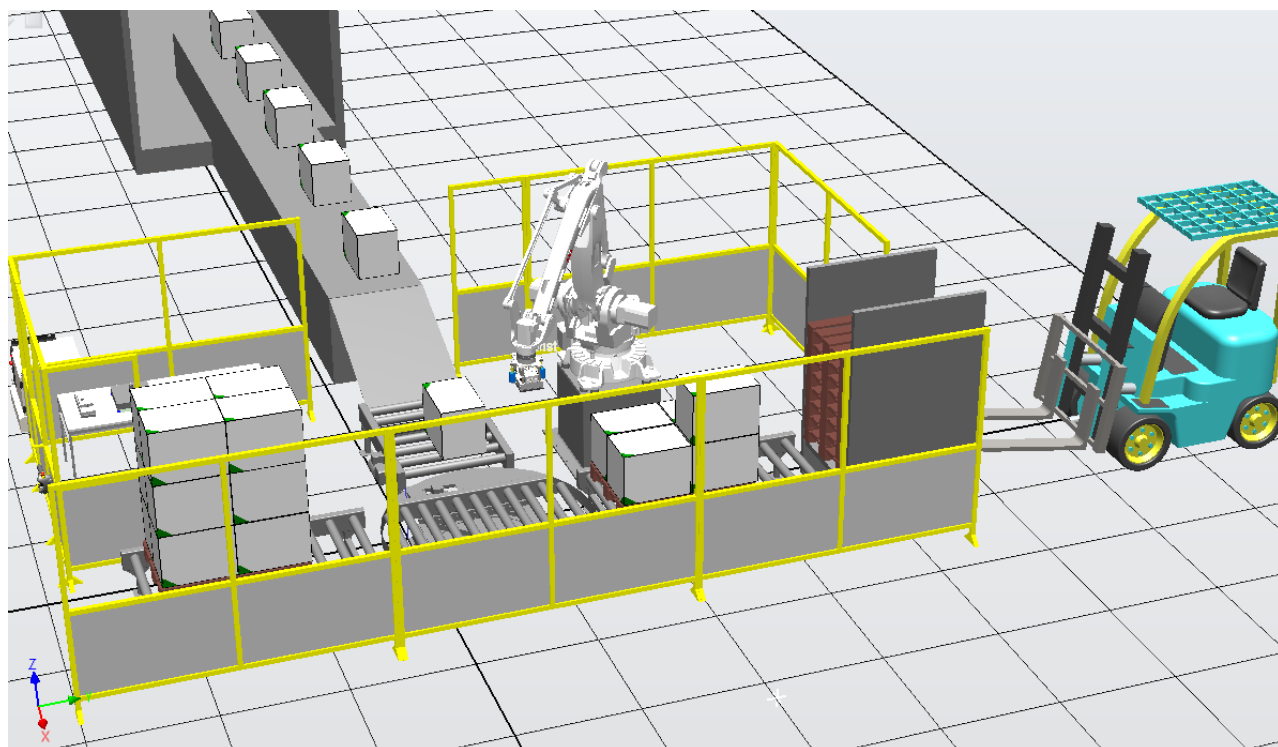


Рис. 2.15. Ілюстрація роботизованої процедури палетизації від RobotStudio

Коли позиціонування забезпечене, робот забирає коробку вакуумним захоплювальним пристроєм і піддає її палетизації на піддоні. Після закінчення всього піддону він транспортується до подаючого механізму, і новий піддон із магазину піддонів надходить у положення піддону. З подаваючого механізму готовий піддон транспортується вантажівкою до машини, де його обмотують поліетиленовою плівкою.

Одним із варіантів може бути впровадження машини для розтягування упаковки в клітинку, але ця опція не обрана через обмеження раніше в проекті. При побудові робочої комірки необхідно враховувати питання безпеки. Потрібно влаштувати огорожі, щоб жоден працівник не міг увійти в камеру, поки робот працює. Крім того, огорожі не повинні перешкоджати роботу.

Сьогодні очевидна ергономічна напруга операторів. На основі ергономічного аналізу якнайшвидше потрібно переробити робочі станції. І пропозиція А, і пропозиція В зменшують ергономічне навантаження на оператора, що було важливим фактором при виборі відповідних рішень.

Обидва положення мають свої сильні та слабкі сторони. Використовуючи Empticon на першому етапі, навчений та кваліфікований оператор може вивантажувати 600 коробок на годину. Якщо на першому етапі використовується ParceLift, це обмеження оцінюється в 700 коробок на годину. Роботизована палетизація на Другій стадії має обмеження на 400 коробок на годину, коли за один раз вибирається та палетизується лише одна коробка. Якщо одночасно палетизувати більше коробок, час циклу на коробці зменшиться і буде досягнута вища продуктивність. Важливо, що другий етап є обмежуючим фактором. В іншому випадку навантаження на операторів першого етапу збільшиться, а це, в свою чергу, збільшить ергономічну напругу.

При аналізі інших подібних випадків розвантаження контейнерів очевидно, що запропоновані рішення успішно впроваджені, що посилює рішення. У Attends виконується робот, який вручну розвантажує контейнери та палетизує коробки роботом. Щотижня вивантажується приблизно п'ятнадцять контейнерів. Причиною того, що під час вивантаження контейнера не використовуються підйомні засоби, є низька вага коробки. За словами Attends, переважно та економічно доцільно застосовувати роботизовану палетизацію, хоча вага картону не такий високий. Під час навчального візиту в IKEA Distribution Central в Торсвіку було виявлено ще одну цікаву процедуру розвантаження контейнерів. У IKEA всі контейнери надходять із коробками, вже палетизованими на картонні піддони, що означає, що цілі піддони можна розвантажити безпосередньо вантажівкою. Незважаючи на те, що рішення було цікавим для подальшого аналізу, цей тип рішення не розглядався.

Вхідні дані навчальних візитів у Attends вплинули на вибір захоплення. Очевидною проблемою FlexGripper є здатність присосок компенсувати різну висоту виробів. Цей недолік був виправлений за допомогою вищих присосок, але вони, в свою чергу, призводять до небажаних махових рухів під час прискорення або уповільнення. У Attends різноманітність розмірів картону є низькою. Більші варіації розмірів картонної коробки потребують більш гнучкого захоплення. Таким чином, вибір вакуумного захоплювача був мотивований. При проектуванні захоплювача важливим фактором, який слід враховувати, є зміна якості картону та її здатність протистояти деформаціям. У централізованому складі якість картону відрізняється від продуктів. Картонні коробки, що містять більше одного продукту, часто мають гіршу якість.

Коли справа доходить до управління сезонними варіаціями, найкращий спосіб з ергономічної точки зору - це додати додаткові зміни. Це також збільшить коефіцієнт використання робота. Інша альтернатива - використовувати двох операторів на першому етапі та зменшити час циклу для робота, вибравши кілька коробок одночасно. У запропонованому рішенні робот

є вузьким місцем, що є кращим з ергономічної точки зору. Якщо потрібна ще більша потужність, зворотній бік контейнера можна включати до вивантаження.

Впровадження роботизованої палетизації вимагатиме значних вкладень. Щоб застосувати рішення, потрібен оператор, який має технічні інтереси, і він повинен відповідати за підготовку та перевірку, коли надходять нові продукти. Проблеми з методом навчання у PzPP потрібно усунути, перш ніж програмне забезпечення буде достатньо надійним для реалізації. Крім того, оператори повинні бути навчені та кваліфікованими в PzPP для вирішення можливих проблем, що виникають. Можливістю було б впровадження роботизованої палетизації приблизно для п'яти продуктів, що становлять основну частку загального обсягу. Потім кількість продуктів можна збільшити після того, як перші п'ять продуктів без труднощів піддаються палетизації. Таким чином, оператори звикають як до програмного забезпечення, так і до нового способу роботи.

Додатковими факторами, які необхідно враховувати при впровадженні, є системи ідентифікації картону та конвеєрні буфери. Система ідентифікації, наприклад зчитувач штрих-коду, потрібна, якщо на конвеєрі одночасно повинні знаходитися різні коробки. Це має повідомити робота про те, яку коробку потрібно вибрати. Для вибору декількох коробок одночасно потрібна буферна система, щоб забезпечити роботу правильну кількість коробок.

Наслідки для фізичного навантаження та розладів опорно-рухового апарату зменшаться, згідно з REBA, при впровадженні підйомних засобів та роботизованої палетизації. Оскільки характеристики праці переходять від ручної роботи до частково ручної, ергономічна деформація зменшиться [50]. Впровадження призведе до зниження швидкості руху, що також зменшить ергономічні деформації.

Використовуючи ParceLift на першій стадії, скарги операторів на біль у попереку зменшаться [36]. У тематичному дослідженні в Постені в штаті Орегон відсутність через хворобу зменшилась на 5-10%. Оскільки фірми сьогодні наймають свій персонал через кадрову компанію, відсутність через хворобу невідома. Це не означає, що це не проблема. Якщо виявиться, що оператори штатної компанії отримали розлади опорно-рухового апарату через погані ергономічні робочі місця, це серйозна проблема.

Сьогодні на ринку існують цікаві рішення для вивантаження контейнерів, і тому був зроблений вибір їх аналізу. Як уже згадувалося раніше, не всі з них підходять, але все ж цікаво, якщо кількість прибуваючих коробок на місяць зростає. Метод вивчення існуючих рішень замість розробки абсолютно нової концепції має свої сильні та слабкі сторони. Однією з сильних сторін вивчення існуючих рішень є те, що методика добре перевірена і перевіряється на ділі. Якщо буде запропонована нова концепція, ця концепція не буде апробована у повному обсязі виробництва, що є недоліком порівняно з існуючими рішеннями. Слабкою стороною зосередження на існуючих рішеннях є обмеження можливих рішень. Для збільшення кількості можливих рішень можна було проаналізувати подальші існуючі рішення іншого бізнесу.

3 СПЕЦІАЛЬНА ЧАСТИНА

3.1 Вибір програмного забезпечення

Кожному роботу потрібна програма, якої слід керуватися, виконуючи рухи під час операції. Програма створюється за допомогою онлайн або офлайн програмування або їх комбінації. При онлайн-програмуванні програма встановлюється шляхом переміщення робота в потрібні позиції, що називається бігом. Ця операція бігу виконується портативним пристроєм під назвою TeachPendant [14]. У цьому пристрої також можна, наприклад, вручну змінювати цифрові входи та цифрові виходи, налаштовувати програму та отримувати інструкції при виникненні проблем. В онлайн-програмуванні ви в основному навчаєте робота послідовності, переміщаючи робота в різні позиції в послідовності.

З іншого боку, в автономному програмуванні для створення програми для робота використовується комп'ютерне програмне забезпечення. Однією з переваг офлайн-програмування в порівнянні з онлайн-програмуванням є простої виробництва під час побудови нової програми. Програма виконана в комп'ютерному програмному забезпеченні, а виробництво просто зупинено під час впровадження нової програми або перевірки позицій між віртуальною моделлю та реальністю. Ще однією перевагою офлайн-програмування є можливість тестування програми перед впровадженням.

У цьому розділі буде описано спосіб роботи з надбудовою RzPP від ABB RobotStudio для створення піддонів з продуктами, як зазначено користувачем. Мета програмного забезпечення полягає у створенні та імітації процесів піддонів у простий, швидкий та гнучкий спосіб без необхідності будь-яких навичок програмування роботів. Замість програмування послідовностей вибору та розміщення, конвеєрів та інструментів захоплення, система налаштовується у віконному середовищі. У порівнянні з традиційними методами це значно зменшить час програмування [18].

PzPP - це подальший розвиток програмного забезпечення ABB для палетизації PickMaster5 з метою ще більшого спрощення моделювання процесів палетизації. Основна відмінність між програмним забезпеченням, див. рисунку 3.1, полягає в тому, що PzPP пропонує візуалізоване середовище моделювання для всього процесу палетизації, тоді як у PickMaster5 це недоступно [19] [20]. Крім того, PzPP інтегрований у RobotStudio замість того, щоб бути самостійним додатком [21] [19].

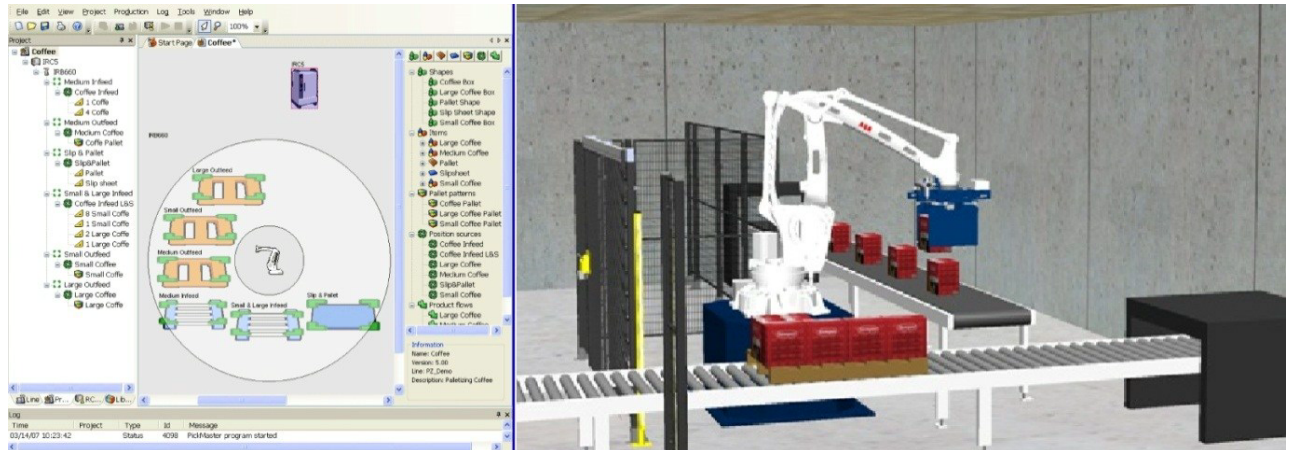


Рис. 3.1. PickMaster5 ліворуч, а його наступник PzPP праворуч

Перш ніж виконувати будь-яку роботу з PzPP, необхідно підготувати віртуальний контролер робототехнічної системи в RobotStudio для включення всіх необхідних сигналів. Це робиться, коли створюється нова система роботів і називається опцією “Підготовка до PickMaster”. ABB включив більшість своїх чотири- та шестивісних роботів на вибір. Після вибору робота та створення системи PzPP готовий до використання.

Вкладка меню PzPP у RobotStudio представлена на Рис. 3.2. Вона містить десять різних категорій з різними компонентами побудови, де наступні п’ять категорій необхідні в робочому процесі створення модельованого процесу піддону:

Побудувати комірку - Дані продукту - Програмування - Перевірити –
Моделювання

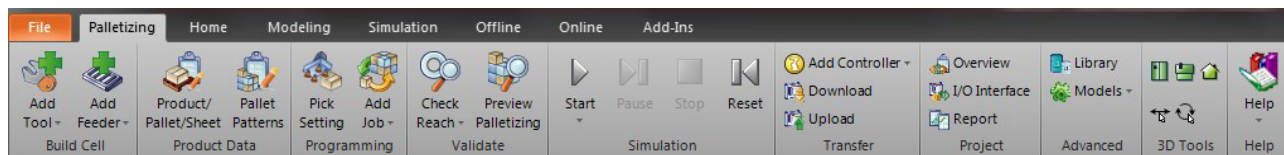


Рис. 3.2. Вкладка меню PzPP у RobotStudio

У категорії «Створення комірки» інструменти та пристрої для подачі продуктів імпортується та додаються до робота та комірки робота відповідно. АВВ включила п'ять стандартних інструментів як SmartComponents до виберить з. Ці інструменти містять такі функції, як збирання вакууму для коробки, захоплення кігтями для мішків та пошук піддонів. Оскільки існують стандартні інструменти, редагування сигналів інструментів не потрібно [21]. Для транспортування продуктів та піддонів у робочу камеру та з неї використовуються конвеєрні доріжки, які називаються живильниками. Зазвичай використовуються три типи годівниць; вхідне, вихідне та піддонне живлення.

Розміри та вага виробів та піддонів визначаються у категорії “Дані про товар”, див. Рисунок 3.3. Коли продукти та піддони визначені, схеми піддонів на основі даних на попередньому кроці автоматично генеруються. Потім сформовані візерунки додаються до піддону шар за шаром, див. рисунку 3.4.

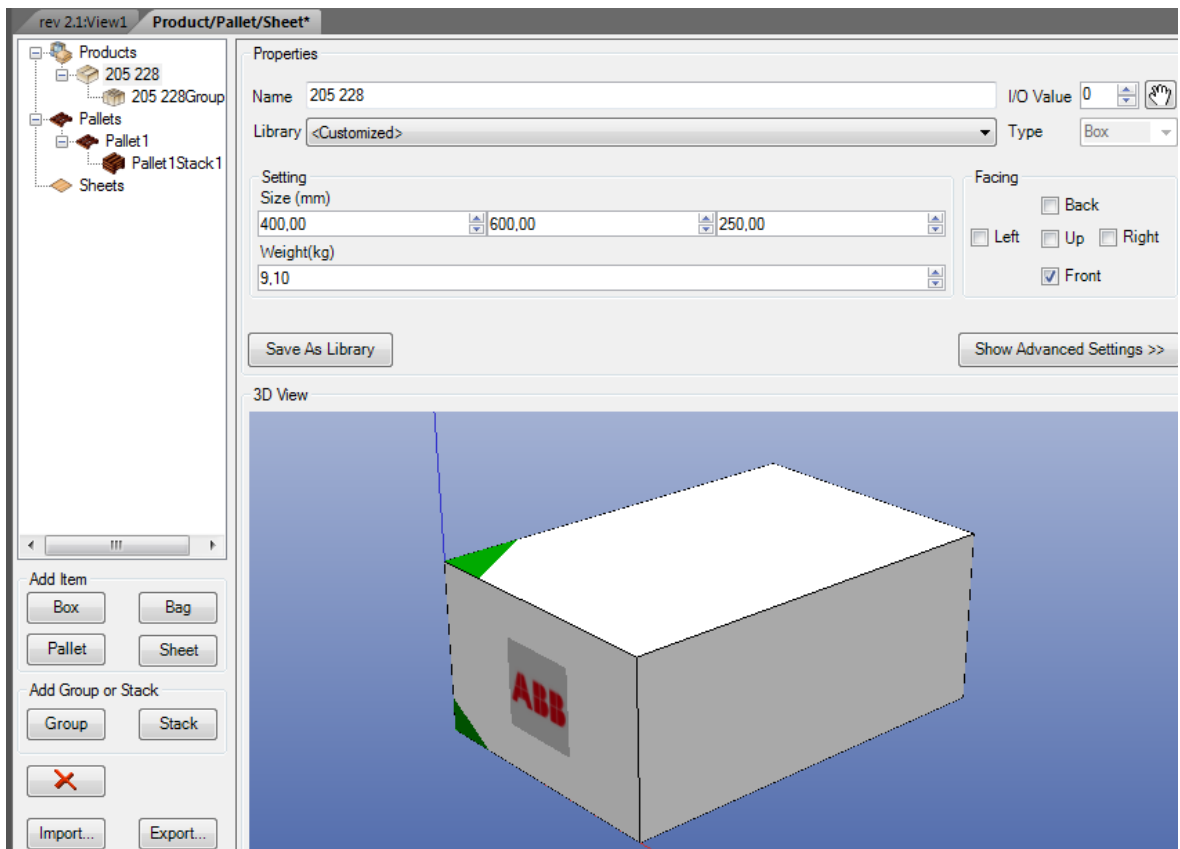


Рис. 3.3. Визначення розмірів та ваги коробки

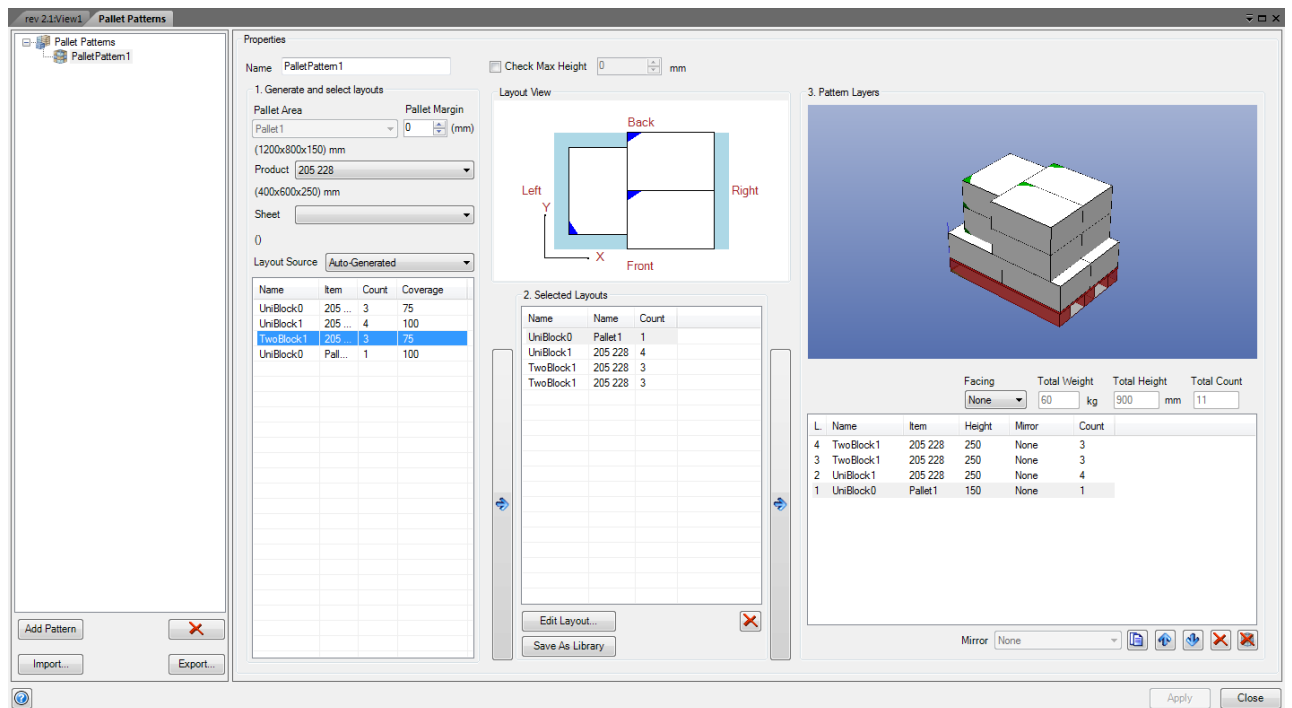


Рис. 3.4. Підбір автоматично згенерованих шаблонів піддонів

Наступна категорія, “Програмування”, визначає, як інструмент потребує вживання продуктів і як слід використовувати роботу з піддону. При установці вибору, орієнтації та зміні інструменту, див. рисунок 3.5, щодо продукту вказано.

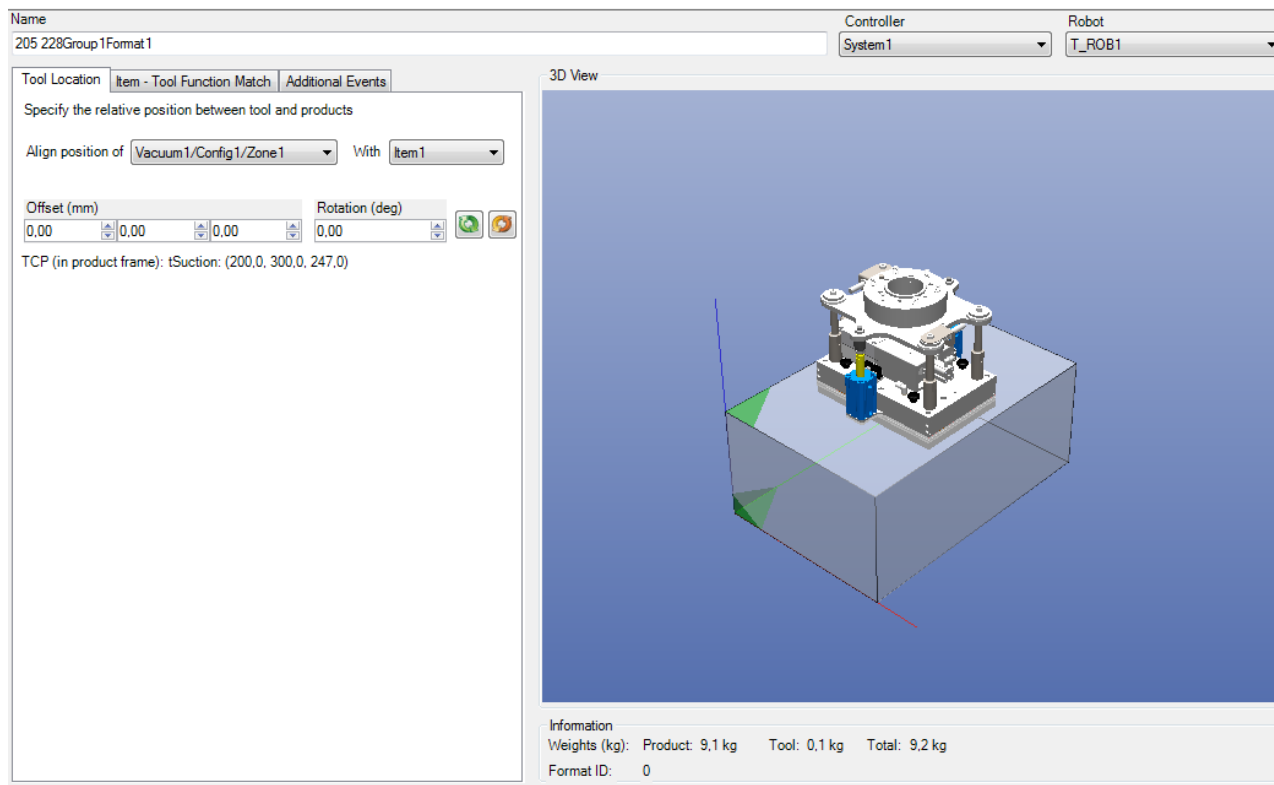


Рис. 3.5. Орієнтація та зміщення інструменту

Для створення процесу палетизації додається завдання за допомогою кнопки «Додати завдання», де призначаються годівниці для подачі робота продуктом і який подавач використовувати для розміщення шаблону піддону.

Остання категорія перед моделюванням, "Перевірити", використовується для забезпечення того, щоб робот міг досягти всіх цілей вибору та розміщення. Це робиться за допомогою кнопки “Перевірити охоплення”. За бажанням, процес піддону можна переглянути попередньо перед тим, як брати участь реальне моделювання.

У розділі “Модельовання” процес піддону завантажується на віртуальний контролер у RobotStudio і моделюється, див. рисунок 3.6, перед тим, як виконувати будь-які реалізації фізичного контролера робота.

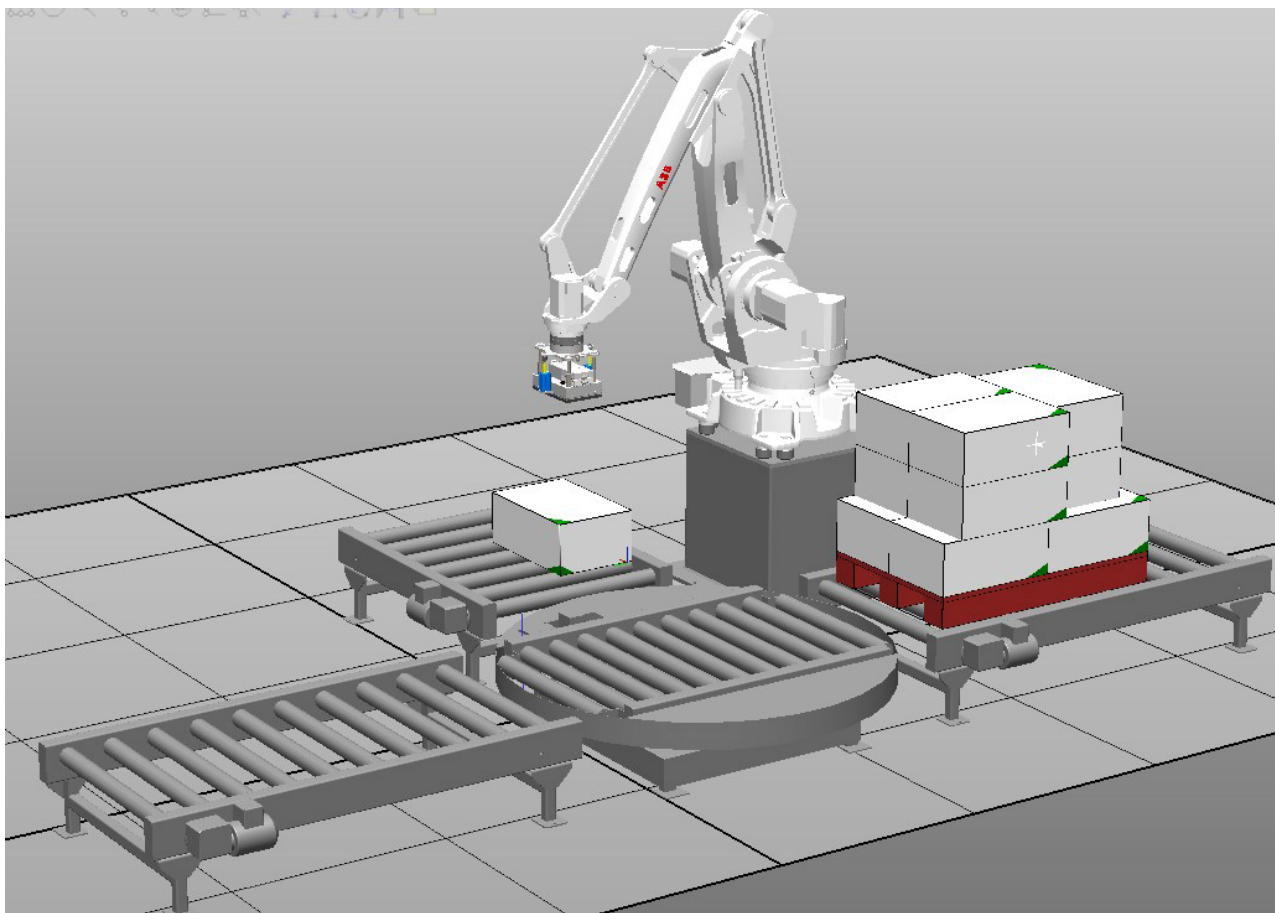


Рис. 3.6. Знімок модельованого процесу піддону

Після завершення всіх етапів і моделювання дало задовільний результат, проект палетизації завершено і може бути застосований до реальної коміррки робота.

3.2 Палетизація PowerPac

Цей розділ спершу висвітлить сильні сторони PzPP. По-друге, наводяться різні проблеми із програмним забезпеченням. Ці проблеми виникли після використання програмного забезпечення та його більш ретельного аналізу. Проблеми були віднесені до категорії недоліків та проблем із методом

навчання. Недоліки вважаються більш серйозними проблемами, ніж проблеми з методом навчання, оскільки проблеми з методом навчання, швидше за все, можна виправити до наступного випуску оновлення програмного забезпечення.

Існує кілька сильних сторін PzPP. Програмне середовище в PzPP має логічний макет із символами, які легко зрозуміти. Це дозволяє користувачеві швидко ознайомитись з різними кроками, необхідними для виготовлення піддону. Підхід до відмови від необхідності виконувати будь-які інші необхідні традиційні програми на основі текстового робота є акуратним і полегшує розуміння програмного забезпечення для досвідченого користувача. Можливість експортувати дані про товари та схеми піддонів як XML-файли - це економія часу, оскільки це позбавляє від необхідності повторного введення даних для всіх продуктів, якщо вони будуть використовуватися на іншій робот-станції. Крім того, якщо існує багато різних продуктів з різними розмірами та вагою, не бажано одночасно імпортувати всі ці дані про товари в PzPP. Це призводить до великої кількості прокрутки та пошуку потрібного типу товару у вікні Дані товару. Таким чином, наявність кожного продукту у вигляді XML-файлу та імпорт лише необхідних на той час продуктів значно спрощує це питання.

Є варіанти ручного редагування та налаштування шаблонів, наприклад регулюючи кожне виріб індивідуальним положенням та орієнтацією на піддоні, див. Рисунок 3.7. Схеми піддонів зображені графічно у тривимірному вигляді, який можна обертати та масштабувати за бажанням користувача. Це дає хороший зворотний зв'язок і полегшує контроль та перевірку того, що створені правильні шаблони. Якщо ступінь заповнення піддону є важливим параметром, автоматично згенеровані шаблони можна відсортувати за ступенем заповнення, і максимальне значення можна легко знайти. Також доступні відгуки, що гарантують, що максимальна висота та вага піддону не перевищені.

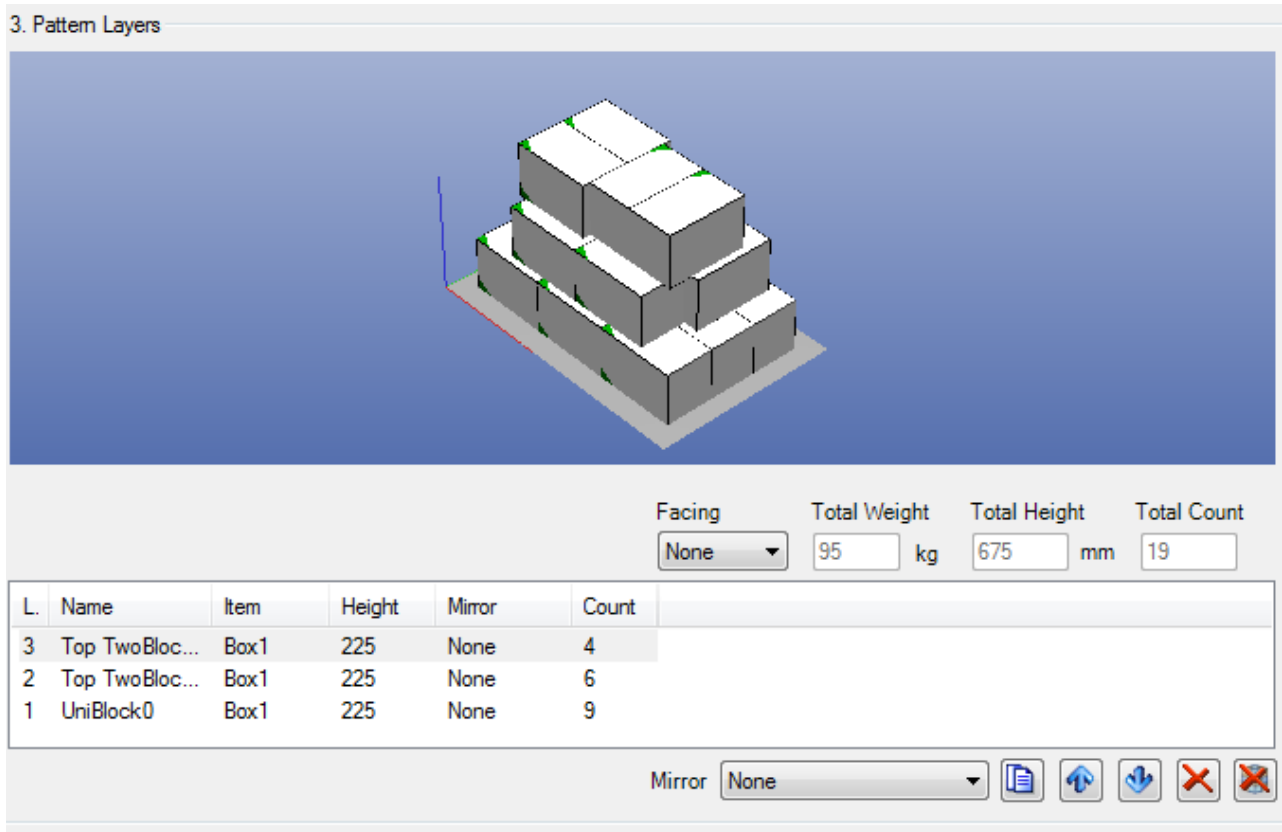


Рис. 3.7. Налаштування шаблонів

Якщо використовується інструмент з декількома присосками, можна створити зони, що містять одну або кілька присосок. Активація та деактивація зон, тобто чашок залежно від розмірів виробу. Це дозволяє використовувати інструмент, тобто вакуумну прокладку, більшу за площу поверхні виробу, без ризику прикріплення сусідніх виробів до інструменту. Активну область інструменту можна просто налаштувати відповідно до області продукту. Крім того, якщо використовується стандартний інструмент від АВВ, такий як FlexGripper, усі сигнали інструменту вже підготовлені та визначені в контролері робота.

Жодних цілей вибору та розміщення, конфігурацій осей робота чи інструкцій з програмування не повинно бути визначено. Вони динамічно створюються RzPP на основі розмірів продукту та позицій подавача. Це додатково економить час програмування і робить налаштування майже plug-and-play. На етапі моделювання основною перевагою є можливість візуально

бачити всі рухи та дії, що виконуються роботом та інструментом. Це допомагає у виявленні будь-яких можливих зіткнень між уже палетизованими продуктами та продуктами, що утримуються роботом, що підлягає палетизації.

Що стосується недоліків та проблем із прорізуванням зубів, то вони здебільшого стосуються функцій інструменту, налаштувань швидкості та варіантів палетизації.

Створюючи новий інструмент із існуючої САПР-моделі, такі функції інструменту, як вакуум, повинні бути визначені. Існує шість попередньо визначених функцій інструменту, які призначені для використання зі стандартними інструментами АББ. Функція інструмента потребує одного або декількох сигналів керування та інструменту залежно від того, який тип функції використовується. Це створює проблему при використанні нестандартного інструменту, оскільки всі вхідні та вихідні сигнали, які потрібно визначити у функції інструмента, можуть не існувати в нестандартному інструменті. Як наслідок, функція інструменту не буде працювати належним чином. У RzPP також немає можливостей імпортувати або створювати власні функції інструменту, що є очевидним недоліком.

При використанні функції «Перевірити охоплення» перевіряється лише доступність роботів у місцях вибору та розміщення. Отже, будь-які проміжні позиції між цими позиціями вибору та місця не перевіряються. Як результат, RzPP заявить, що робот здатний виконати весь процес палетизації без ускладнень. Однак, коли процес піддону моделюється в програмному забезпеченні або завантажується на фізичний контролер робота, з'являється повідомлення про помилку про неможливість досягти проміжного положення. Для того, щоб виявити цю проблему, весь процес палетизації повинен бути виконаний до будь-якого виявлення згаданої проблеми, оскільки проблема почне виникати для піддонів з висотою, близькою до межі робочого діапазону робота. Щоб вирішити цю проблему, необхідна певна кількість модифікацій в рутині, яка використовується в RzPP для обчислення проміжних позицій.

Завдяки цьому втрачається мета та надійність моделювання процесу піддону для виявлення можливих проблем до того, як буде здійснено фізичне впровадження. Отже, бажаний варіант у функції «Перевірити охоплення», що дозволяє перевірити доступність проміжних позицій.

Коли в RzPP визначені значення швидкостей, прискорень та уповільнення робота, які називаються значеннями руху, ці значення можливо визначити лише для певного виробу. Якщо створюється новий продукт, і користувач бажає використовувати ті самі значення руху, що і для попереднього продукту, цього зробити не можна. Натомість всю процедуру потрібно повторити для кожного нового продукту, який створено. Часто можна використовувати однакові швидкості, прискорення та уповільнення, чи розміри та вага виробу подібні до виробу з уже визначеними значеннями руху. Тому було б більш ефективно мати можливість створити групу виробів, де всі товари цієї групи використовують однакові значення руху.

Визначені значення руху можна налаштувати в режимі онлайн на фізичній робочій станції за допомогою функції налаштування, наданої RzPP на TeachPendant. Це має створити плавний потік рухів між положеннями вибору та місця, а також значень рухів, коли робот наближається та відходить від визначених цілей. Однак налаштувати значення руху для станів можливо лише тоді, коли робот тримає виріб. Таким чином, значення руху, коли робот наближається до товару для вибору або відходить після розміщення продукту, неможливо налаштувати. Натомість ці значення потрібно встановлювати в автономному режимі в RzPP. Це робить функцію налаштування напівмірою і менш здатною виконувати бажані налаштування.

Що стосується варіантів палетизації, недоліком є те, що обертати виріб можна лише навколо осі Z. Крім того, всі продукти, що належать до одного шару на піддоні, повинні мати однакову орієнтацію щодо осей X та Y. Отже, якщо бажано, щоб кожен другий шар із поворотом виробу обертався навколо осі X та / або Y, див. рисунок 3.8, необхідно створити новий виріб. Вироби

ідентичні з тією лише різницею, що розміри в Y та Z були змінені, даючи стоячий продукт замість лежачого. Зі збільшенням кількості продуктів зростає і кількість XML-файлів, що може стати проблемою для такої компанії з великою різноманітністю продуктів.

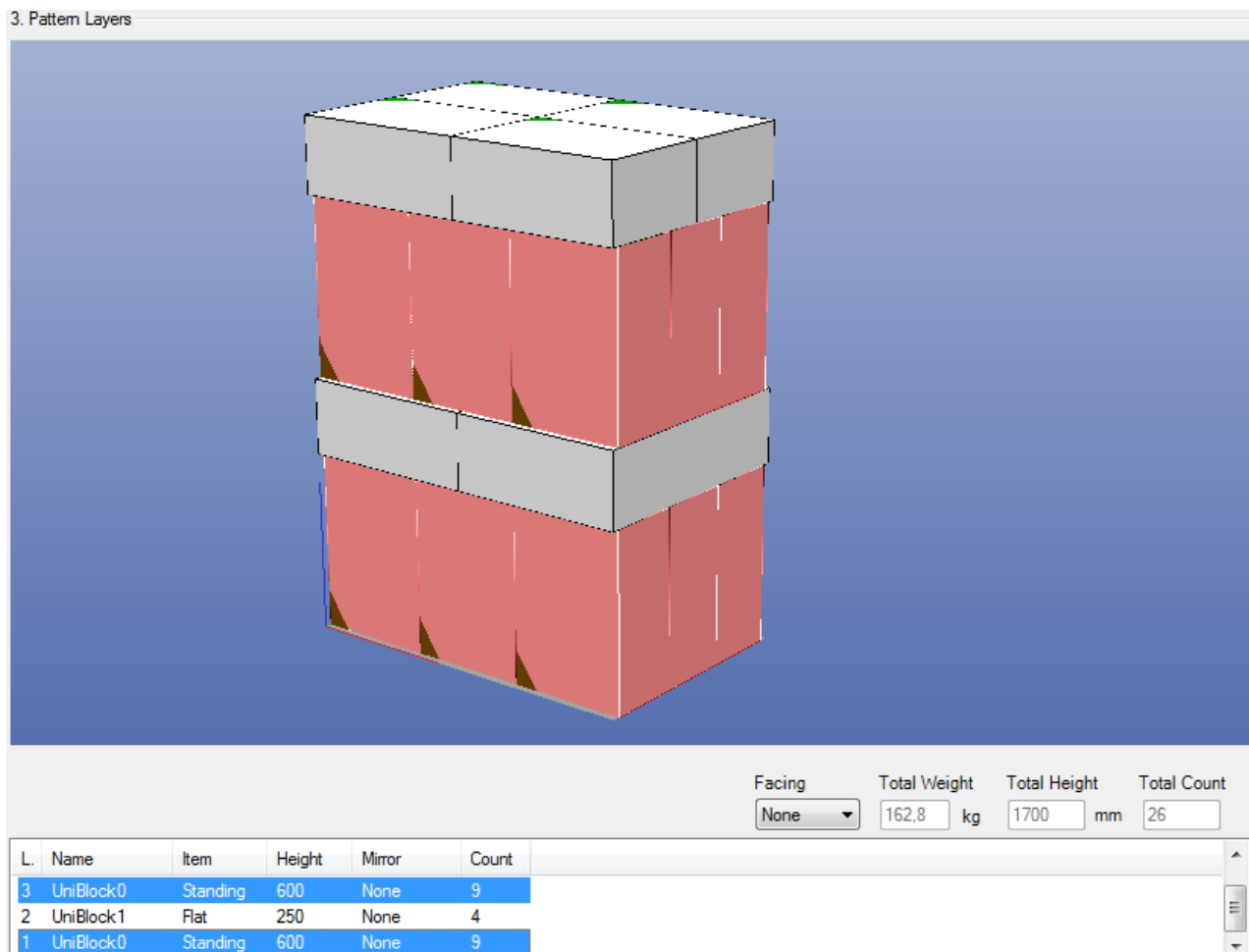


Рис. 3.8. Візерунок з піддонів, що складається з виробів з однаковими розмірами. Вироби червоного кольору обертаються навколо осей X та Y

Оскільки в PzPP немає інтегрованої фізики, можна створити ірраціональні шаблони піддонів, див. Рисунок 3.9. Відсутність зворотного зв'язку та попереджень при створенні такого типу шаблону робить PzPP менш стійким до людських помилок та помилок. Бажано, щоб застереження могло з'явитися, якщо виріб розміщений на висоті більше 5 см над сусідніми виробами.

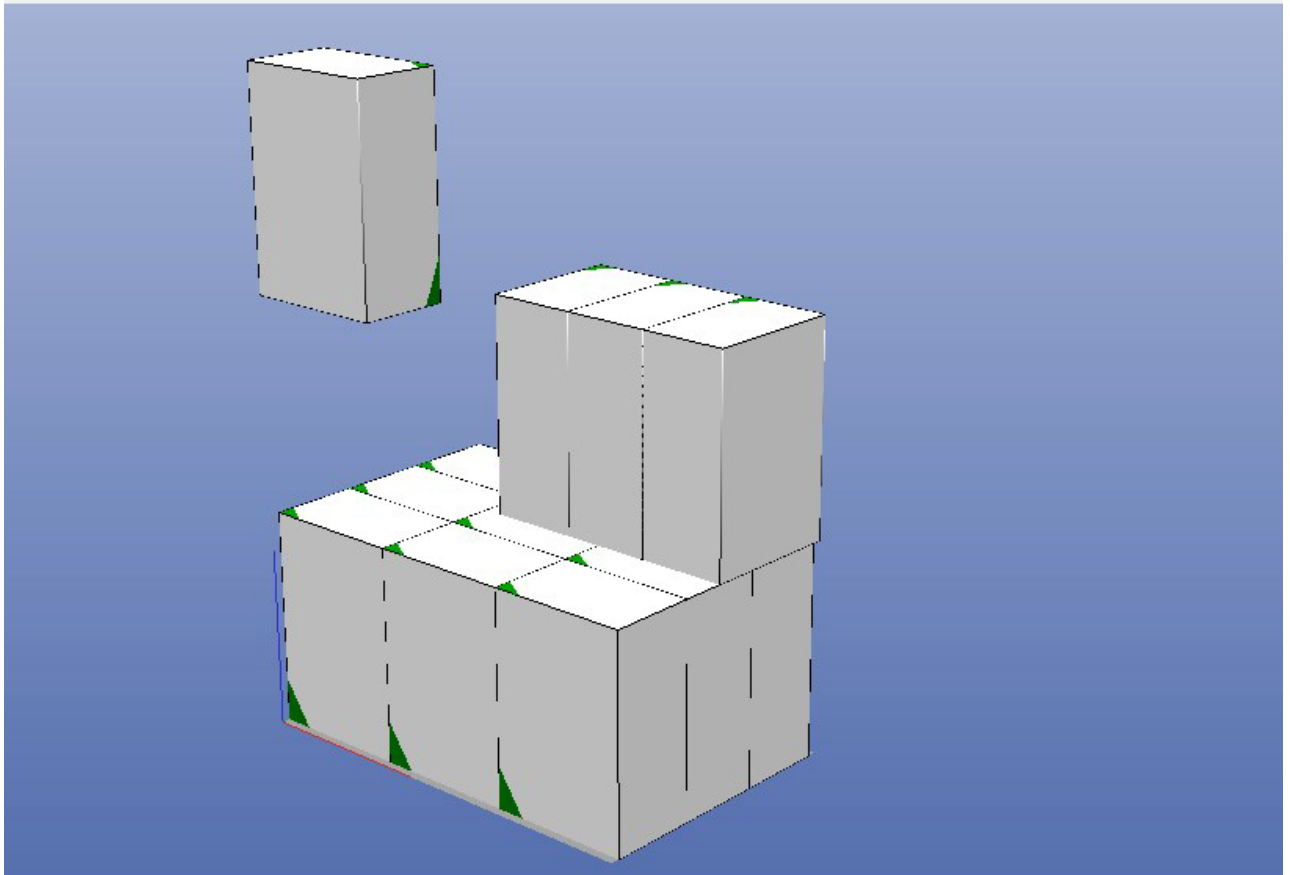


Рис. 3.9. Приклад ірраціональної схеми піддонів, коли виріб розміщується без контакту з сусідніми продуктами

Наступні проблеми з програмуванням вважаються менш серйозними, ніж недоліки, але все ж викликають ускладнення при використанні PzPP. По-перше, всі продукти та піддони, визначені в PzPP, втрачаються, якщо робот-станція закрита до дезактивації PzPP. Щоб уникнути цієї проблеми, слід виконати таку процедуру:

- Відкрита станція
- Активуйте PzPP
- (Робота з PzPP)
- Вимкніть PzPP
- Закрити станцію
- (Закрити RobotStudio)

Якщо користувач забув виконати цю процедуру, і було визначено багато різних продуктів та розмірів піддонів, все потрібно визначити ще раз, що є надзвичайно нудною та трудомісткою роботою. Ця проблема програмування не впливає на XML-файли.

По-друге, при створенні та використанні нестандартного інструменту з САПР-моделі необхідно вказувати вхідні та вихідні сигнали для інструменту. Кількість вхідних та вихідних сигналів залежить від того, які функції включені в інструмент. З'єднання сигналів здійснюється між інструментом і контролером, які потім зберігаються у так званому "профілі інструменту". Призначення профілю інструменту полягає в тому, що підключення не потрібно робити кожного разу, коли запускається PzPP. Однак проблема полягає в тому, що це не завжди працює належним чином. Під час використання PzPP, а також при перезапуску PzPP, з'єднання втрачаються, що призводить до повідомлень про помилки, і процедуру підключення потрібно було повторити. Крім того, задані значення, такі як бітові значення, не завжди застосовуються для певних функцій інструменту. Через це користувач не знає, які значення є поточними, і чи буде інструмент працювати належним чином. Це ще більше знижує надійність та надійність програмного забезпечення.

Нарешті, графіка у візуальному моделюванні іноді поводить себе нерационально. Приклад такої поведінки можна побачити на рисунку 3.10.

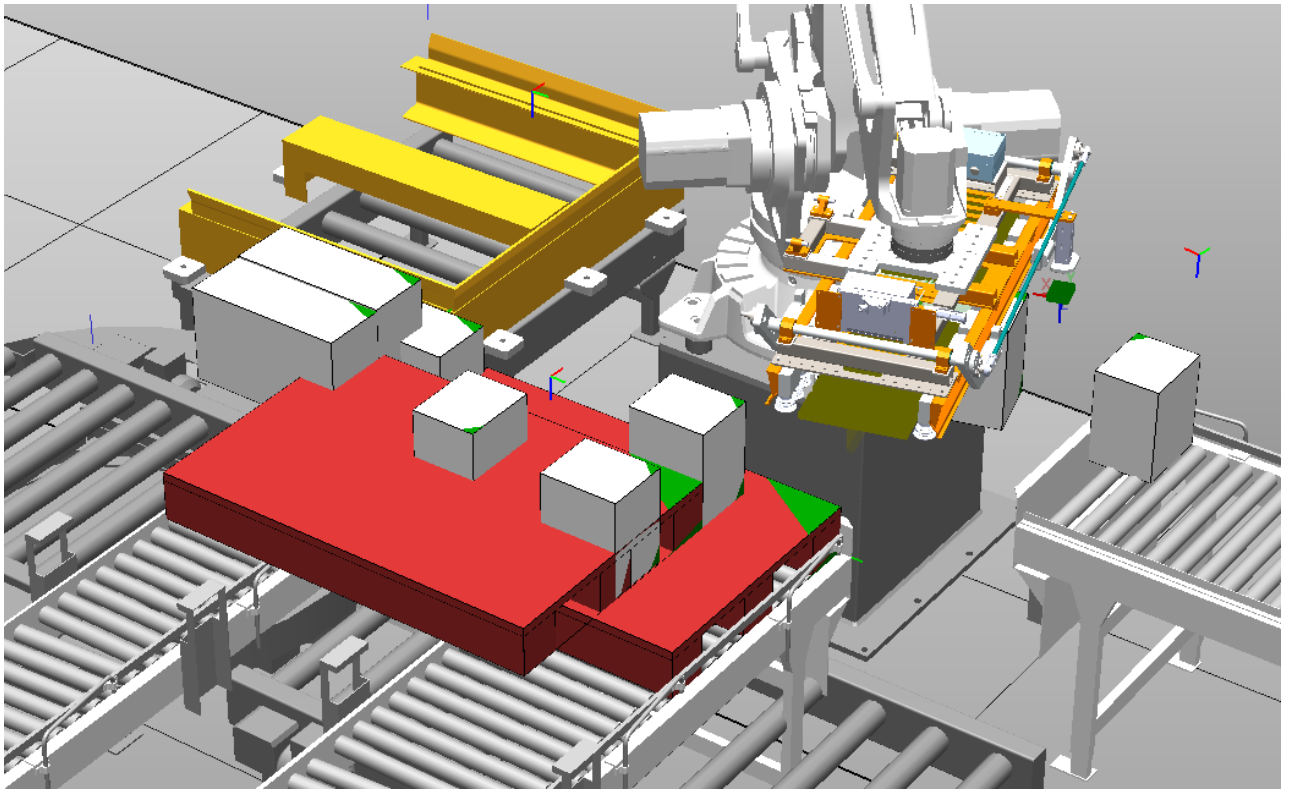


Рис. 3.10. Проблеми з графікою під час запуску моделювання в RzPP. Продукти та піддони з'являються у випадкових місцях

Мета полягає в тому, щоб створити такий самий шаблон піддонів, як на рисунку 3.8. Як видно, товари та піддони виглядають у неправильних положеннях. Хоча, аналізуючи рух робота, робот, здається, підбирає та розміщує піддони та вироби у правильних положеннях, остаточне графічне положення цих об'єктів є неправильним. Крім того, робот графічно не в змозі прикріпити та випустити продукти під час збирання та розміщення послідовностей. Ця поведінка також відображається випадковим чином і не може бути простежена до будь-яких конкретних налаштувань у RzPP.

Інші проблеми, які можна охарактеризувати як більш суб'єктивну проблему, по-перше, це те, що RzPP стає все повільнішим і повільнішим, чим більше його використовують у сеансі. Щоб пришвидшити роботу програмного забезпечення, необхідні часті перезапуски як RzPP, так і RobotStudio. По-друге, через приховані та лише для читання модулі та підпрограми в RzPP дещо проблематично модифікувати код програмування, якщо це необхідно.

Нарешті, у вікні “Patlet Pattern” - параметр, який гарантує, що загальна висота піддону не перевищує висоти, встановленої користувачем. Цей параметр функціонує не повністю, оскільки можна встановити максимальну висоту, створити шаблон піддону, який перевищує цю висоту, а потім завантажити та запустити процес палетизації до справжнього робота. З точки зору безпеки це не бажано.

Незважаючи на те, що PzPP спрощує етапи процедури піддону, такі як розрахунки переміщення робота та схеми піддонів, інші кроки складніше змінити. Ці кроки в основному пов'язані з функціями інструменту та подіями, де часто потрібна модифікація програмного коду, згенерованого PzPP.

4 БЕЗПЕКА ЖИТТЄДІЯЛЬНОСТІ, ОСНОВИ ОХОРОНИ ПРАЦІ

4.1 Значення охорони праці в забезпеченні здорових умов праці

Під охороною праці розуміється система правових, соціально-економічних, організаційно-технічних, санітарно-гігієнічних і лікувально-профілактичних заходів та засобів, спрямованих на збереження здоров'я і працездатності людини в процесі праці.

Охорона праці - прикладна наука правового, санітарно-гігієнічного і технічного напрямку, що виявляє і вивчає виробничі небезпеки, розробляє методи їх попередження і послаблення з метою усунення виробничого травматизму, професійних захворювань робочих, попередження аварій, пожеж і вибухів, забезпечує оздоровлення умов праці і захист населених пунктів від шкідливих і небезпечних впливів виробництва.

За останні роки всі сфери промисловості автоматизувались, що привело до зменшення нещасних випадків на виробництві, але в той самий час виникло ряд інших шкідливих факторів пов'язаних з використанням ЕОМ і інших обчислювальних засобів.

Найбільш повні дані про вплив комп'ютера на людину можна отримати, зібравши і проаналізувавши дані за період, як мінімум, до 60 років, оскільки така середня тривалість життя людини. В Харківському інституті професійних захворювань і гігієни праці є лабораторія, яка уже на протязі 12 років поглиблено займається цими питаннями.

4.2 Охорона праці як система заходів щодо гармонізації використання комп'ютерних технологій

Науково-технічний прогрес призводить до корінної зміни характеру та засобів трудової діяльності. Він створює для людини велику кількість благ: зменшує тяжкість праці (фізичне навантаження), робить її інтелектуальною,

цікавою, різноманітною, розвиває творчі здібності людини, сприяє удосконаленню її професійних навичок тощо.

Проте сучасна техніка є потенційним джерелом високої небезпеки для життя та здоров'я працівника, оточуючих його людей, а також навколишнього середовища. Особливо це стосується сучасних технологій, що активно використовують комп'ютери. Мільйони користувачів відеодисплейних терміналів (ВДТ) персональних комп'ютерів працюють практично у всіх галузях народного господарства.

Праця цих користувачів дуже різноманітна. Це працівники обчислювальних центрів, що обслуговують автоматизовані системи управління підприємствами, касири, працівники довідкових служб, оператори енергетичних, хімічних, газових, нафтових та інших підприємств, працівники поліграфічної промисловості, службовці редакцій журналів, газет, книжкових видань, працівники сфери освіти, перекладачі, особи, які працюють у агентствах новин, та багато інших категорій працівників. Всіх їх об'єднує використання у своїй роботі відеодисплейних терміналів персональних електронно-обчислювальних машин та розумовий характер праці.

Проте активне впровадження у практику персональних комп'ютерів має двоякий характер. З одного боку, підвищується результативність праці, а з другого — з'являються фактори, які несприятливо впливають на здоров'я працюючої людини. У зв'язку з цим набуває актуальності вивчення фізіологічних, психологічних, соціальних та виробничих наслідків використання ВДТ ПЕОМ, розробка та активне застосування заходів, що нормалізують працю та зберігають здоров'я користувачів.

Збереження здоров'я користувачів ВДТ, підтримання ефективності та надійності їх праці на належному рівні є одним з аспектів застосування дисципліни — охорона праці. Ця важлива прикладна наука вивчає небезпечні та шкідливі виробничі фактори, визначає ступінь їх впливу на організм

працюючих і розробляє організаційні та технічні заходи щодо усунення або у всякому разі зменшення їх несприятливого впливу на працюючих.

Разом з тим, у межах охорони праці вирішуються питання створення технічних засобів захисту від дії шкідливих факторів, розробляються заходи щодо попередження нещасних випадків, професійного травматизму, профілактики професійних та професійно зумовлених захворювань.

Охорона праці — системо законодавчих актів, соціально-економічних, організаційно-технічних, гігієнічних і лікувально-профілактичних заходів та засобів, що забезпечують безпеку, збереження здоров'я та працездатність людини у процесі праці.

Все різноманіття нормативних документів, що включають поняття охорона праці, передбачає створення таких умов праці, за яких виключено або значно ослаблено вплив на працюючих шкідливих та небезпечних факторів трудового середовища.

Під шкідливим виробничим фактором розуміємо такий фактор виробничого середовища, вплив якого на працюючого завдає шкоди його здоров'ю та працездатності.

4.3 Аналіз потенційних небезпек та шкідливостей виробничого середовища

Прискорене впровадження ЕОМ практично у всі галузі діяльності веде до появи великої кількості робочих місць з візуальними дисплейними терміналами (ВДТ), що є основним засобом спілкування з ЕОМ. Вони поширюються як на виробництві у різних системах контролю та управління, так і в різних адміністративно-господарських приміщеннях, де розташовуються обчислювальні центри організацій та інститутів. За даними всесвітньої організації охорони здоров'я, професійна діяльність з ВДТ може в окремих випадках призводити до порушень з боку зорового аналізатора, кістково-м'язових (вимушена поза) та порушень, пов'язаних із стресовими

ситуаціями та нервово-емоційними навантаженнями при роботі, захворювань шкіри та ін.

Зараз в нашій країні є комплекс розроблених організаційних заходів і технічних засобів захисту, накопичений передовий досвід роботи великої кількості обчислювальних центрів який показує, що є можливість досягнути значно більших успіхів в справі знешкодження дії шкідливих та небезпечних виробничих факторів на персонал. Але стан умов праці та її безпеки при роботі з ЕОМ ще не задовільняє сучасним вимогам. Працівники ще стикаються з дією на них таких фізично небезпечних та шкідливих виробничих факторів, як дія шкідливих випромінювань від монітора та комп'ютера, підвищений рівень шуму, підвищена температура середовища, відсутність або недостатня освітленість робочої зони, електричний струм, статична електрика та ін. В період роботи з ВДТ на електронно-променевих трубках на організм користувача впливає цілий ряд факторів фізичної природи, але всі вони знаходяться в межах і значно нижче за нормовані величини відповідно до діючих зараз нормативних документів (таблиця 7.1).

Таблиця 4.1 – Вид електромагнітних випромінювань ВДТ

Види випромінювань	Діапазон	Фактичні (середні) дані вимірів	Нормовані значення
Рентгенівське випромінювання	понад 1.2 Кев	9-10-12 мкр/год	75.0 мкр/год
Ультрафіолетове випромінювання	220-280 нм 280-320 нм	0 0-0.02	0.1 Вт/м ²
Видимий діапазон	320-400 нм 400-700 нм	0.1-0.2 2.5-4.0	10.0 Вт/м ²
Яскравість		75-80 кд/м ²	Не менше 35 кд/м ²
α-випромінювання	700 нм-1 мм	0.05-4.0	100.0 Вт/м ²
Електростатичне поле	0 Гц	15 кВ/м	20-60 кВ/м

Велика кількість працюючих з ЕОМ зв'язані з дією на них таких факторів, як розумове перевантаження, перевантаження слухових та зорових аналізаторів, монотонність праці, емоційні перевантаження. Вплив вказаних факторів приводить до зниження працездатності, що викликається втому. Поява та розвиток втоми пов'язана з змінами, які виникають під час роботи в центральній нервовій системі, з тормозними процесами в корі головного мозку.

Світлотехнічна специфіка робочих місць з ВДТ викликана такими унікальними особливостями:

1. Світлотехнічна різноманітність об'єктів зорової роботи користувачів ЕОМ, що працюють з ВДТ, пов'язана з наявністю трьох об'єктів (екран, клавіатура, документація), розташованих у різних зонах спостереження, що вимагає багаторазового переведення лінії зору від одного до іншого. Робоча документація частіше за все розміщена на столі у горизонтальній площині на відстані оптимальної зони видимості (приблизно 350 мм), об'єкти розрізнення мають негативний контраст, тобто об'єкти на світловому фоні. Об'єкти на клавіатурі визначаються більшим розміром і розташовані у похилій площині. Яскраві знаки на темному фоні майже вертикально орієнтованого екрану дисплея вимагають незвично горизонтальної орієнтації лінії зору. Таким чином умови роботи з ВДТ ускладнюються необхідністю постійної переадаптації від яскравих об'єктів з позитивним контрастом на темні-з негативним.

2. Робота з пульсуючим самосвітним об'єктом, який постійно знаходиться у центрі поля зору, що не відповідає нормативним вимогам щодо обмеження пульсації та засліпленості. Наявність пульсацій яскравості знаків виникає дискомфорт і втому, загальну і зорову.

3. На робочому місці несприятливо розподілена яскравість у полі зору, оскільки освітлені поверхні периферії поля зору можуть виявитись світлішими, ніж центр поля зору- темний, обмежено освітлений, а іноді заповнений

знаками екран ВДТ. Такий розподіл яскравості у полі зору сприяє порушенню основних зорових функцій.

4. Засліплююча дія світильників, які освітлюють приміщення на робочому місці з ВДТ більша, ніж інших, що призводить до зменшення кута дії різних засліплюючих джерел і, відповідно, до зростання освітленості.

5. Наявність дзеркального відбиваючої і неплоскої зовнішньої поверхні не дає можливості повністю усунути з поля зору користувача всі відбиті відблиски.

В приміщеннях найчастіше використовується бокове природне освітлення. Як наслідок слабкої освітленості робочого приміщення, створюється різкий контраст між освітленістю моніторів та освітленістю навколишніх предметів, що дуже шкідливо для зору оператора. В тих випадках коли одного природнього освітлення недостатньо, встановлюється сумісне освітлення. При цьому додаткове штучне освітлення використовується не тільки в темноті, але й в світлий час доби.

Штучне освітлення по характеру виконуваних завдань ділиться на робоче, аварійне, евакуаційне.

Раціональне кольорове оформлення приміщення направлене на покращення санітарно-гігієнічних умов праці, підвищення його продуктивності та безпеки. Оформлення приміщень діє на нервову систему людини, її настрій та в кінцевому рахунку на продуктивність праці. Основні виробничі приміщення доречно фарбувати в відповідності з кольором технічних засобів. Освітленість приміщення і обладнання повинно бути м'яким, без відблисків.

Зниження шуму, що створюється на робочому місці внутрішніми джерелами, а також шуму, який проникає ззовні, є дуже важливим завданням. Зниження шуму в джерелі можна забезпечити використанням пружних прокладок між основою машини, приладу і опорою поверхні. В якості прокладок використовується гума, войлок, пробка, різної конструкції

амортизаторів. Під настільні апарати, які є джерелами шуму, можна підкладати м'які коврики з синтетичних матеріалів, а під ножки столу, на яких вони встановлені,- прокладки з м'якої гуми, войлока, товщиною 6-8 мм. Кріплення прокладок можливе шляхом приклеювання їх до опорних частин.

Можливе також використання звукопоглинаючих кожухів, які не заважають технологічному процесу. Не менш важливим для зниження шуму в процесі експлуатації є питання правильного і своєчасного регулювання, змащення і заміни механічних вузлів обладнання, яке шумить.

Зниження рівня шуму, що надходить в виробниче приміщення ззовні, може бути досягнуто збільшенням звукоізоляції огорожуючих конструкцій, притисненням притворів вікон, дверей.

Таким чином для зниження шуму, що створюється на робочих місцях внутрішніми джерелами, а також шуму, що надходить ззовні:

- ослабити шум самих джерел (застосування екранів, звукоізолюючих кожухів);
- знизити ефект сумарної дії відбитих звукових хвиль (звукопоглинаючі поверхні конструкцій);
- використовувати архітектурно-планувальні та технологічні вирішення ізоляцій джерел шуму;
- використовувати раціональне розміщення обладнання.

Електричні установки, до яких відносяться практично всі складові ЕОМ, носять для людини велику потенційну небезпеку, так як в процесі експлуатації або проведення профілактичних робіт людина може доторкнутися до частин, які знаходяться під напругою. Специфічна небезпека електроустановок: струмоведучі провідники, корпуси стійок ЕОМ та іншого обладнання, які опинилися під напругою в результаті пошкодження (пробою) ізоляції, не подають будь-яких сигналів, які попереджують людину про безпеку. Реакція людини на електричний струм виникає тільки при протіканні останнього через тіло людини.

Для захисту персоналу від ураження електричним струмом широко використовуються заземлювачі.

4.4 Розрахунок освітленості робочого місця при розробці криптографічних систем

Правильне освітлення виробничих приміщень сприяє підвищенню комфортності праці, збереженню здоров'я, зниженню імовірності нещасного випадку.

Розрахунок системи висвітлення зводиться до вибору виду освітлення, визначенню типу і числа світильників.

Будемо використовувати метод розрахунку по світловому потоку.

Вибір параметрів освітлення робочого місця залежить від характеру виконуваної роботи. Об'єкт розрізнення визначається як найменший розмір предмета або його частини, яку необхідно розрізнити.

В залежності від розмірів об'єкта розрізнення і відстані предмета від очей працюючого, всі роботи поділяються на вісім розрядів. Наша робота – високої точності, яка відповідає третьому розряду. Найменший лінійний розмір об'єкта розрізнення цього розряду – 0.3-0.5 мм.

В приміщенні передбачається організація штучного освітлення комбінованого типу, яке включає місцеве і загальне освітлення.

В якості джерела світла використовуються люмінесцентні лампи типу ЛБ (лампи білі), включені у світильники АОД.

Останні встановлюються на висоті 3.5 м від підлоги.

Лампи включаються в мережу з напругою 220 В, їхня потужність 40 Вт.

Нормована міні освітленість:

$$E_{\min} = (F_{\text{л}} \cdot n \cdot \eta \cdot z) / (S \cdot k) \quad (6.1)$$

$F_{\text{л}}$ – світловий потік 1-ї лампи, лм;

n – число ламп у приміщенні;

η – коефіцієнт використання світлового потоку, тобто частка світлового потоку всіх ламп, які попадають на освітлену поверхню;

z – коефіцієнт нерівномірності висвітлення;

$S = A \cdot B$ – площа поля освітленого приміщення;

k – коефіцієнт запасу, який враховує зниження освітленості в процесі експлуатації.

Для обраного типу ламп:

$F_{\text{л}} = 2120$ лм; $S = 7 \cdot 5 = 35$ м²; $\eta = 0.5$; $z = 0.9$; $k = 1.5$

Нормована $E_{\text{мін}}$ для третього розряду точності - 500 лк.

З формули (6.1) визначаємо число ламп:

$n = (E_{\text{мін}} \cdot S \cdot k) / (z \cdot \eta \cdot F_{\text{л}}) = (500 \cdot 35 \cdot 1.5) / (0.9 \cdot 0.5 \cdot 2120) = 27.5 = 28$

Так як в кожному світильнику розташовано по 2 лампи, всього необхідно 14 світильників.

4.5 Електромагнітний імпульс ядерного вибуху і захист від нього радіоелектронних засобів

На початку 90-х років у США стала зароджуватися концепція, відповідно до якої збройні сили країни повинні мати не тільки ядерні і звичайні озброєння, але і спеціальні засоби, що забезпечують ефективну участь у локальних конфліктах без нанесення супротивнику зайвих втрат у живій силі і матеріальних цінностях.

До цієї спеціальної зброї американські військові фахівці в першу чергу відносять:

- засоби створення електромагнітного імпульсу (ЕМІ);
- генератори інфразвуку;
- хімічні склади і біологічні рецептури, здатні змінювати структуру базових матеріалів основних елементів бойової техніки;
- речовини, що виводять з ладу змащення і гумові вироби, викликають загустення пального;
- лазери.

В даний час основні роботи з розвитку технологій зброї не смертельної дії (ЗНСД) проводяться в керуванні перспективних досліджень міністерства оборони, Ліверморській і Лос-Аламоській лабораторіях міністерства енергетики, центрі розробок озброєння міністерства армії і т.д.

Найбільш близькі до прийняття на озброєння різні типи лазерів для осліплення особового складу, хімічні засоби для його знерухомлення, генератори ЕМІ, що негативно впливають на роботу електронної техніки.

Генератори ЕМІ (супер ЕМІ), як показують теоретичні роботи і проведені за рубежом експерименти, можна ефективно використовувати для виводу з ладу електронної й електротехнічної апаратури, для стирання інформації в банках даних і псування ЕОМ.

За допомогою ЗНСД на основі генераторів ЕМІ можливий вивід з ладу ЕОМ, ключових радіо й електротехнічних засобів, систем електронного запалювання й інших автомобільних агрегатів, чи підірвавши інактивація мінних полів. Вплив цієї зброї досить вибірково і політично цілком прийнятний, однак потрібна точна доставка його в райони поразення.

Незважаючи на визнання військово-політичним керівництвом США і НАТО неможливості перемоги в ядерній війні, різні аспекти вражаючого дії ядерної зброї продовжують широко обговорюватися. Так, в одному з розглянутих іноземними фахівцями сценаріїв початкового періоду ядерної війни особливе місце приділяється потенційної можливості висновку з ладу радіоелектронної техніки в результаті впливу на неї ЕМІ.

Вважається, що підірвавши на висоті близько 400 км тільки одних боєприпасів потужністю більш 10 Мт приведе до такого порушення функціонування радіоелектронних засобів у великому районі, при якому час їхнього відновлення перевищить припустимі терміни для вживання відповідних заходів.

По розрахунках американських експертів, оптимальною точкою підризу ядерних боєприпасів для поразки ЕМІ радіоелектронних засобів майже на всій території США була би точка в космосі з епіцентром у районі географічного центра країни, що знаходиться в штаті Небраска.

Теоретичні дослідження і результати фізичних експериментів показують, що ЕМІ ядерного вибуху може привести не тільки до виходу з ладу напівпровідникових електронних пристроїв, але і до руйнування металевих провідників кабелів наземних споруд. Крім того, можлива поразка апаратури, що знаходяться на низьких орбітах.

Для генерації ЕМІ ядерні боєприпаси можуть підриватися в космічному просторі, що не приводить до виникнення ударної хвилі і випаданню радіоактивних опадів. Тому в закордонній пресі виголошуються наступні думки про "неядерний характер" такого бойового застосування ядерної зброї і про те, що удар з використанням ЕМІ не обов'язково приведе до загальної ядерної війни.

Небезпека цих заяв очевидна, тому що одночасно деякі закордонні фахівці не виключають можливість масової поразки за допомогою ЕМІ і живої сили. У всякому разі цілком очевидно, що наводимі під впливом ЕМІ в металевих елементах техніки струми і напруги будуть смертельно небезпечні для особового складу.

4.6 Забезпечення нормальних умов праці

4.6.1 Вибір приміщення

При виборі приміщення для робочих місць необхідно врахувати, що вони можуть давати відблиски на екранах дисплеїв і викликати значну освітленість у сидячих перед ними, особливо літом та в сонячні дні.

В машинних залах робочі місця операторів, які працюють з дисплеями, розміщують подалі від вікон і таким чином, щоб віконні пройоми виходили збоку. Якщо екран дисплея повернутий до віконного пройому, необхідні спеціальні екрануючі пристрої. Вікна рекомендується оснащувати світлорозсіюючими шторами, регулюючими жалюзями або сонцезахисною сіткою з металізованим покриттям. Площа застакнення не повинна перевищувати 25 % від площі стіни з вікнами. Для мінімізації засвічування від сонячних променів екранів ВДТ вікна можуть бути орієнтовані на північ (північний захід, північний схід).

Необхідно забезпечити відповідне оформлення інтер'єра, бо давати відблиски на екранах і сліпити працюючих можуть не тільки вікна, але й інші поверхні великої яскравості, в тому числі стеля, стіни, поверхні столів, шаф. Тому все повинно мати невисокі коефіцієнти віддзеркалювання: робочого столу, корпусу та клавіатури- 0.2-0.5; стелі- 0.6-0.7; стін- 0.2-0.5; підлоги- 0.1-0.2; шаф та стелажів- 0.25-0.35. Всі оздоблювальні матеріали приміщення повинні бути матового кольору.

4.6.2 Забезпечення нормальних санітарно- гігієнічних умов на робочому місці

Приміщення, їх розміри (площа, об'єм) повинні в першу чергу відповідати кількості працюючих і розміщеному в них комплекту технічних засобів. В них передбачаються відповідні параметри температури, освітлення, чистоти повітря, забезпечують ізоляцію, захист від виробничих шумів і т. п. Робочі місця з ВТД вимагають значної площі на одне робоче місце (6-7 м²), а при середній площі устаткування 0.8-1.2 м² навколо нього має залишатись

вільний простір не менше 1 м з кожного боку. Для забезпечення нормальних умов праці санітарні норми СН245-71 встановлюються на одного працівника, об'єм виробничого приміщення не менше 15 м², а площа приміщення огороженого глухими перегородками не менше 4.5 м². В дисплейних класах температура повітря повинна становити 19-21 °С, відносна вологість 55-65 %, швидкість руху повітря не більше 0.1 м/с, рівні шуму та еквівалентні рівні звуку в приміщеннях не повинні перевищувати 50дБ.

Для експлуатації ЕОМ необхідно передбачити наступні приміщення:

- машинний зал;
- приміщення для розміщення сервісного і периферійного обладнання;
- приміщення для зберігання запасних деталей, інструментів приладів;
- приміщення для розміщення вентиляторів;
- приміщення для персоналу;
- приміщення для прийому- видачі інформації.

Ці приміщення розміщують в безпосередній близькості одне від одного. Їх обладнують загальнообмінною вентиляцією та штучним освітленням. До приміщень машинного залу і зберігання магнітних носіїв інформації ставляться особливі вимоги. Площа машинного залу повинна відповідати площі необхідної по заводським технічним умовам даного типу ЕОМ.

Висота залу над технічною підлогою до підвісної стелі повинна бути 3-5 м. Відстань між підвісною та основною стелями при цьому повинна бути 0,5-0,8 м. Висоту припідлогового простору приймають рівною 0,2-0,6 м.

При роботі з ЕОМ, як правило, застосовують бічне природне освітлення. Робочі кімнати і кабінети повинні мати природне освітлення. В решті приміщень допускається штучне освітлення. В таблиці 6.2 приведені рівні освітленості в приміщеннях з ВДТ при використанні різних типів дисплеїв.

В тих випадках, коли одного штучного освітлення не достатньо, встановлюється сумісне освітлення. При цьому додаткове штучне освітлення використовується як в темноті, так і в світлий час доби.

Раціональне планування приміщення, розміщення устаткування є важливим фактором, який дозволяє понизити шум при існуючому устаткуванні. При плануванні машинний зал та приміщення для сервісної апаратури необхідно розташувати якнайдалі від устаткування, яке дуже шумить або вібрує.

Таблиця 4.2 - Рівні освітленості в приміщеннях з ВДТ

Характеристики дисплеїв зорової роботи		Нормована освітленість (лк) у площині столу, клавіатури (Ег), та екрану (Ев)			
Вид дисплея	Група напруженості зорової роботи	Загальне		Комбіноване	
		Ег, лк	Ев, лк	Ег, лк	Ев, лк
Одноколірний	 	300	150-100	400	150-100
		400	200-150	500	300-150
Багатоколірний	Будь-яка	-	-	200	100-75

Зниження рівня шуму, який проникає в виробниче приміщення ззовні може бути досягнуте збільшенням звукоізоляції огорожуючих конструкцій [23].

Для профілактики порушень та підтримання працездатності необхідно витримувати регламентовані перерви для відпочинку. У період роботи за дисплеєм у режимі праці та відпочинку необхідно передбачити через кожні 40-45 хв. три- або п'ятихвилинні перерви для відпочинку.

4.6.3 Розрахунок освітлення машинного залу

Найбільш оптимальними для машинного залу є люмінісцентні лампи ЛБ (білого світла) і ЛТБ (тепло-білого світла) потужністю 20, 40 та 80 Вт.

Для виключення засвітки екранів дисплеїв прямими світловими потоками світильники загального призначення розміщують збоку від робочого

місця, паралельно лінії зору оператора і стінці з вікнами. Таке розміщення світильників дозволяє проводити їх послідовне включення в залежності від величини дійсної освітленості і виключає подразнення очей полосами світла і тіні, які виникають при поперечному розміщенні світильників.

Для освітлення машинного залу розмірами $A=9$ м, $B=6$ м і висотою $H=3$ м передбачені настельні світильники типу УСП 3 з двома люмінесцентними лампами типу ЛБ-40. Коефіцієнт відображення світлового потоку від стелі, стін і підлоги відповідно $\rho_{ст}=70$ %, $\rho_{с}=50$ %, $\rho_{м}=10$ %. Необхідне число світильників визначається наступним чином.

Для машинних залів рівень робочої поверхні над підлогою складає 0.8 м.

Тоді

$$h = H - 0.8 = 2.2 \text{ м.} \quad (6.1)$$

У світильників УСП 35 умовна віддаль $\xi = 1,4$

$$\frac{L}{h} = \xi = 1.4, \quad (6.2)$$

де L - відстань між рядами світильників,

$$L = \xi * h = 1.4 * 2.2 \approx 3 \text{ м.} \quad (6.3)$$

Розмістимо світильники вздовж довгої сторони приміщення. Відстань між стиками і крайніми рядами приймаємо рівною

$$l \approx (0.3 \dots 0.5) * L. \quad (6.4)$$

При ширині машинного залу $B=6$ м маємо число рядів світильників

$$n = \frac{B}{L} = 2. \quad (6.5)$$

Для машинних залів встановлена норма освітленості $E_n=400$ лк. З врахуванням $\rho_{ст}$, $\rho_{с}$, $\rho_{н}$ при індексі приміщення з довідкових даних знаходимо коефіцієнт використання випромінюваного світильниками потоку, який приходить на розрахункову величину, $\eta=0.45$.

$$j = \frac{A * B}{(h * (A + B))} = \frac{54}{(2.2 * (9 + 6))} \approx 1.64 \quad (6.6)$$

Номінальний світловий потік лампи ЛБ-40 $\Phi_{л}=3120$ лм, тоді світловий потік, який випромінюється світильником складе

$$\Phi_{св} = 2 * \Phi_{л} = 2 * 3120 = 6240 \text{ лм.} \quad (6.7)$$

Необхідну кількість світильників знаходимо за наступною формулою

$$N = \frac{E_n * k_z * S * z}{n * \Phi_{св} * \eta * \gamma}, \quad (6.8)$$

де E_n - нормована мінімальна освітленість, $E_n=400$ лк;

k_z - коефіцієнт запасу, який враховує запилення світильників і знос джерел світла в процесі експлуатації, $k_z=1,4\dots 1,5$;

S - площа приміщення, м;

z - коефіцієнт нерівномірності освітлення $z=1,1\dots 1,2$;

n - число рядів світильників;

η - коефіцієнт затінення, який вводиться для приміщень з фіксованим положенням працюючих, а також при наявності крупногабаритних предметів, $\gamma=0,8\dots 0,9$.

$$N = \frac{(400 * 1.5 * 54 * 1.2)}{(2 * 6240 * 0.45 * 0.9)} = 7.692 \approx 8 \text{ ламп.}$$

Отже, необхідно 8 світильників.

ВИСНОВКИ

У цій роботі представлені висновки, зроблені на основі проведеного аналізу та загального дослідження.

Для операторів, які не мають досвіду програмування робіт, малоімовірно, що можливо встановити нову процедуру палетизації протягом 20 хвилин за допомогою PzPP. Натомість для цього завдання потрібно призначити операторів, освічених та навчених у PzPP.

Буде здійснено та економічно ефективно використовувати роботизовану палетизацію для виробів вагою менше 30 кг та довжиною сторін 600 мм при використанні запропонованої вакуумного захоплювача. Продуктивність буде незмінною або поліпшеною і залежить від того, наскільки ефективно здатний використовувати робочу комірку. Потенціал вивантаження 65 000 коробок на місяць стане можливим, якщо запропоновані рішення будуть впроваджені. Через різну якість картонної коробки та здатність протистояти деформації під час підйому важко передбачити, чи можливо розвантажити контейнери протягом двох годин. Це тому, що якість картону диктує максимально допустимі значення руху, а отже, і час циклу.

Робоче середовище щодо ергономіки значно покращиться, як показують аналізи, якщо запропоновані рішення будуть впроваджені. На першому етапі навантаження зменшується, що сприяє розвантаженню коробки. На другому етапі ергономічні проблеми повністю усуваються.

Запропоновані рішення для першого етапу та роботизовані рішення для другого етапу є відповідними рівнями автоматизації. Через процедуру ручної роботи з наявною автоматизацією, повністю автоматичні рішення не були б придатними, а тому не пропонувались. Якщо і коли умови змінюються в плані переробки контейнерів на рік, інші аналізовані рішення можуть представляти інтерес.

ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ

1. ABB Robotics. (2021, March) ABB Robotics. [Online]. [http://www05.abb.com/global/scot/scot241.nsf/veritydisplay/95c9da16ac8a4d92c1257838002bf7ef/\\$file/ROB0206EN_A_IRB%20460%20data%20sheet.pdf](http://www05.abb.com/global/scot/scot241.nsf/veritydisplay/95c9da16ac8a4d92c1257838002bf7ef/$file/ROB0206EN_A_IRB%20460%20data%20sheet.pdf)
2. Global Finance. (2021, April) Countries with the Highest GDP Growth 2000-2010. [Online]. <http://www.gfmag.com/tools/global-database/economic-data/10304-countries-with-the-highest-gdp-growth-2000-2010.html#axzz1kx7xVGPM>
3. UNPD World Bank. (2021) Private per-capita consumption. [Online]. http://atlas.aaas.org/natres/intro_popups.php?p=percap
4. Dr. Jean-Paul Rodrigue. (2021) THE GEOGRAPHY OF TRANSPORT SYSTEMS. [Online]. <http://people.hofstra.edu/geotrans/eng/ch3en/conc3en/transcost.html>
5. World Shipping Council. (2021) World Shipping Council. [Online]. <http://www.worldshipping.org/about-the-industry/containers/global-container-fleet>
6. Dr. Jean-Paul Rodrigue. (2021) THE GEOGRAPHY OF TRANSPORT SYSTEMS. [Online]. <http://people.hofstra.edu/geotrans/eng/ch3en/conc3en/containerfleet.html>
7. EPAL. (2021) EPAL Pallet System. [Online]. <http://www.epal-pallets.de/uk/produkte/paletten.php>
8. Gaël Raballand and Enrique Aldaz-Carroll, "HOW DO DIFFERING STANDARDS INCREASE TRADE COSTS? THE CASE OF PALLETS," no. 3519, 2005. (2009, March) ISO - International Organization for Standardization. [Online]. http://www.iso.org/iso/iso_catalogue/catalogue_tc/catalogue_detail.htm?csnumber=30524

9. International Standards for Phytosanitary Measures. (2009) Regulation of wood packaging material in international trade. [Online].
http://www.ispm15.com/ISPM15_Revised_2009.pdf
10. Dr. Jean-Paul Rodrigue. (2012) THE GEOGRAPHY OF TRANSPORT SYSTEMS. [Online].
http://people.hofstra.edu/geotrans/eng/ch4en/conc4en/tbl_containertransloading.html
11. Mikell P. Groover, "Industrial Robotics," in Automation, Production Systems, and Computer-Integrated Manufacturing, Holly Stark, Ed. New Jersey, USA: Pearson
12. Prentice Hall, 2008, ch. 8, pp. 229-265.
13. ABB, "Special Report: Robotics," ABB Review , March 2005.
14. Global Robots FZE. (2012, May) Global Robots FZE. [Online].
http://www.globalrobots.ae/robot_guide/images/ABBIRB6400M94Amovements.jpg
15. atsi. (2012, May) <http://www.atsi.cc/articulating-arm-robot.htm>. [Online].
https://encryptedtbn0.google.com/images?q=tbn:ANd9GcQbave24aFG64zUP4Qt_Qyec0AB0B-US5XDlnBk0FQcBRUCkw_Mw
16. ABB Robotics. (2011, March) RobotStudio Palletizing PowerPac Industrial software products. [Online].
[http://www05.abb.com/global/scot/scot241.nsf/veritydisplay/8194b916f2b7c1e7c1257864004a3dc4/\\$file/ROB0211EN_A_Palletizing%20PowerPac%20data%20sheet_final.pdf](http://www05.abb.com/global/scot/scot241.nsf/veritydisplay/8194b916f2b7c1e7c1257864004a3dc4/$file/ROB0211EN_A_Palletizing%20PowerPac%20data%20sheet_final.pdf)
17. ABB Robotics. (2007) ABB Robot Manuals. [Online].
http://www.abbrobots.co.uk/files/3HAC025829-001_rev_en.pdf
18. ABB Robotics. (2011, June) RobotStudio Palletizing PowerPac highlights ABB expanded palletizing portfolio at Interpack 2011. [Online].
<http://www.prlog.org/11544365-robotstudio-palletizing-powerpac-highlights-abb-expanded-palletizing-portfolio-at-interpack-2011.html>

19. ABB. (2011, November) ABB Palletizing Software - Programvara (Robotics). [Online].
[http://www05.abb.com/global/scot/scot352.nsf/veritydisplay/102e0a70c151c493c12579440034d13d/\\$file/PalletizingPowerPacUserManual.pdf](http://www05.abb.com/global/scot/scot352.nsf/veritydisplay/102e0a70c151c493c12579440034d13d/$file/PalletizingPowerPacUserManual.pdf)
20. Gareth J Monkman, Stefan Hesse, Steinmann Ralf, and Schunk Henrik, Robot Grippers. Weinheim: Wiley-Vch Verlag GmbH & Co, 2007.
21. Schmalz. (2011, September) Schmalz. [Online].
http://www.schmalz.com/data/kataloge/01_VT/gb/01_Catalog-Components_EN.pdf
- (2005) Protech. [Online]. http://www.protech.hu/robotos_megfogok.pdf
22. Unigripper. (2012) UniGripper Intelligent Vacuum. [Online].
<http://unigripper.com/index.php/en/functions>
23. Bosch Rexroth. (2012, February) Rexroth Bosch Group. [Online].
http://www.boschrexroth.com/computation/vacuum/help_safety.jsp
24. Mikell P. Groover, "Inspection Technology," in Automation, Production Systems, and Computer-Integrated Manufacturing, Holly Stark, Ed. New Jersey, USA: Pearson Prentice Hall, 2008, ch. 22, pp. 674-712.
25. Stephan Hussmann, Thorsten Ringbeck, and Bianca Hagebecker, "A Performance Review of 3D TOF Vision Systems in Comparison to Stereo Vision Systems," in Stereo vision. Croatia: In-Teh, 2008, ch. 7, pp. 103-120.
26. Stephan Hussmann and Thorsten Liepert, "Three-Dimensional TOF Robot Vision System," IEEE TRANSACTIONS ON INSTRUMENTATION AND MEASUREMENT, vol. 58, no. 1, pp. 141-146, January 2009.
27. Bernd Scholz-Reiter, Hendrik Thamer, and Claudio Uriarte, "Towards 3D Object Recognition for Universal Goods in Logistic," in Advances in Communications, Computers, Systems, Circuits and Devices, Tenerife, 2010, pp. 250-254.

28. Anna-Lisa Osvalder, Linda Rose, and Stig Karlsson, "Metoder," in *Arbete och teknik på människans villkor*, Gunnar Lagerström, Ed. Stockholm, Sverige: Prevent, 2008, ch. 9, pp. 463-610.
29. Sue Hignett and Lynn McAtamney, "Rapid Entire Body Assessment (REBA)," *Applied Ergonomics*, vol. 31, pp. 201-205, June 1999.
30. Thomas R. Waters, Vern Putz-Anderson, and Arun Garg, *APPLICATIONS MANUAL FOR THE REVISED NIOSH LIFTING EQUATION*. Cincinnati, Ohio: U.S. DEPARTMENT OF HEALTH AND HUMAN SERVICES, 1994.
31. Peter Blanchonette, "Jack Human Modelling Tool: A Review," Air Operations Division; Defence Science and Technology Organisation, Melbourne, Technical Report DSTO-TR-2364, 2010.
32. Vaculex. (2011) Vaculex - Working with ease. [Online].
<http://www.vaculex.com/Products/Lifters/VaculexParcelift.aspx>
33. Vaculex AB. (2011) Case Study - Posten Logistics Örebro. [Online].
<http://www.vaculex.com/References/Casestudies/CasestudyPostenLogistics%203%96rebro.aspx>
34. Empticon. (2011) Empticon by Univeyor. [Online].
<http://www.empticon.com/media/6136/empticon-uk-lowress.pdf>
35. Wolfgang Echelmeyer, Alice Kirchheim, and Eckhard Well, "Robotics-Logistics: Challenges for Automation of Logistic Processes," in *International Conference on Automation and Logistics*, Qingdao, September 2008, pp. 2099-2103.
36. Wolfgang Echelmeyer, Alice Kirchheim, and Eckhard Well, "Development of a Robot-Based System for Automated Unloading of Variable Packages out of Transport Units and Containers," in *International Conference on Automation and Logistics*, Qingdao, China, 2008, pp. 2766-2770.
37. Wolfgang Echelmeyer, Alice Kirchheim, Hülya Akbiyi, and Marco Bonini, *Performance Indicators for Robotics Systems in Logistics Applications*, July 2011,

39. IROS Workshop on Metrics and Methodologies for Autonomous Robot Teams in Logistics (MMART-LOG), 2011.
40. Universal Robotics. (2011, January) Random Box Moving | Universal Robotics. [Online]. <http://www.universalrobotics.com/random-box-mover>
41. TEUN. (2011) TEUN.com - TEUN takes a load off your hands. [Online]. www.teun.com/en
42. Copal Development BV. copal-development.nl. [Online]. http://www.copal-development.nl/folders/Folder_Container_unloader.pdf
43. (2011, March) ABB Robotics. [Online]. [http://www05.abb.com/global/scot/scot241.nsf/veritydisplay/12282933368eeefc125785000576ea9/\\$file/ROB0210EN_A_FlexGripper%20Vacuum%20data%20sheet_final.pdf](http://www05.abb.com/global/scot/scot241.nsf/veritydisplay/12282933368eeefc125785000576ea9/$file/ROB0210EN_A_FlexGripper%20Vacuum%20data%20sheet_final.pdf)
44. Ingela Thylefors, "Psykosocial arbetsmiljö," in *Arbete och Teknik på människans villkor*. Stockholm, Sweden: Prevent, 2008, ch. 1, pp. 19-129.
45. Mats Boghard et al., "Fysikaliska faktorer," in *Arbete och teknik på människans villkor*. Stockholm, Sverige: Prevent, 2008, ch. 5, pp. 191-337.
46. Nokubonga Slindele Ngcamu, "AWKWARD WORKING POSTURES AND PRECISION PERFORMANCE AS AN EXAMPLE OF THE RELATIONSHIP BETWEEN ERGONOMICS AND PRODUCTION QUALITY," Department of Human Kinetics and Ergonomics, Grahamstown, Master Thesis 2009.
47. Arbetsmiljöverket, "Arbets-skador 2010," Arbetsmiljöverket, Statistic report ISSN 1652-1110, 2011.
48. Istvan Balogh, Kerstina Ohlsson Ohlsson, Gert-Åke Hansson, Tomas Engström, and Staffan Skerfving, "Increasing the degree of automation in a production system: Consequences for the physical workload," *Industrial Ergonomics*, no. 36, pp. 353-365, February 2006.
49. Orientation Modeling of Bernoulli Gripper Device with Off-Centered Masses of the Manipulating Object / V. Savkiv, R. Mykhailyshyn, O. Fendo, M.

- Mykhailyshyn // *Procedia Engineering*. – 2017. – № 187. – P. 264 – 271. – DOI: 10.1016/j.proeng.2017.04.374.
50. Justification of Design and Parameters of Bernoulli-Vacuum Gripping Device / V. Savkiv, R. Mykhailyshyn, F. Duchon, O. Fendo // *International Journal of Advanced Robotic Systems*. – 2017. – DOI: 1729881417741740.
51. Energy efficiency analysis of the manipulation process by the industrial objects with the use of Bernoulli gripping devices / V. Savkiv, R. Mykhailyshyn, F. Duchon, M. Mikhalishin // *Journal of Electrical Engineering*. – 2017. – № 68 (6). – P. 496 – 502. – DOI: 10.1515/jee-2017-0087.
52. Experimental Research of the Manipulation Process by the Objects Using Bernoulli Gripping Devices / R. Mykhailyshyn, V. Savkiv, M. Mikhalishin, F. Duchon // *In Young Scientists Forum on Applied Physics and Engineering, International IEEE Conference*. – 2017. – P. 8 – 11. – DOI: 10.1109/YSF.2017.8126583.
53. Modeling of Bernoulli gripping device orientation when manipulating objects along the arc / V. Savkiv, R. Mykhailyshyn, F. Duchon, M. Mikhalishin // *International Journal of Advanced Robotic Systems*. – 2018. – DOI: 1729881418762670.
54. Investigation of the energy consumption on performance of handling operations taking into account parameters of the grasping system / R. Mykhailyshyn, V. Savkiv, F. Duchon, V. Koloskov, I. Diahovchenko // *2018 IEEE 3rd International Conference on Intelligent Energy and Power Systems (IEPS) – IEEE, 2018*. – P. 295 – 300. – DOI: 10.1109/ieps.2018.8559586.
55. Analysis of frontal resistance force influence during manipulation of dimensional objects / R. Mykhailyshyn, V. Savkiv, F. Duchon, V. Koloskov, I. Diahovchenko // *2018 IEEE 3rd International Conference on Intelligent Energy and Power Systems (IEPS) – IEEE, 2018*. – P. 301 – 305. – DOI: 10.1109/ieps.2018.8559527.

56. Substantiation of Bernoulli Grippers Parameters at Non-Contact Transportation of Objects with a Displaced Center of Mass / R. Mykhailyshyn, V. Savkiv, F. Duchon, P. Maruschak, O. Prentkovskis // 22nd International Scientific Conference Transport Means 2018. – Klaipeda, 2018. – P. 1370 – 1375.
57. Gasdynamic analysis of the Bernoulli grippers interaction with the surface of flat objects with displacement of the center of mass / V. Savkiv, R. Mykhailyshyn, F. Duchon // Vacuum. – 2019. – № 159, P. 524 – 533. – DOI: 10.1016/j.vacuum.2018.11.005.
58. Protection of Digital Power Meters Under the Influence of Strong Magnetic Fields / R. Mykhailyshyn, V. Savkiv, I. Diahovchenko, R. Olsen, D. Danylchenko // 2019 IEEE 2nd Ukraine Conference on Electrical and Computer Engineering UKRCON-2019 – IEEE, 2019. – P. 314 – 320. – DOI: 10.1109/UKRCON.2019.8879985.
59. Research of Energy Efficiency of Manipulation of Dimensional Objects With the Use of Pneumatic Gripping Devices / R. Mykhailyshyn, V. Savkiv, I. Diahovchenko, F. Duchon, R. Trembach // 2019 IEEE 2nd Ukraine Conference on Electrical and Computer Engineering UKRCON-2019 – IEEE, 2019. – P. 527 – 532. – DOI: 10.1109/UKRCON.2019.8879957.
60. Diahovchenko, I., Lebedynskiy, I., Mykhailyshyn, R., & Savkiv, V. (2019, September). Methods to Improve the Accuracy of Power Meters through the Application of Nanomaterials and Calibration Techniques. In 2019 IEEE 9th International Conference Nanomaterials: Applications & Properties (NAP) (pp. 02NEE17-1). IEEE. doi: 10.1109/NAP47236.2019.216994.
61. Rogowsky coil applications for power measurement under non-sinusoidal field conditions / I. Diahovchenko, R. Mykhailyshyn, D. Danylchenko, S. Shevchenko // Energetika. – 2019. – 65(1), P. 14 – 20. – DOI: 10.6001/energetika.v65i1.3972.

62. Control of a small quadrotor for swarm operation / A. Trizuljak, F. Duchoň, J. Rodina, A. Babinec, M. Dekan, R. Mykhailyshyn // Journal of Electrical Engineering. – 70(1). – 2019. – P. 3-15. – DOI: 10.2478/jee-2019-0001.
63. Optimization of design parameters of Bernoulli gripper with an annular nozzle / V. Savkiv, R. Mykhailyshyn, P. Maruschak, L. Chovanec, E. Prada, I. Virgala, O. Prentkovskis // Transport Means - Proceedings of the International Conference. – 2019. – P. 423-428.
64. The analysis of influence of a nozzle form of the Bernoulli gripping devices on its energy efficiency / V. Savkiv, R. Mykhailyshyn, P. Maruschak, F. Duchon, L. Chovanec // Proceedings of ICCPT 2019, May 28-29, 2019. – Tern. : TNTU, Scientific Publishing House “SciView”, 2019. – P. 66–74. – DOI: 10.5281/zenodo.3387275.
65. Usage of Light-Emitting-Diode Lamps in Decorative Lighting / R. Mykhailyshyn, I. Belyakova, V. Medvid, V. Piscio, O. Shkodzinsky, M. Markovych // IEEE 20th International Conference on Computational Problems of Electrical Engineering (CPEE). – IEEE, 2019. – DOI: 10.1109/CPEE47179.2019.8949154.
66. Justification of Influence of the Form of Nozzle and Active Surface of Bernoulli Gripping Devices on Its Operational Characteristics / V. Savkiv, R. Mykhailyshyn, P. Maruschak, F. Duchon // TRANSBALTICA XI: Transportation Science and Technology. Lecture Notes in Intelligent Transportation and Infrastructure. – Springer, 2020. — P. 263–272. – DOI: 10.1007/978-3-030-38666-5_28.
67. Analysis of Operational Characteristics of Pneumatic Device of Industrial Robot for Gripping and Control of Parameters of Objects of Manipulation / V. Savkiv, R. Mykhailyshyn, P. Maruschak, F. Duchon, O. Prentkovskis, I. Diahovchenko // TRANSBALTICA XI: Transportation Science and Technology. Lecture Notes in Intelligent Transportation and Infrastructure. – Springer, 2020. — P. 504–510. – DOI: 10.1007/978-3-030-38666-5_53.

68. Progress and Challenges in Smart Grids: Distributed Generation, Smart Metering, Energy Storage and Smart Loads / Diahovchenko, I., Kolcun, M., Čonka, Z., Savkiv, V., Mykhailyshyn, R. // Iranian Journal of Science and Technology, Transactions of Electrical Engineering, – 2020. – P. 1-15.
69. Михайлишин Р.І. Обґрунтування параметрів та орієнтації струминного захоплювача маніпулятора для автоматизації вантажно-розвантажувальних операцій: автореф. дис. на здобуття наук. ступеня канд. техн. наук : спец. 05.05.05 “Піднімально-транспортні машини” / Р.І. Михайлишин. – Тернопіль, 2018. – 21 с.
70. Михайлишин Р. І. Optimization of bernoulli gripping device’s orientation under the process of manipulations along direct trajectory / Р.І. Михайлишин, Я. І. Проць, В.Б. Савків // Вісник ТНТУ. – Тернопіль, 2016. – Том 81. – № 1. – С. 107 – 117.
71. Михайлишин Р. І. Аналіз методів планування траєкторій маніпуляторів / Р.І. Михайлишин, В.Б. Савків // Збірник наукових праць «Перспективні технології та прилади» Луцький НТУ. – Луцьк, 2016. – №8 (1). – С. 61 – 69.
72. Justification of the object of manipulation parameters influence on the optimal orientation and lifting characteristics of Bernoulli gripping device / В.Б. Савків, Р.І. Михайлишин, Ф. Духон, М.С. Михайлишин // Вісник Херсонського національного технічного університету. – Херсон, 2017. – № 2 (61). – С. 98 – 104.
73. «Ознайомлення з основними функціями програмного середовища RobotStudio» : методичні вказівки до лабораторної роботи № 1 з курсу “Гнучкі комп’ютеризовані системи та робототехніка” для студентів спеціальності 151 «Автоматизація та комп’ютерно-інтегровані технології» / укл. Р.І. Михайлишин, В.Б. Савків. – Тернопіль : ТНТУ імені Івана Пулюя, 2019. – 45 с.

74. «Визначення базових точок та траєкторії промислового робота» : методичні вказівки до лабораторної роботи № 2 з курсу “Гнучкі комп'ютеризовані системи та робототехніка” для студентів спеціальності 151 «Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології» / укл. : Р. І. Михайлишин, В. Б. Савків. – Тернопіль : ТНТУ імені Івана Пулюя, 2019. – 17 с.
75. Методичні вказівки до лабораторної роботи № 3 «Імпорт тривимірних моделей та створення захоплювального пристрою в програмному середовищі RobotStudio» з курсу “Гнучкі комп'ютеризовані системи та робототехніка” для студентів спеціальності 151 «Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології» / укл. : Р. І. Михайлишин, В. Б. Савків. – Тернопіль : ТНТУ імені Івана Пулюя, 2019. – 24 с.
76. «Робота з віртуальним пультом управління FlexPendant в програмному середовищі RobotStudio» методичні вказівки до лабораторної роботи № 4 з курсу “Гнучкі комп'ютеризовані системи та робототехніка” для студентів спеціальності 151 «Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології» / укл. : Р. І. Михайлишин, В. Б. Савків. – Тернопіль : ТНТУ імені Івана Пулюя, 2019. – 23 с.
77. «Операції над об'єктами та контроль зіткнень в програмному середовищі RobotStudio» методичні вказівки до лабораторної роботи № 5 з курсу “Гнучкі комп'ютеризовані системи та робототехніка” для студентів спеціальності 151 «Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології» / укл. : Р.І. Михайлишин, В.Б. Савків. – Тернопіль: ТНТУ імені Івана Пулюя, 2019. – 34 с.
78. «Розробка механізму конвеєра та програмування операцій MultiMove в програмному середовищі RobotStudio» методичні вказівки до лабораторної роботи № 6 з курсу “Гнучкі комп'ютеризовані системи та робототехніка” для студентів спеціальності 151 «Автоматизація та

- комп'ютерно-інтегровані технології» / укл. : Р. І. Михайлишин, В. Б. Савків. – Тернопіль : ТНТУ імені Івана Пулюя, 2019. – 39 с.
79. «Створення роботизованої станції в програмному середовищі RobotStudio» методичні вказівки до лабораторної роботи № 7 з курсу “Гнучкі комп'ютеризовані системи та робототехніка” для студентів спеціальності 151 «Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології» / укл. : Р. І. Михайлишин, В. Б. Савків. – Тернопіль : ТНТУ імені Івана Пулюя, 2019. – 19 с.
80. «Розробка роботизованої лінії для автоматизації вантажно-розвантажувальних операцій в програмному середовищі RobotStudio» методичні вказівки до лабораторної роботи № 8 з курсу “Гнучкі комп'ютеризовані системи та робототехніка” для студентів спеціальності 151 «Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології» / укл. : Р. І. Михайлишин, В. Б. Савків. – Тернопіль : ТНТУ імені Івана Пулюя, 2019. – 24 с.