

НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ УКРАЇНИ
«КИЇВСЬКИЙ ПОЛІТЕХНІЧНИЙ ІНСТИТУТ імені ІГОРЯ
СІКОРСЬКОГО»

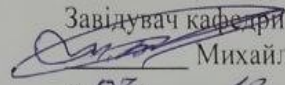
Приладобудівний факультет
Кафедра виробництва приладів

«На правах рукопису»

УДК 64.011.56

«До захисту допущено»

Завідувач кафедри

 Михайло БЕЗУГЛИЙ

« 02 » 12 2022 р.

МАГІСТЕРСЬКА ДИСЕРТАЦІЯ

на здобуття ступеня магістра

зі спеціальності 151 «Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані
технології»

на тему: «Автоматизована система транспортування деталей в умовах
«безлюдної технології»»

Виконав:

Студент 2 курсу, групи ПБ-11мп

Гацько Микола Вячеславович



Науковий керівник:

к.т.н., доцент

Шевченко Вадим Володимирович



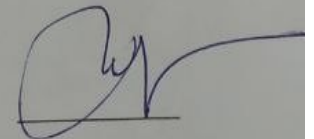
Консультант з розробки стартапу:

д.е.н., проф.

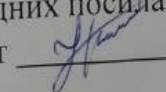
Бояринова Катерина Олександрівна



Рецензент:



Засвідчую, що у цій магістерській дисертації
немає запозичень з праць інших авторів без
відповідних посилань.

Студент 

Київ – 2022 року

Національний технічний університет України
«Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»

Приладобудівний факультет

Кафедра виробництва приладів

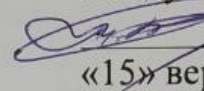
Рівень вищої освіти – другий (магістерський)

Спеціальність – 151- Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології

Освітньо-професійна програма «Комп'ютерно-інтегровані системи та технології в приладобудуванні»

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри

 **Михайло БЕЗУТЛИЙ**
«15» вересня 2022 р.

ЗАВДАННЯ

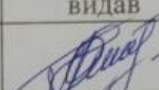
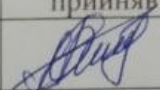
на магістерську дисертацію студенту

Гацько Миколі Вячеславовичу

1. Тема дисертації «Автоматизована система транспортування деталей в умовах «безлюдної технології»», науковий керівник дисертації к.т.н., доцент Шевченко Вадим Володимирович, затверджені наказом по університету від «09» листопада 2022 р. № 4110-с
2. Термін подання студентом дисертації 05 грудня 2022 року
3. Об'єкт дослідження: транспортування деталей в умовах серійного виробництва.
4. Вхідні дані: креслення деталей, технологічний процес виготовлення деталей, технічні характеристики верстатів з ЧПК та роботів маніпуляторів, програма випуску 15 000 шт/рік.
5. Перелік завдань, які потрібно розробити: 1. Дослідити актуальність питання та провести порівняльний аналіз існуючих систем транспортування деталей і обґрунтувати власний вибір. 2. Розробити конструкцію та розрахувати кінематику транспортного візка. 3. Розробити алгоритм керування системою транспортування. 4. Розробити структурну схему оптимізації маршруту. 5. Розробити програмне забезпечення. 6. Розробити стартап проєкт. 7. Оформити пояснювальну записку і презентації.
6. Орієнтовний перелік графічного (ілюстративного) матеріалу: конструкція візка, конструкція коліс, математична модель, алгоритм керування, структурна схема системи, маршрути переміщення, кінематичні схеми візка, структурна схема автоматизованої дільниці.
7. Орієнтовний перелік публікацій: (1) М.В. Гацько: «Гнучка автоматизована система транспортування деталей з використанням всенаправлених коліс». Збірник праць XV Всеукраїнської науково-практичної конференції студентів,


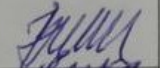
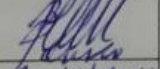
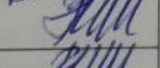

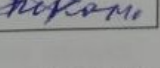
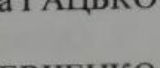
аспірантів та молодих вчених “Погляд у майбутнє приладобудування”, 14-15 червня 2022р. – К.: ПБФ, КПІ ім. Ігоря Сікорського. – 2022. – с. 86-89; (2) М.В. Гацько. Автоматизований візок для транспортування деталей у мовах «безлюдної технології». матеріали VI міжнародної науково-практичної конференції здобувачів вищої освіти і молодих учених “Перспективи розвитку територій”, Харків, 18–19 листопада 2021 р. – Харківський національний університет міського господарства імені О. М. Бекетова. – с. (3) М.В. Гацько. Автоматизація системи транспортування деталей з використанням коліс механум. Збірник праць XVII науково-практичної конференції студентів, аспірантів та молодих вчених “Ефективність та автоматизація інженерних рішень у приладобудуванні”, 06-07 грудня 2022р. – К.: ПБФ, КПІ ім. Ігоря Сікорського. – 2022. – с. (4) М.В. Гацько. Оптимізація транспортування деталей в умовах автоматизованого середньосерійного виробництва. Вісник КПІ. Серія ПРИЛАДОБУДУВАННЯ, Вип. 64(2), 2022. – прийнято до опублікування.

8. Консультанти розділів дисертації

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	завдання прийняв
Стартап-проекти	Завідувач кафедру економічної кібернетики, д.е.н., проф. Бояринова К.О.		

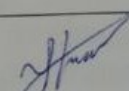
9. Дата видачі завдання 15 вересня 2022 р.

Календарний план

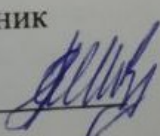
№ з/п	Назва етапів виконання магістерської дисертації	Термін виконання етапів магістерської дисертації	Примітка
1	Дослідження актуальності питання та порівняльний аналіз існуючих систем транспортування деталей і обґрунтування власного вибору.	23.09.2022	 Виконав
2	Розробка конструкції та розрахунок кінематики транспортного візка.	12.10.2022	
3	Розробка алгоритму роботи системи транспортування.	02.11.2022	
4	Розробка структурної схеми оптимізації маршруту.	10.11.2022	
5	Розробка програмного забезпечення	20.11.2022	
6	Розробка стартап проекту.	26.11.2022	
7	Оформлення пояснювальної записки і презентації.	05.12.2022	

Студент

Науковий керівник

 Микола ГАЦЬКО

Вадим ШЕВЧЕНКО



РЕФЕРАТ

Дана робота включає 97 сторінок (113 сторінок, якщо рахувати з додатками), 67 рисунків, 20 таблиць, 36 формул, 4 додатки і 29 джерел.

У даній магістерській роботі розроблено автоматизовану систему транспортування деталей в умовах «безлюдної технології», що являє собою автоматизований транспортний візок, встановлений на колеса меканум, що забезпечують його все спрямований рух, не змінюючи орієнтації у просторі або ж її зміну незалежно від напрямку руху, із двома бортовими маніпуляторами та індивідуальним змінним накопичувачем..

За допомогою САД системи розроблено тривимірні моделі схематичної конструкції автоматизованого транспортного візка, та детальну модель коліс меканум, на які встановлено візок.

Для розробленого візка розраховано формули для вирішення задач кінематики, а також розроблено алгоритми керування, які в подальшому було використано для програмної реалізації алгоритму роботи автоматизованого транспортного візка.

На основі досягнутих результатів спроектовано стартап для можливості виходу розробленої автоматизованої системи транспортування у ринок.

Ключові слова: автоматизація, транспортування, автоматизована система, безлюдна технологія, алгоритми керування, автоматизований візок, колеса меканум, все направлений рух, оптимізація.

ЗМІСТ

ВСТУП.....	7
I. АНАЛІЗ ІСНУЮЧИХ СИСТЕМ ТРАНСПОРТУВАННЯ	9
1.1. Аналіз методів і засобів транспортування у виробництві.....	10
1.1.1. Транспортування у виробництві.....	10
1.1.2. Вплив четвертої промислової революції	11
1.2. Аналіз існуючих систем транспортування.....	13
1.2.1. Відомі системи транспортування	13
1.2.2. Типи роботів у виробництві	14
1.2.3. Способи переміщення транспортних засобів	19
1.3. Обґрунтування власного вибору	25
1.3.1. Вибір коліс для забезпечення мобільності	25
1.3.2. Вибір типу транспортного засобу.....	26
Висновки за розділом 1.....	27
II. РОЗРОБКА КОНСТРУКЦІЇ ВІЗКА І АЛГОРИТМІВ РОБОТИ.....	29
2.1. Розробка конструкції транспортного візка.....	30
2.1.1. Розробка загальної конструкції	30
2.1.2. Розробка конструкції колеса меканум	34
2.2. Розрахунок кінематики транспортного візка	37
2.2.1. Вирішення задач кінематики	37
2.3. Розробка алгоритму роботи системи транспортування	41
2.3.1. Загальний алгоритм роботи.....	41
2.3.2. Алгоритм завантаження і розвантаження деталей	44
Висновки за розділом 2.....	48

III. ОПТИМІЗАЦІЯ І РОЗРОБКА ПРОГРАМНОГО ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ.....	49
3.1. Реалізація алгоритму роботи автоматизованої системи	50
3.1.1. Визначення відносного положення візка.....	50
3.1.2. Нівелювання похибки розташування.....	56
3.2. Оптимізація процесу переміщення візка	59
3.3. Розробка програмного забезпечення.....	65
3.3.1. Нівелювання похибки положення	66
3.3.2. Керування процесом встановлення і знаття деталей.....	69
3.3.3. Переміщення до наступної точки.....	72
Висновки за розділом 3.....	75
IV. РОЗРОБКА СТАРТАП ПРОЕКТУ	77
4.1. Опис ідеї стартап проекту	78
4.2. Аналіз ринкових можливостей запуску стартап проекту	81
4.3. Розробка ринкової та маркетингової програми стратегії проекту.....	88
Висновки за розділом 4.....	92
ВИСНОВКИ.....	94
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ	95
ДОДАТКИ.....	98
Додаток А. Креслення автоматизованого візка.....	99
Додаток Б. Креслення колеса механум	100
Додаток В. Код розробленого програмного забезпечення	107
Додаток Г. Структурна схема автоматизованої системи	113

ВСТУП

Виробничий процес можна поділити на декілька частин. Основними частинами є технологічна підготовна виробництва, безпосередньо сам технологічний процес виготовлення та складання, а також транспортування, зберігання та ремонт. Не дивлячись на те, що технологічний процес виготовлення та складання можна назвати головною частиною, у виробничому процесі транспортування відіграє далеко не останню роль. Більшість робочих місць та складських приміщень є стаціонарними об'єктами і тільки завдяки транспортуванню окремі місця стають пов'язаними між собою. Тому, покращення транспортування може дозволити дуже помітно покращити виробничий процес в цілому.

Об'єктом дослідження є транспортування деталей в умовах серійного виробництва.

Предметом дослідження є автоматизація системи транспортування деталей

Дослідження проведено науковими методами емпіричного аналізу та синтезу.

Метою дослідження є розробка автоматизованої системи транспортування деталей, яка дозволить підвищити ефективність і гнучкість середньо серійного виробництва, завдяки використанню все направлених коліс.

Задачами дослідження є:

1. Проведення порівняльного аналізу існуючих систем транспортування
2. Розробка конструкції автоматизованого транспортного візка та розрахунок його кінематики
3. Розробка алгоритму роботи системи транспортування
4. Оптимізація процесу переміщення автоматизованого візка
5. Розробка програмного забезпечення
6. Розробка стартап проекту.

Практичною цінністю дослідження є те, що у даній магістерській дисертації розроблена автоматизована система транспортування деталей, яка має підвищену точність, швидкодію та гнучкість, завдяки встановленню автоматизованого транспортного візка на все направлені колеса меканум, а також використанню змінних захватних пристроїв на бортових маніпуляторах і змінному індивідуальному накопичувачі, що допомогло збільшити загальну продуктивність та ефективність виробничого процесу, а в подальшому збільшити і прибуток підприємства.

Розробка автоматизованої системи відбулася через проєктування конструкції візка і коліс, на яких його встановлено, розрахунок формул для вирішення задач кінематики, проєктування і реалізацію алгоритмів роботи і керуванню системою транспортування, оптимізацію маршрутів переміщення, а також розробку програмного забезпечення для керування системою.

I. АНАЛІЗ ІСНУЮЧИХ СИСТЕМ ТРАНСПОРТУВАННЯ

1.1. Аналіз методів і засобів транспортування у виробництві

1.1.1. Транспортування у виробництві

Транспортування у виробництві займає важливу роль, оскільки різні операції не часто виконуються на одному місці, особливо це стосується серійного та масового виробництва. Якщо у серійному виробництві ще можна використовувати дивні і дуже коштовні оброблюючі центри, у масовому виробництві, це взагалі не допускається. І тим не менш, використання у серійному виробництві тих самих оброблюючих центрів може бути зайвим, оскільки декілька дешевших верстатів, можуть виконати туж саму роботу з тією ж самою якістю, і це буде дешевше, а також їх обслуговування є простішим. [1]

Оскільки між окремими верстатами є деяка відстань, то для переміщення об'єктів виробництва між ними доводиться використовувати деякі засоби транспортування.

Найпростішим методом транспортування є переміщення деталей вручну, тобто у людина переміщує стільки об'єктів, скільки вміщується у власних руках, або ж один об'єкт за раз. Цей метод не потребує додаткового обладнання, і активно використовується в одиничному виробництві, але в межах інших типів виробництв такий метод є абсолютно недоречним.

Трохи складнішим, проте у декілька разів ефективнішим методом є переміщення деталей за допомогою лотків, коробок або ж візків, якщо деталей багато та/або вони занадто важкі. Такий метод вже є набагато доречнішим у серійному виробництві протягом довгого часу використовувався на різних підприємствах світу. Проте, в ньому є недолік. Робота, яка виконується робітниками при транспортуванні є важкою фізично, легкою в розумінні і занадто монотонною у виконанні, проте завжди актуальною.

Тому не дивно, що достатньо швидко людство вирішило автоматизувати процес транспортування, і таким чином на світ з'явилися різноманітні конвеєрні стрічки,

тактові столи і роботи-маніпулятори. Також, на світ з'явилися візки, які з жорсткою прив'язкою можуть переміщуватися по виробничому приміщенню. І, тим не менш, людству цього було недостатньо.

1.1.2. Вплив четвертої промислової революції

Ще декілька десятків років тому підприємства працювали в епоху Третьої Промислової Революції, основною характеристикою якої було застосування електронно-обчислювальної техніки, а також використання ядерної енергії. На початку 21-го століття розпочалася Четверта Промислова Революція, яка знаменувала початок використання Інтернету Речей та штучного інтелекту для вирішення різноманітних проблем, завдяки чому почала підвищуватися ефективність роботи.

Четверта Промислова Революція має наступні елементи: взаємозв'язок, прозорість інформації та децентралізовані рішення. [2]

Завдяки використанню різноманітних пристроїв та датчиків, машини здатні спілкуватися одна з одною через Інтернет Речей. Люди також можуть бути підключеними до цієї мережі, і вони мають можливість комунікувати не тільки між собою, а ще і з машинами.

Імплементация штучних нейронних мереж дозволила оброблювати величезну кількість інформації, яка надходить від усіх точок виробництва, автоматично розраховувати дані та передавати операторам тільки ту інформацію, яка є необхідною для контролю виробничого процесу. Це дозволяє прозоро бачити процес виконання завдань, а також легко визначати місця які потребують втручання.

Автоматична передача інформації звільняє процес від людського втручання, тому завдання можуть виконуватися безперервно та достатньо точно. Децентралізоване прийняття рішень дозволяє машинам самостійно виконувати свої завдання в режимі максимальної автономії. У випадку, коли самостійно прийняти

рішення машина не може, вона звертається до вищого рівня керування, тобто до оператора. Прозоре надходження інформації робить процес прийняття рішень простим, наскільки це можливо.

При цьому, той самий штучний інтелект може пропонувати власні рішення, що дозволяє оператору прийняти один із запропонованих варіантів, або ж розробити власний спосіб вирішення проблем, відштовхуючись від запропонованих варіантів.

Звісно, разом з надходженням четвертої індустріальної революції, почали з'являтися проблеми, яких не було раніше. Однією з найбільших проблем є підвищення кібер-небезпеки підприємства, оскільки все виробництво підключене до однієї мережі Інтернету Речей. Якщо на підприємстві буде слабкий кібер-захист, тоді зловмисник, якщо такий знайдеться, зможе достатньо просто пошкодити виробничий процес, або отримати доступ до системи керування, технологічних процесів, засекречених технологій, тощо. Отже, велика кількість зусиль може піти не тільки на розробку системи, але і на її захист.

Серед інших проблем, можна виявити необхідність підтримання високого рівня надійності та стабільності кібер-фізичного зв'язку, що достатньо важко зробити навіть при теперішньому розвитку технологій, оскільки чим складнішою є система – тим менша її надійність. І при цьому необхідно не забувати про підтримку надійності фізичних систем, механізмів, електроніки, тощо.

Також, збільшення автоматизації зменшує кількість робочих місць, що викликає занепокоєння у звичайних людей, які шукають роботу або мають досвід праці у тих сферах, які поступово підлягають автоматизації. Хоча зменшення людського втручання у виробничий процес може сильно підвищити продуктивність підприємства, у випадку, коли щось важливе виходить з ладу, зменшена кількість людей може призвести до того, що вони не зможуть самостійно розібратися з проблемою, тому доведеться викликати окремих спеціалістів, оскільки, як було

сказано раніше, складні системи вимагають більше зусиль, щоб повернути їх до робочого стану.

І тим не менше, незважаючи на можливі проблеми, процес покращення підприємств до рівня четвертої промислової революції вже почався, і вже стоїть питання не в тому, чи почнуть підприємства імплементувати нові технології, а в тому, як швидко вони будуть це робити. [3]

Тому, варто вже починати розроблювати такі системи, щоб вони були на рівні Індустрії 4.0. Автоматизація системи транспортування – одне із питань, яке все ще потрібно вирішувати та вдосконалювати, оскільки воно все ще досліджується і для кожного окремого випадку можна

1.2. Аналіз існуючих систем транспортування

1.2.1. Відомі системи транспортування

На сьогоднішній день існує безліч різноманітних виробництв. Вони належать до різних галузей, мають різну цільову аудиторію, проте всі вони підлягають однаковій класифікації. Так, за типом виробництва їх можна поділити на одиничні, мало-, середньо-, багатосерійні, та масові. Приладобудування здебільшого підлягає до малосерійного та середньосерійного виробництва, але також можна зустріти одиничне виробництво, проте частіше воно направлене на виготовлення фізичних екземплярів експериментального призначення. [4]

Оскільки питанню, яке досліджується, в основному підлягають серійні виробництва, то і розглянуто буде аналоги, які використовуються у даному типі виробництв.

З приходом четвертої індустріальної революції, транспортування також зазнало впливу автоматизації. На підприємствах розпочато встановлення різноманітних автоматичних мобільних роботів – будь-яких роботів, які здатні автоматично переміщуватись і перевозити різноманітні вантажі. На відміну від автоматично керованих транспортних засобів, використання яких розпочалось ще у 1950-х роках, мобільні роботи мають більше самостійності.

Наприклад, якщо автоматично керований пристрій зустрине на своєму шляху непередбачувану перешкоду, то, із-за відносно жорсткої прив'язки до своєї траєкторії руху, яка визначається за допомогою магнітних стрічок, магнітів, маячків тощо, цей візок зупиняється. В свою чергу, автоматичний мобільний робот, який має вільну навігації завдяки лазерам, встановленим на ньому, може трохи змінити свій маршрут, у випадку, якщо є достатньо вільного місця, а також якщо таким чином він не створить перешкоду операторам та іншим роботам. Повністю робот зупиниться тільки тому у випадку, якщо самостійно вирішити проблему неможливо. [5]

У межах виробництв, основної задачею автоматично керованих транспортних засобів та мобільних роботів є переміщення заготовок, напівфабрикатів, деталей, виробів, інструментів та інших різноманітних вантажів.

На сьогоднішній день існує багато різних транспортних роботів. Більшість з них можна поділити на тих, які оперують у складських приміщеннях та тих, які оперують у виробничих дільницях, а також, універсальні.

1.2.2. Типи роботів у виробництві

Ті роботи, які знаходяться на складі, часто мають форму та принцип роботи, який імітує керовані вантажні підйомники (рис. 1.1, а), проте, можна знайти і досить дивні та незвичні машини, які, наприклад, здатні переміщуватись не тільки по підлозі складських приміщень, а ще і вертикально підійматися на стелажі з вантажами (рис. 1.1, б).



а



б

Рисунок. 1.1. Автоматично керовані транспортні засоби, які оперують у складських приміщеннях: а – автоматичні вантажні підйомники, розроблені компанією PeakLogic [6], б – вантажний робот SqUID, розроблений BionicHIVE [7]

Головною задачею таких роботів є виконання логістичних операцій у складських приміщеннях. Хоча, якісно зроблена система транспортування здатна неймовірно сильно підвищити продуктивність складів і логістику в цілому, за межами цієї зони їх користь різко зменшується, тому на підприємстві необхідно мати інші автоматично керовані транспортні засоби, щоб підтримувати належний рівень ефективності. [6]

На відміну від складських приміщень, у виробничих дільницях зазвичай використовуються менш габаритні транспортні засоби. Основною метою таких роботів є автоматичне переміщення деталей між робочими місцями, які в умовах «безлюдної технології» представляють собою автоматичні верстати, у невеликих кількостях, іноді, навіть в одиничних екземплярах. Або ж, дані засоби здатні самостійно виконувати основні операції технологічного процесу. Головною відмінністю від попередніх роботів є наявність маніпулятора, встановленого на платформі автоматично керованого транспортного засобу. З цієї причини їх ще називають мобільними маніпуляторами (рис. 1.2).

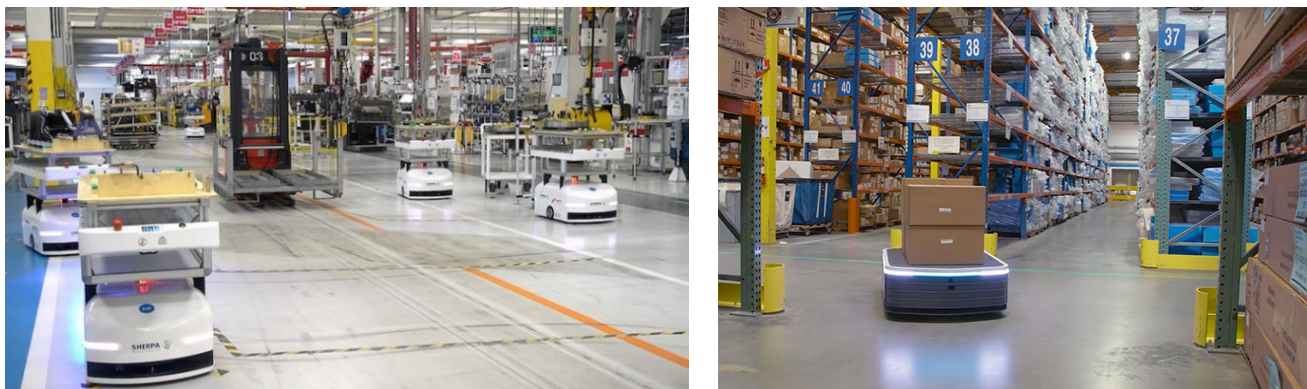


Рисунок 1.2. Мобільний маніпулятор RB-Vulcano, розроблений компанією Robotnik. [8]

Наявність встановленого маніпулятора дозволяє автоматично керованим транспортним засобам імітувати роботу людських кінцівок, а мобільна платформа дозволяє переміщуватися. Тому, якісно зроблений і правильно налаштований робот може абсолютно замінити деяку просту роботу, яку повинна виконувати людина. Наприклад, закріплення і переміщення деталей по виробничій дільниці. [9]

І, тим не менш, на сьогоднішній день все ще існує необхідність в операторах, оскільки роботи і штучний інтелект все ще можуть стикатися із складними ситуаціями, які вони не можуть вирішити, або прийняті рішення можуть бути занадто суперечливими. А для людини та сама проблема може мати абсолютно очевидне і просте вирішення. Прикладом може слугувати пуста коробка, яка впала посеред проходу: поки робот бачить невідому перешкоду, яку неможливо оминати і просить допомоги, людина може власноруч її підняти, а у випадку, якщо руки зайняті, пнути ногою або переступити.

Деякі автоматично керовані транспортні засоби можуть використовуватися як у виробничих дільницях, так і у складських приміщеннях, а, іноді, і поза їх межами. Такі засоби можна назвати універсальними. В багатьох підприємствах такими засобами можуть бути, так звані, мобільні платформи (рис. 1.3).



a

б

Рисунок. 1.3. Приклади застосування мобільних платформ: *a* – у виробничій дільниці [10]; *б* – у складських приміщеннях [11]

Головною характеристикою мобільних платформ є наявність вільної рівної площини на вершині цього транспортного засобу. Основною задачею таких роботів є автоматичне транспортування вантажів, при чому, в деяких випадках, дуже важких. [12]

Відсутність встановлених маніпуляторів, присосок та інших засобів захоплення предметів призводить до необхідності встановлення окремих роботів-маніпуляторів у місцях, де необхідне завантаження або розвантаження. (рис 1.4). В деяких роботах верхня платформа здатна виконувати простий рух, наприклад, верх-вниз або трохи нахилитися, щоб скинути вантаж вбік. Ця особливість робить можливість мобільним платформам зробити систему транспортування простішою у реалізації. А чим простішою є система, тим легше збільшити її надійність.



Рисунок. 1.4. Роботи-маніпулятори у місці розвантаження [13]

Тим не менш, якщо на мобільну платформу встановити маніпулятор так, що поруч все ще буде достатньо вільного місця, такий транспортний засіб також можна буде назвати універсальним (рис. 1.5). А деякі підприємства навіть вирішили використовувати мобільний маніпулятор в парі з мобільною платформою. Це дозволило використовувати менше маніпуляторів на всьому підприємстві, при цьому не зменшуючи кількість місць, куди вони можуть досягнути (рис 1.6) .



Рисунок. 1.5. Мобільна платформа із маніпулятором [14]



Рисунок 1.6. Мобільний маніпулятор у парі з мобільною платформою. [15]

1.2.3. Способи переміщення транспортних засобів

На сьогоднішній день існує безліч різноманітних способів переміщення транспортних засобів. Найбільш відомий та зручний у використанні – це за допомогою коліс. І не дивлячись на те, що колеса є відносно простим елементом, людство вже винайшло і активно використовує різні типи коліс, їх встановлення і орієнтацію на транспортних засобах.

На відміну від більшості автомобілів, де колеса залежать один від одного, тому що встановлені на одній осі обертання, виробничі транспортні засоби здебільшого мають незалежні колеса, тобто кожне окреме колесо має свій двигун або ж взагалі не підключено до приводу і слугує лише опорою для підтримки рівноваги. Ті ж колеса, які підключені до окремих двигунів, можуть обертатися не тільки з різною швидкістю, а ще і у різні сторони.

Простим прикладом можуть слугувати круглі роботи з двома ведучими колесами. Такі роботи мають круглу форму, два незалежних колеса, а також, одне чи два допоміжних колеса, в залежності від центра мас робота та його функцій. Завдяки керуючим колесам, у випадку, коли вони обертаються з однаковою швидкістю, робот може рухатись в одному напрямі, якщо обидва колеса обертаються в одну і ту ж сторону (рис. 1.7, а) або ж обертатися на місці, якщо колеса мають різний напрям обертання (рис. 1.7, б). Якщо ж колеса обертаються в одному напрямі, але з різною швидкістю, тоді робот буде рухатись по деякій дузі (рис. 1.7, в).

Такі роботи знайшли своє призначення в людських домівках у вигляді роботів-прибиральників. Завдяки простій круглій формі, вони можуть прибиратися і обертатися у вузьких місцях, а колеса забезпечують мобільність, яка є достатньою для житлових приміщень. Однак, в межах виробничих підприємств, такої мобільності може бути недостатньо. [16]

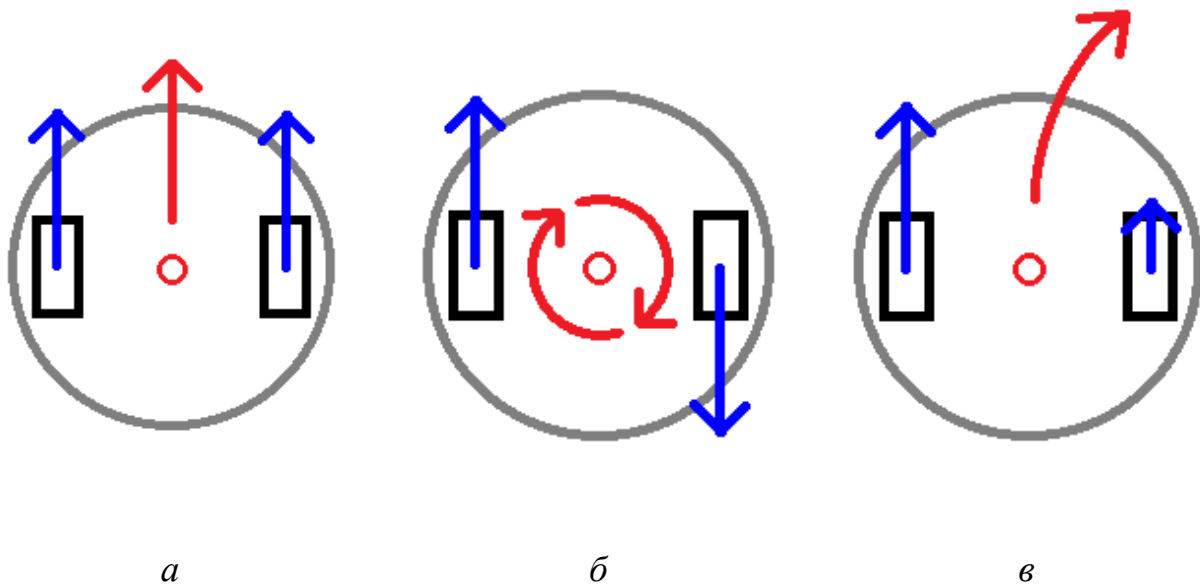


Рисунок 1.7. Напрями руху круглого роботу в залежності від обертання коліс

Для забезпечення більшої мобільності, вже почали використовувати транспортні засоби, встановлені на всеспрямовані колеса. При правильному встановленні, такі колеса здатні забезпечувати переміщення транспортного засобу в будь-якому напрямі без зміни його спрямування. До таких коліс відносять так звані омні колеса та колеса меканум.

Омні колесо – це таке колесо, на ободі якого встановлено ролики, вісь обертання яких перпендикулярна до вісі обертання самого колеса (рис. 1.8). Зазвичай, ролики розміщують у два ряди, завдяки чому як мінімум один ролик торкається підлоги. Ролики мають таку форму, щоб загальний профіль колеса був якомога більше схожим на коло. Завдяки такій формі, омні колесо може цілком імітувати звичайне колесо, якщо вони встановлені в такій же конфігурації, як і звичайні колеса. [17]

Хоча, омні колеса і можна встановлювати так само, як і звичайні, найбільшого ефекту можна досягти в інших конфігураціях. Найчастіше використовують квадратну та трикутну конфігурацію (рис. 1.9).



Рисунок 1.8.
Омні колесо [18]

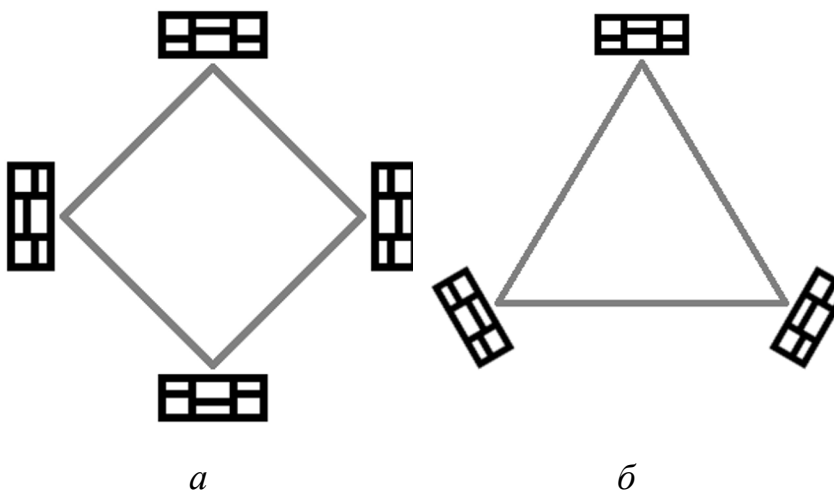


Рисунок 1.9. Основні конфігурації омні коліс на транспортному засобі: а – квадратна; б – трикутна

Обидві конфігурації дозволяють досягти одного і того ж результату, а саме рух транспортного засобу в будь-якому напрямі.

Наприклад, для квадратної конфігурації, завдяки трьом базовим схем обертання коліс, зображених на рисунку 1.10, можна досягти будь-якої траєкторії руху транспортного засобу. Як видно на рисунку 1.10.а, праве та ліве колесо обертається, а верхнє та нижнє залишаються нерухомими. При цьому, остання пара коліс не перешкоджає руку транспортного засобу завдяки тим самим роликам, встановленим на ободі цих коліс. На рисунку 1.10.б ролики взагалі не задіяні, і омні колеса повністю імітують звичайні колеса. А на останньому рисунку 1.10.в, задіяно як обертання самих коліс, так і обертання їх роликів.

Як вже було сказано раніше, маючи ці три схеми рухів, можна досягти будь-якої траєкторії руху. Для цього потрібно просто визначити швидкості та напрям обертання для кожного окремого омні колеса. Правильно виконана програма дозволить рухати транспорт не тільки вперед, назад, вліво, вправо, по діагоналі та навколо своєї осі, а ще і по достатньо складним траєкторіям.

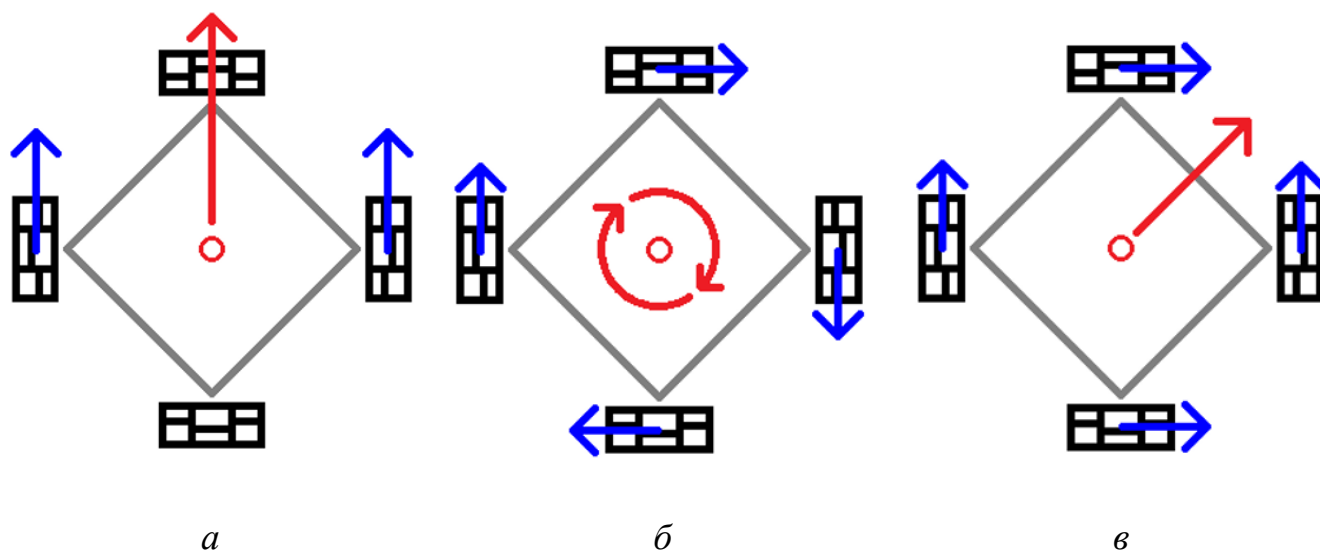


Рисунок 1.10. Основні схеми руху омні коліс і результуючий напрям руху при квадратній конфігурації: а – рух вперед; б – рух по колу; в – рух по діагоналі

Трикутна конфігурація дозволяє робити теж саме, що і квадратна конфігурація, як це можна побачити на рисунку 1.11.

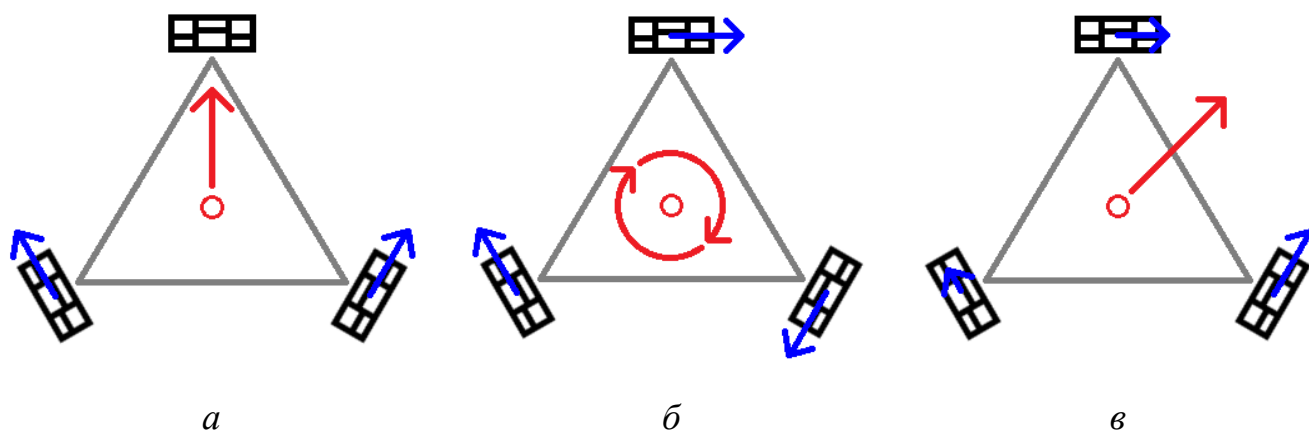


Рисунок 1.11. Основні схеми руху омні коліс і результуючий напрям руху при трикутній конфігурації: а – рух вперед; б – рух по колу; в – рух по діагоналі

Проте, на відміну від квадратної конфігурації, трикутна має декілька переваг. По-перше, використовується менше коліс, а отже, і менше, двигунів, проводів та інших матеріалів. По-друге, навіть на нерівних поверхнях усі три колеса завжди будуть торкатися підлоги, в той час як в квадратній конфігурації одне колесо буде висіти в повітрі, а із-за цього транспорт може зміститися з необхідної траєкторії руху.

Єдиним недоліком трикутної конфігурації є те, що такий транспортний засіб трохи складніше запрограмувати, ніж з квадратною. [19]

Іншим типом всеспрямованого колеса є колесо меканум, також відоме під назвою колесо Ілона – це таке колесо, на ободі якого також розташовані ролики, але вони вже розміщені під кутом 45° по відношенню до осі обертання самого колеса (рис. 1.12). Як і в омні колесі, ролики мають таку форму, що в профілі колесо меканум має круглу форму.

При встановленні на транспортний засіб, прийнято використовувати єдину конфігурацію, а саме чотири колеса у вершині прямокутника (рис. 1.13). При цьому, дуже важливо впевнитись у тому, що при погляді зверху на транспортний засіб ролики утворюють хрест, а не коло.



Рисунок 1.12. Колесо меканум [20]

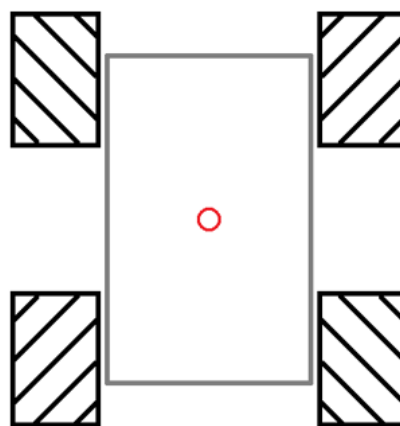


Рисунок 1.13. Звичайна конфігурація коліс меканум

Використовуючи таку конфігурацію коліс на транспортному засобі, так само можна досягти будь-якої траєкторії руху. На рисунку 1.14 зображено основні схеми обертання коліс меканум та результуючий напрям руху.

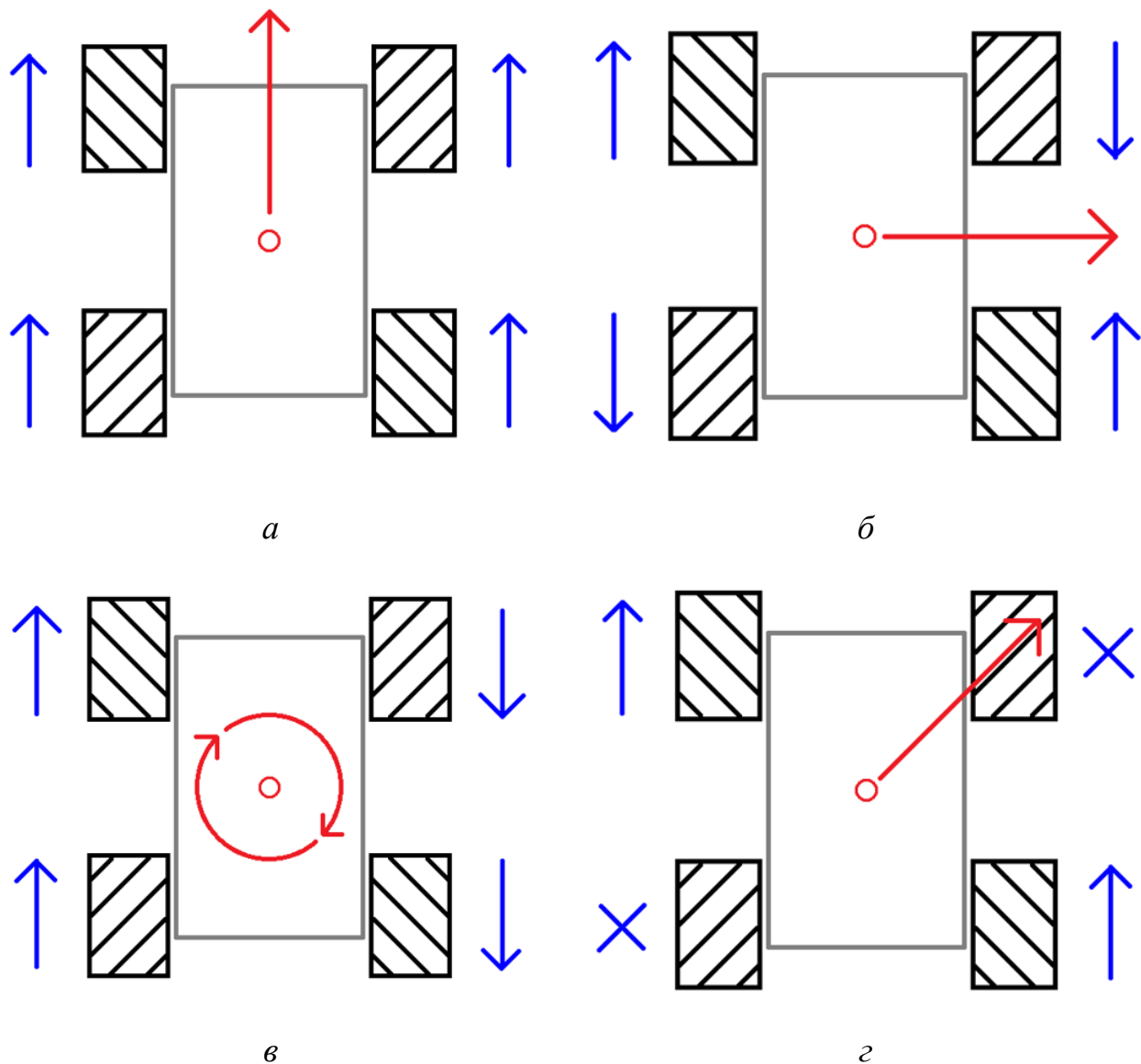


Рисунок 1.14. Основні схеми обертання коліс механум на результуючий рух транспортного засобу: *a* – вперед; *б* – вбік; *в* – по колу; *г* – по діагоналі

Так само, опираючись на ці чотири базові схеми, можна досягти абсолютно будь-якої траєкторії руху, без зміни спрямування транспортного засобу. [21]

Досягти всенаправленого руху транспортного засобу можна ще і за допомогою звичайних коліс, якщо їх зробити схожими на ті, які використовуються на візках у супермаркеті. Але в такому випадку, на кожне колесо буде приходиться по два двигуна і, як наслідок, більше інших компонентів.

Окрім коліс, існують інші способи переміщення транспортних засобів. Наприклад, за допомогою пропелерів, можна переміщувати вантажі повітрям, використовуючи ті ж самі квадрокоптери. Більш складними у використанні є механічні ноги, за допомогою яких можуть переміщуватись роботи. Прикладом такого може бути всім відомий робот-собака SPOT, розроблений компанією Boston Dynamics (рис 1.15). Можна також згадати деяких двуногих роботів, які намагаються імітувати рух людини або всіляких гексаходів на шести ногах. [22]

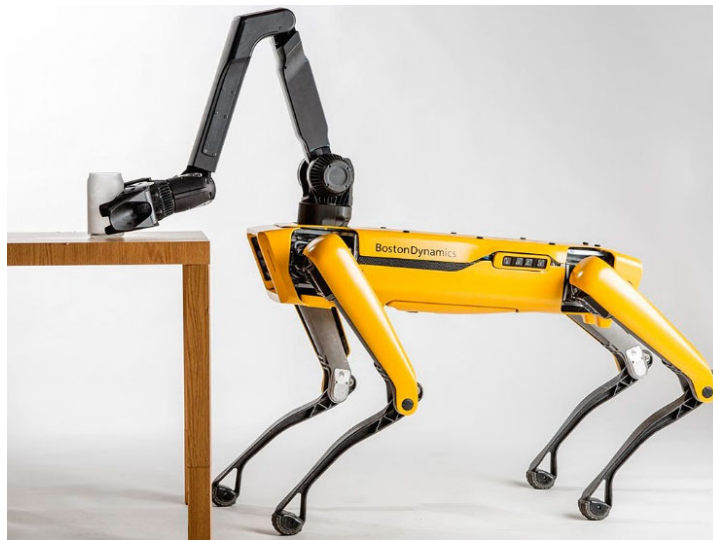


Рисунок 1.15. Робот SPOT із встановленим на нього маніпулятором [23]

Проте, такі, більш технологічні і складні у налаштуванні та керуванні, способи переміщення транспортних засобів ще не прижилися у межах виробництва, оскільки робочий простір у виробничих дільницях і складських приміщеннях достатньо рівний, і тому роботи, встановлені на колесах, виконують свою роботу набагато ефективніше.

1.3. Обґрунтування власного вибору

1.3.1. Вибір коліс для забезпечення мобільності

У межах більшості виробництв найкраще за все використовувати колеса, а не будь-який інший засіб переміщення, оскільки вони є найбільш ефективними в умовах

відносно рівних поверхонь, які наявні майже на кожному виробничому підприємстві. Транспортний засіб на колесах здатен швидко переміщуватися з однієї точки у іншу, стабільно стояти на одному місці, і при правильних налаштуваннях, точно позиціонувати себе у просторі.

Знаючи, що обирати доводиться між різними типами коліс, проведено їх порівняння.

Звичайні колеса для зміни напрямку руху потребують використання деякого поворотного механізму, тобто, збільшеної кількості приводів або двигунів, що згодом ускладнить процес керування і розробки конструкції, оскільки чим більше окремих елементів наявно – тим складніше виходить система.

Омніколеса дозволять використовувати тільки 3 двигуни і цього буде достатньо буде для переміщення транспортного засобу у будь-якому напрямі, при цьому зберігаючи, за необхідності, орієнтацію. Однак, трикутна або ж, у крайньому випадку, кругла форма транспортного засобу не дозволила зручно забезпечити всі функції, які присутні на транспортному візку.

Колеса меканум є найкращим вибором у даному випадку, оскільки вони здатні повністю забезпечити все сторонній рух транспортного засобу без зміни орієнтації, і при цьому візок буде мати прямокутну форму, що дозволило встановити певні елементи, які зможуть підвищити ефективність виробничої системи. Основною проблемою коліс меканум є неможливість їх використання на нерівних поверхнях, але, як було вказано раніше, у межах підприємства це не являється проблемою.

1.3.2. Вибір типу транспортного засобу

Автоматизований транспортний засіб зроблено універсального типу, завдяки чому його можна буде використовувати в різних точках виробництва з мінімальними змінами в конструкції і поведінці.

Концептуально, автоматизований візок має прямокутну форму. В центрі є місце для зберігання об'єктів виробництва а по краях знаходяться маніпулятори, яким можна буде змінювати захоплюючий пристрій для задоволення поточних потреб виробництва. Завдяки тому, що на одному транспортному засобі встановлено пара маніпуляторів, відпадає необхідність у тому, щоб ставити робот маніпулятор біля кожного верстату, контрольного стенду, накопичувача тощо.

Орієнтація у просторі здійснюється завдяки маячкам, розташованих у різних місцях підприємства, а також уточнюється завдяки оптичному модулю, який встановлено на самому транспортному засобі. Цей модуль зчитує інформацію про власне положення через наліпки, які розташовані на підлозі біля верстатів та інших робочих місць.

На вершині візка, між маніпуляторами, встановлено деяку платформу, яка виконує функцію накопичувача і може бути легко змінена, що забезпечує гнучкість автоматизованої транспортної системи.

Висновки за розділом 1

У цьому розділі проведено аналітичні дослідження методів транспортування, які використовуватися людством у межах виробничих підприємств. За довгий час покращень умов праці, транспортні системи еволюціонували від ручних лотків і візків, до автоматичних роботів, що дозволило людям витратити менше часу і сил на легкі, проте монотонні і необхідні операції транспортування менше часу, і присвятити більше уваги тим речам, які потребують нестандартного підходу і складнішим логічним процесам.

На сьогоднішній день вже існує багато різноманітних автоматизованих транспортних систем, які виконують різні функції. Деякі зосереджені на переміщенні вантажів у складських приміщеннях, деякі являють собою компактні та ефективні мобільні маніпулятори, а деякі є універсальними.

Методи переміщення транспортних засобів також відрізняються між собою, хоча у межах виробництв найбільш ефективними залишаються колеса. Проте людству одних коліс не було достатньо, тому було розроблено нові типи коліс, в тому числі, все направлені. До таких коліс належать омні колеса, а також колеса меканум. На ободі обох таких коліс встановлено ролики і завдяки ним вони, при правильній конфігурації, здатні переміщувати транспортний засіб у будь-якому напрямі без зміни орієнтації, якщо у цьому є потреба.

Для створення власного автоматизованого транспортного засобу обрано колеса меканум. Конструкція цього візка дозволяє гнучко транспортувати об'єкти виробництва завдяки покращеній мобільності, яку дають колеса меканум, а також завдяки змінним захватним пристроям і накопичувачу.

**II. РОЗРОБКА
КОНСТРУКЦІЇ ВІЗКА І
АЛГОРИТМІВ РОБОТИ**

2.1. Розробка конструкції транспортного візка

2.1.1. Розробка загальної конструкції

Маючи уявлення про майбутній вигляд автоматизованого транспортного візка, а також про те, які функції він буде виконувати, розпочато його розробку.

Для створення моделі автоматизованого візка використано CAD систему SolidWorks 2018, оскільки дане програмне забезпечення є одним із найзручніших для створення окремих 3D-моделей, а також повноцінних збірок, зібраних із окремих моделей. Також, у SolidWorks 2018 наявна бібліотека ToolBox, за допомогою якої можна автоматизовано та швидко створювати стандартизовані деталі. У даній бібліотеці наявні стандарти багатьох країн, розподілених по окремим папкам, що робить її дуже зручною і зрозумілою у використанні.

На рисунках 2.1 – 2.12 зображено схематичні тривимірні моделі окремих складових автоматизованого транспортного візка.

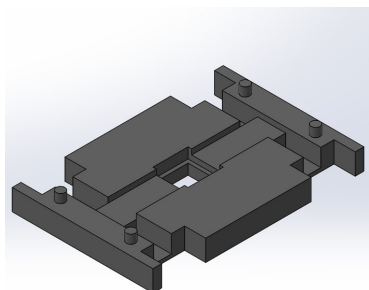


Рисунок 2.1. Основа

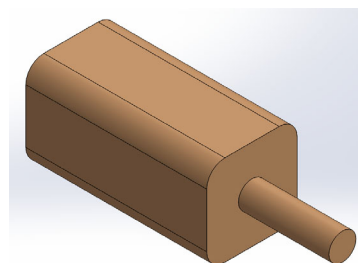


Рисунок 2.2. Колеса механум

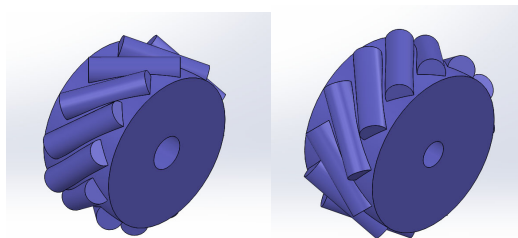


Рисунок 2.3. Колеса механум

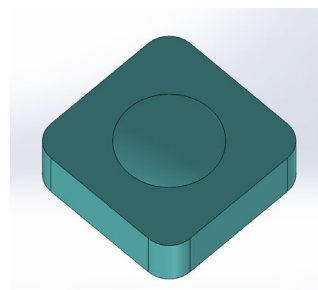


Рисунок 2.4. Оптичний модуль

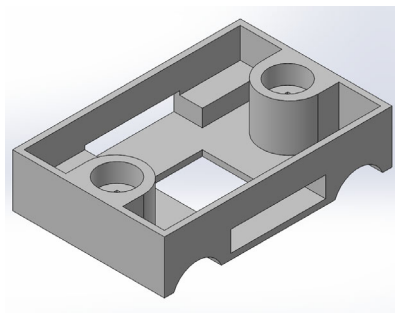


Рисунок 2.5. Корпус

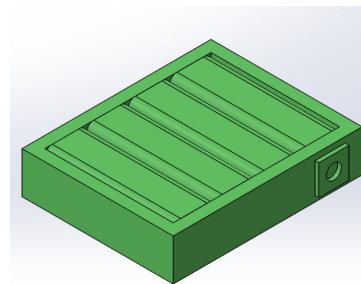


Рисунок 2.6. Акумулятор

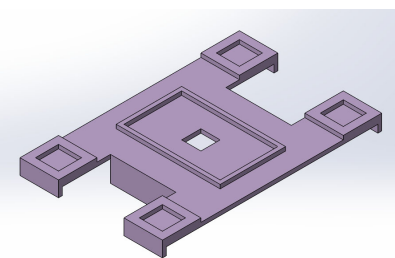


Рисунок 2.7. Підложка

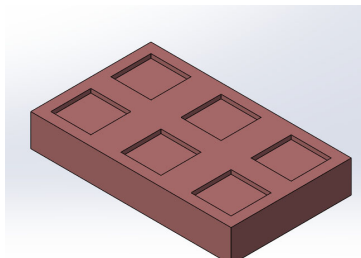


Рисунок 2.8. Блок обробки рішень

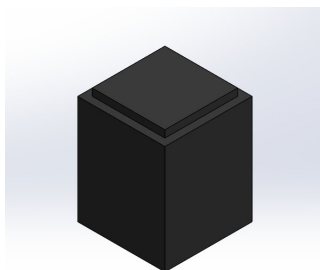


Рисунок 2.9. Модуль

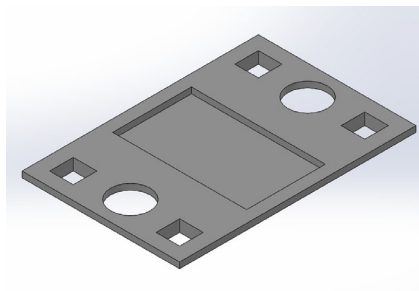


Рисунок 2.10. Кришка

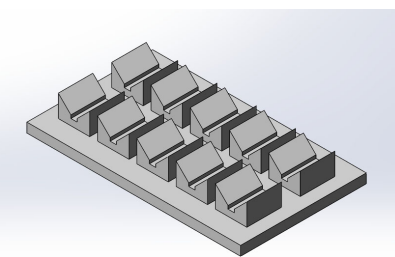


Рисунок 2.11. Накопичувач

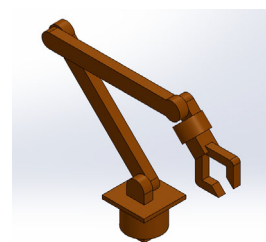


Рисунок 2.12. Маніпулятор

Використовуючи створені схематичні 3D-моделі, розроблено тривимірну модель автоматизованого транспортного візка. На рисунку 2.13 показано основні види готової моделі автоматизованого транспортного візка.

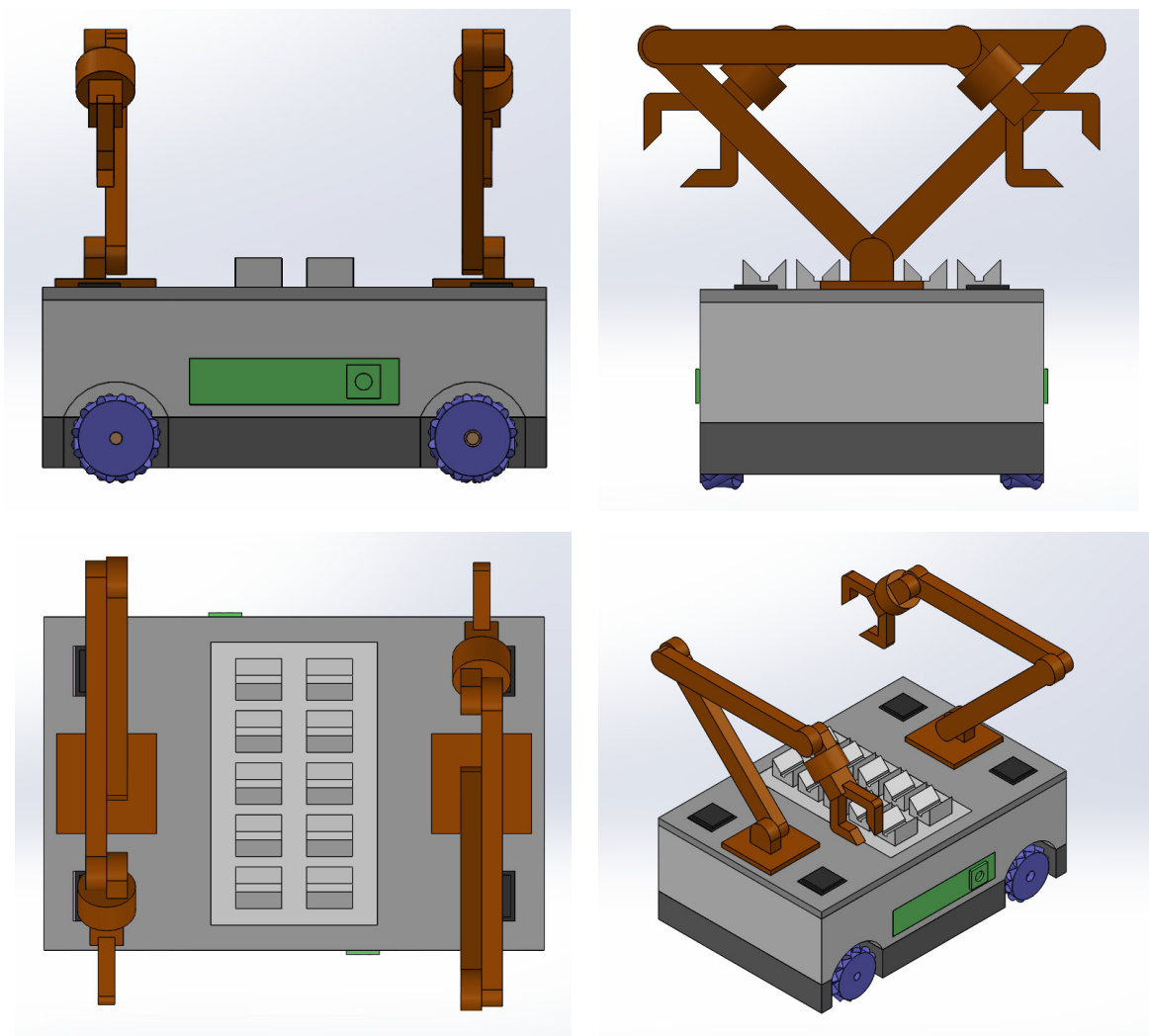


Рисунок 2.13. Основні вигляди моделі автоматизованого транспортного візка

Оскільки на загальному вигляді не видно деяких елементів конструкції автоматизованого візка, на рисунку 2.14 показано розгорнутий вигляд моделі. Оскільки це схематична модель, деякі елементи не враховано. Наприклад, на моделі не враховано кріпильні деталі та отвори для них, відсутні кабелі, проводи шини та інші елементи електроніки, проте наявні отвори та канали для них, а також є багато місця для інших елементів, які на час побудови моделі вважалися несуттєвими для схематичної моделі автоматизованого транспортного візка.

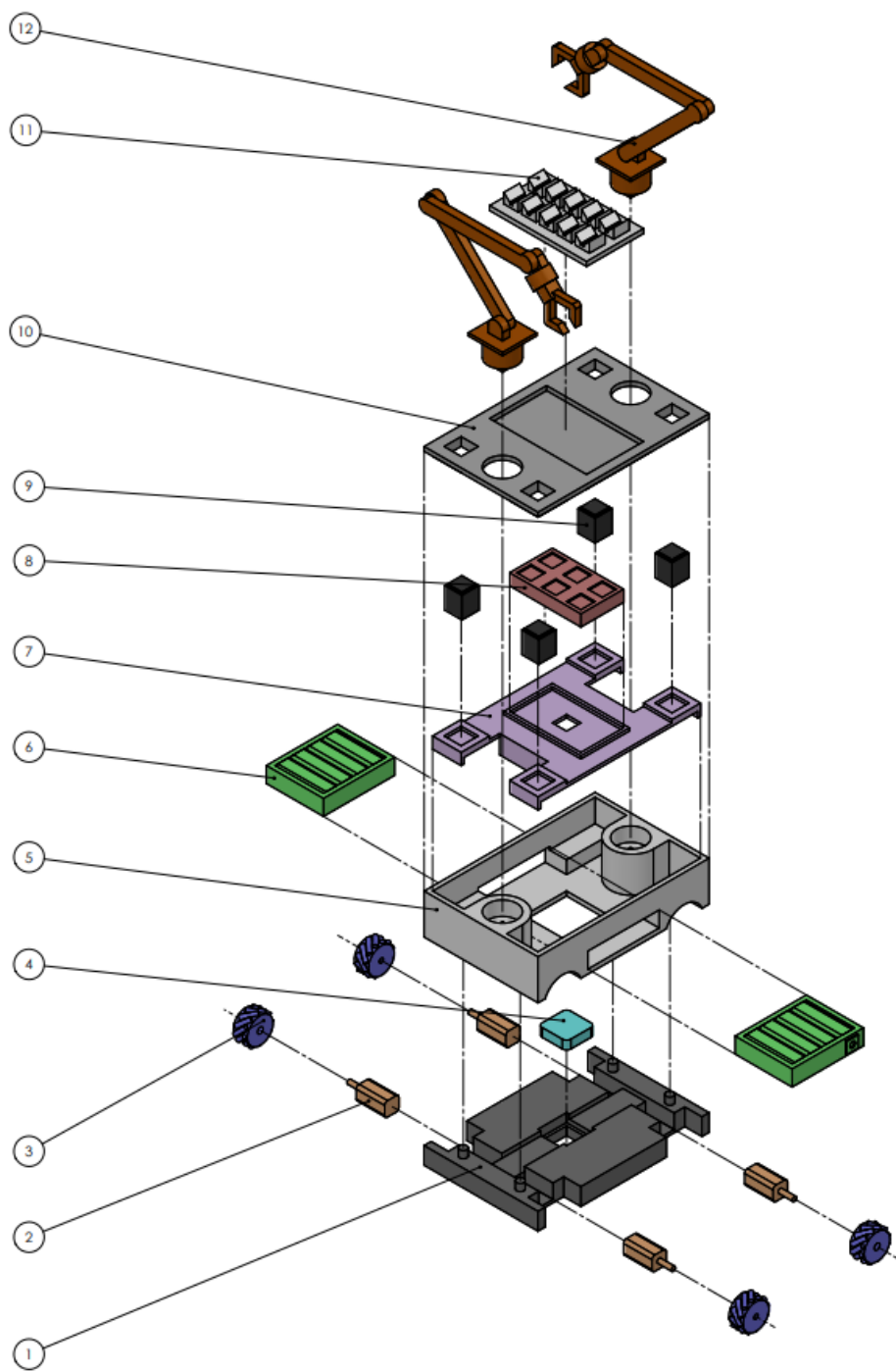


Рисунок 2.14. Розгорнута модель автоматизованого транспортного візка

Основа 1 є головною несучою частиною автоматизованого візка. На неї встановлено чотири незалежних Двигуна 2, на яких кріпляться Колеса механум 3. Як було вказано у аналітичній частині, на даному етапі, при вигляді зверху на конструкцію, ролики на Колесах механум 3 повинні утворювати хрестоподібну фігуру. В середину Основи 1 встановлюється Оптичний модуль 4, камерою вниз задля

оптичного дослідження простору під автоматизованим візком з метою більш точного визначення власного положення. Поверх Основи 1 встановлюється Корпус 5, який є основним тілом автоматизованого візка. Через бокові отвори встановлюється два Акумулятори 6 так, щоб вони мали доступ до зарядних станцій. Поверх них встановлюється Підложка 7, на яку встановлюється Блок Обробки інформації 8, а також деякі Модулі 9, які є елементами, у яких є доступ до зовнішньої частини візка. Це можуть бути модулями зв'язку з оператором, модулями налаштування логіки візку, радіомодуль для отримання інформації від маячків, тощо. Після встановлення внутрішніх елементів, на Корпус 5 встановлюється Кришка 10, у якій наявні отвори для модулів. На кришку встановлюється Накопичувач 11. На виробництвах можуть бути деталі різних форм, і форма базових поверхонь накопичувача може змінюватися, тому він повинен достатньо легко змінюватися. У двох останніх отворах залишилося місце для встановлення Маніпуляторів 12. Деталь може мати комплексну форму, тому одного маніпулятора може бути недостатньо, що задовольнити потреби виробництва.

Теоретично, замість деяких модулів можна становити більше маніпуляторів, якщо модифікувати форму Корпусу 5 і Підложки 7 але тут варто знати міру, оскільки більше – не завжди означає краще.

Габарити та важливі розміри розробленої схематичної конструкції візка показано у Додатку А.

2.1.2. Розробка конструкції колеса механум

Більше уваги варто виділити конструкції коліс механум, які використовуються для забезпечення мобільності автоматизованого транспортного візка. Так само, як і для схематичних моделей окремих елементів транспортного візка, для розробки детальних тривимірних моделей і креслень деталей, які є складовими коліс механум, використано систему CAD, SolidWorks 2018.

На рисунках 2.15 – 2.19 зображено нестандартизовані деталі, які використовуються у конструкції.

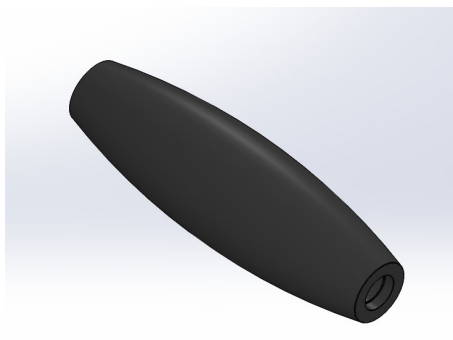


Рисунок 2.15. Ролик

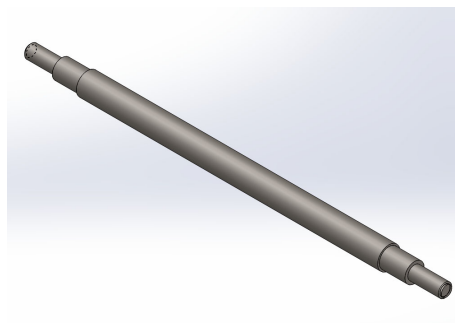


Рисунок 2.16. Вісь

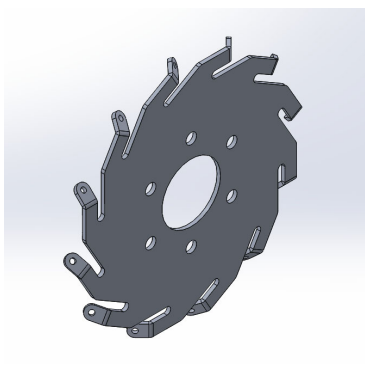


Рисунок 2.17. Панель

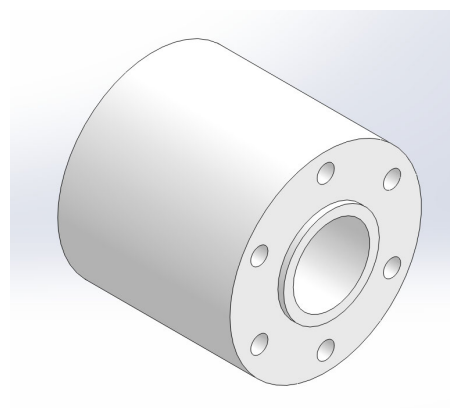


Рисунок 2.18. Центр

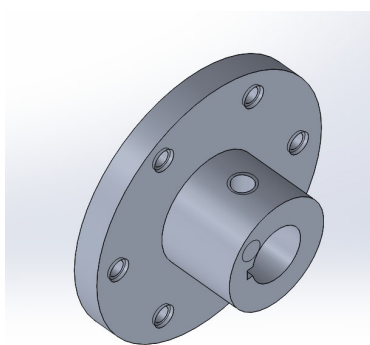


Рисунок 2.19. Кріплення

Окрім вищепоказаних деталей, у збірці колеса механум використовуються стандартизовані деталі, а саме Гайки М4 ГОСТ 5915-70, Болти М8х120 ГОСТ 7798-70, а також Підшипники 27-6 ГОСТ 8338-75. Колесо механум у зібраному вигляді зображено на рисунку 2.20.

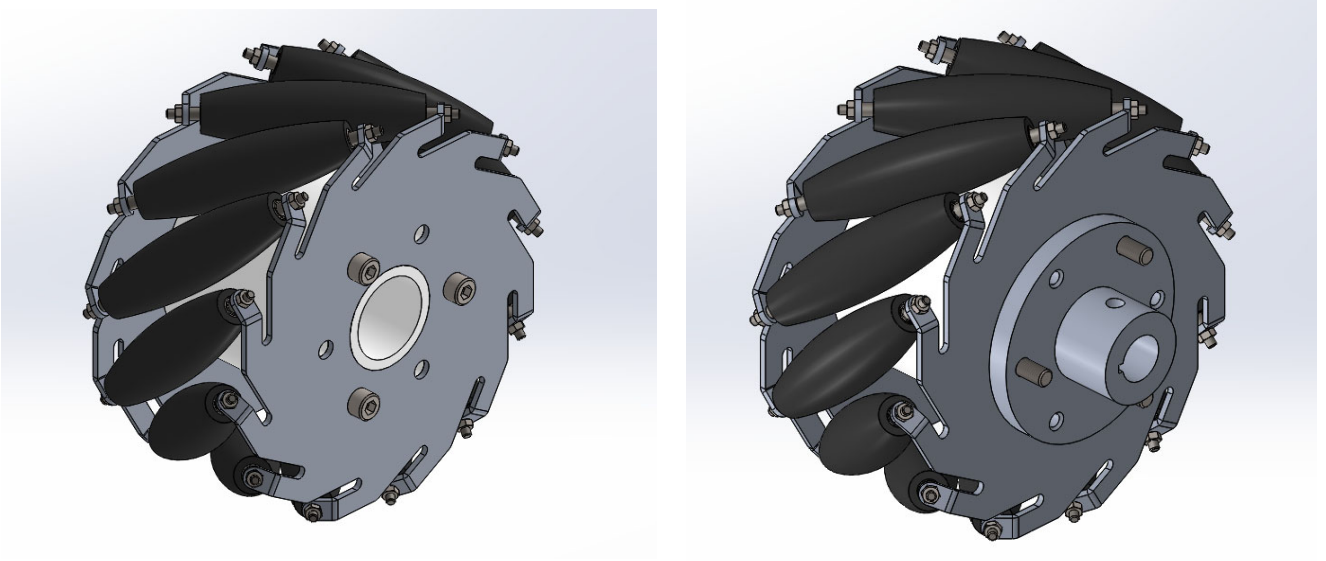


Рисунок 2.20. Колесо механум для автоматизованого транспортного візка

На рисунку 2.21 показано колесо механум в розгорнутому вигляді.

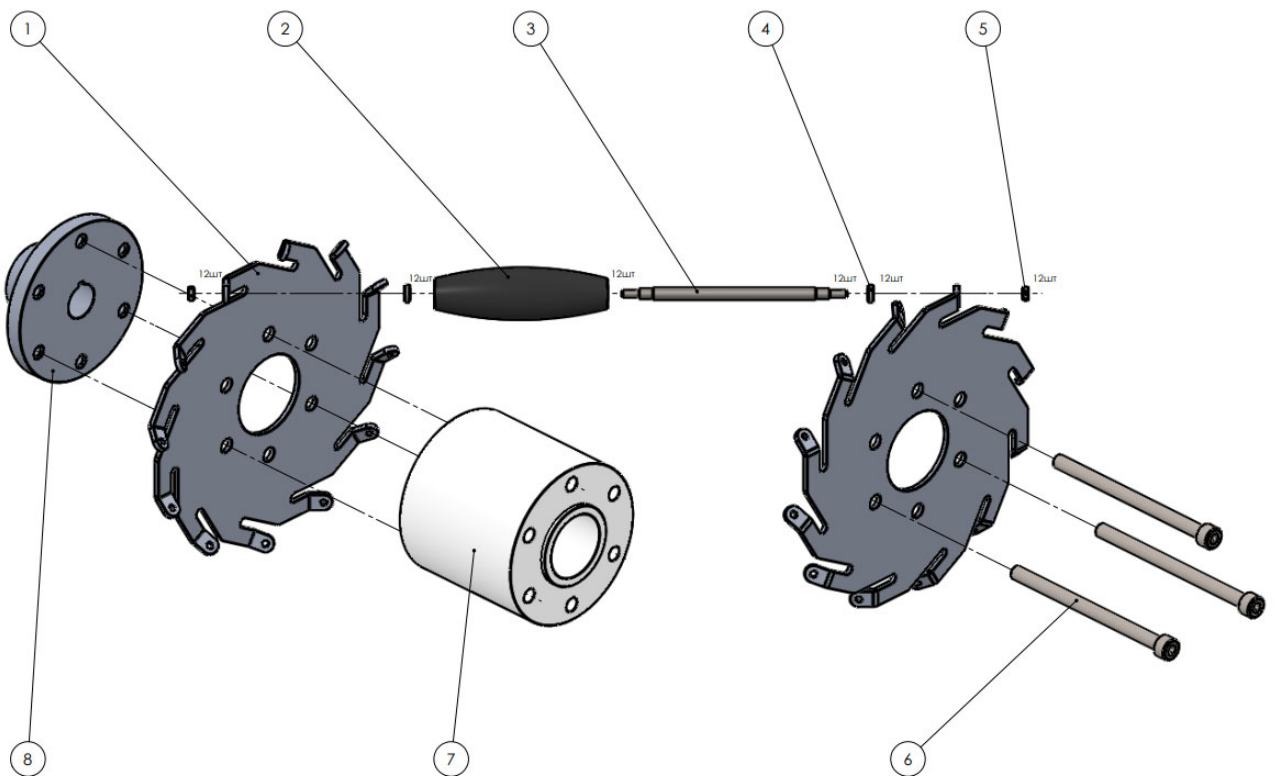


Рисунок 2.21. Колесо механум в розгорнутому вигляді.

Між двома Панелями 1, концентрично до кожного отвору, які знаходяться на відігнутих частинах панелі, закріплено Ролики 2 так, що вони можуть вільно обертатися навколо своєї осі. Це досягається завдяки Підшипникам 4, які поєднують між собою Ролики 2 та Осі 3 в одну складальну одиницю, яка потім закріплюється між двома Панелями 1 за допомогою Гайок 4.

Між двома панелями знаходиться Центр 7, завдяки якому витримується необхідна відстань між панелями. На одній із панелей встановлюється Кріплення 8, яке закріплюється за допомогою Болтів 6, які проходять через обидві панелі, а також Центр 7.

Розроблене колесо механум спроектовано саме під розроблений автоматизований транспортний візок, хоча його конструкція може нагадувати загальноприйняті існуючі аналоги. [24]

Отже, у даному підрозділі розроблено схематичну конструкцію автоматизованого транспортного візка, а також детальну конструкцію коліс механум, на які встановлено візок, використовуючи CAD систему SolidWorks 2018, що дозволить в подальшому розрахувати рівняння руху саме для розробленого автоматизованого транспортного візка.

Креслення розробленого колеса механум показано у Додатку Б.

2.2. Розрахунок кінематики транспортного візка

2.2.1. Вирішення задач кінематики

Оскільки на візок встановлено на колеса механум, то і кінематика такого транспортного засобу не буде схожа на таку, яка звична багатьом людям. Завдяки рушійним силам, які виникають завдяки роликам, розташованим під кутом до осі обертання, транспортний засіб здатен переміщуватися у просторі без зміни орієнтації.

Вже було проведено дослідження кінематики транспортних засобів на колесах меканум. Загалом, на рисунку 2.22. показано, які параметри можна визначити при описі положення автоматизованого візка у просторі. Знаючи взаємозв'язок між окремими параметрами, є можливість визначити напрям і швидкість переміщення транспортного засобу, знаючи обертову швидкість, прикладену до кожного окремого колеса меканум і навпаки.

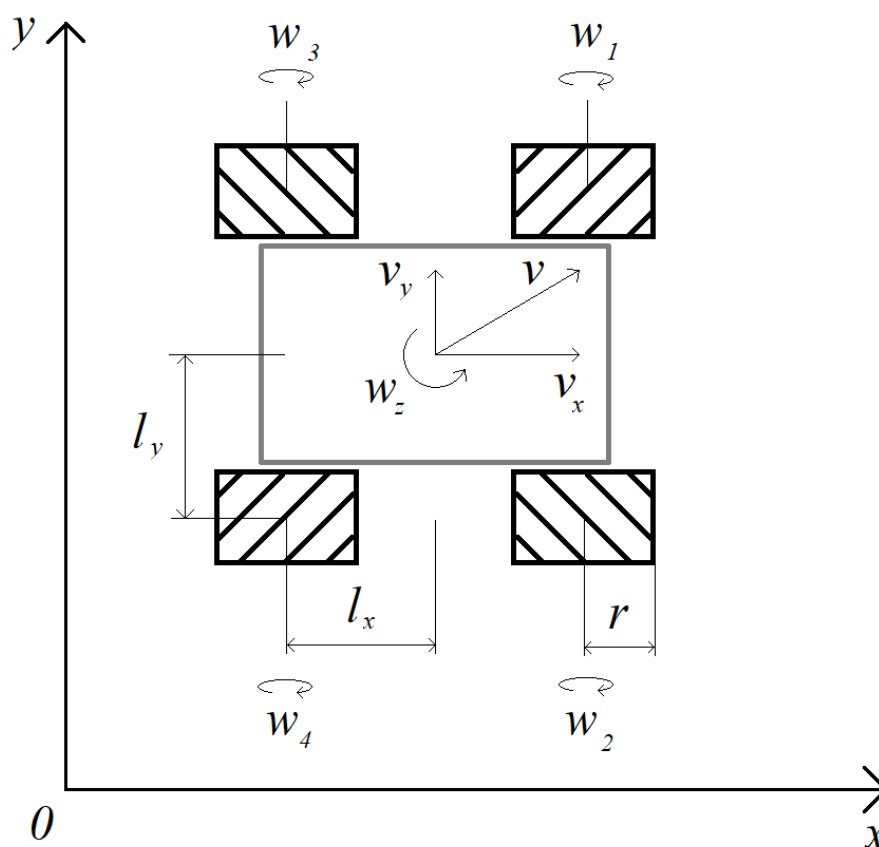


Рисунок 2.22. Параметри транспортного засобу на колесах меканум для розрахунку його кінематики

Як розраховано у [25], для вирішення задачі прямої кінематики, тобто, визначення кутової швидкості обертання кожного окремого колеса меканум, достатньо використати наступні формули:

$$\begin{cases} \omega_1 = \frac{1}{r} (v_x - v_y - \omega_z(l_x + l_y)) \\ \omega_2 = \frac{1}{r} (v_x + v_y + \omega_z(l_x + l_y)) \\ \omega_3 = \frac{1}{r} (v_x + v_y - \omega_z(l_x + l_y)) \\ \omega_4 = \frac{1}{r} (v_x - v_y + \omega_z(l_x + l_y)) \end{cases} \quad (2.1)$$

В той же час, для вирішення зворотної задачі кінематики, тобто визначення повздовжньої, поперечної та кутової швидкості транспортного засобу, необхідно використовувати такі формули:

$$\begin{cases} v_x = \frac{r}{4} (\omega_1 + \omega_2 + \omega_3 + \omega_4) \\ v_y = \frac{r}{4} (-\omega_1 + \omega_2 + \omega_3 - \omega_4) \\ \omega_z = \frac{r}{4(l_x + l_y)} ((-\omega_1 + \omega_2 - \omega_3 + \omega_4)) \end{cases} \quad (2.2)$$

На рисунку 2.23. представлено всі необхідні параметри для вирішення задач кінематики. На даному рисунку зображено візок у вигляді зверху, але корпус і все, що знаходиться вище, приховано.

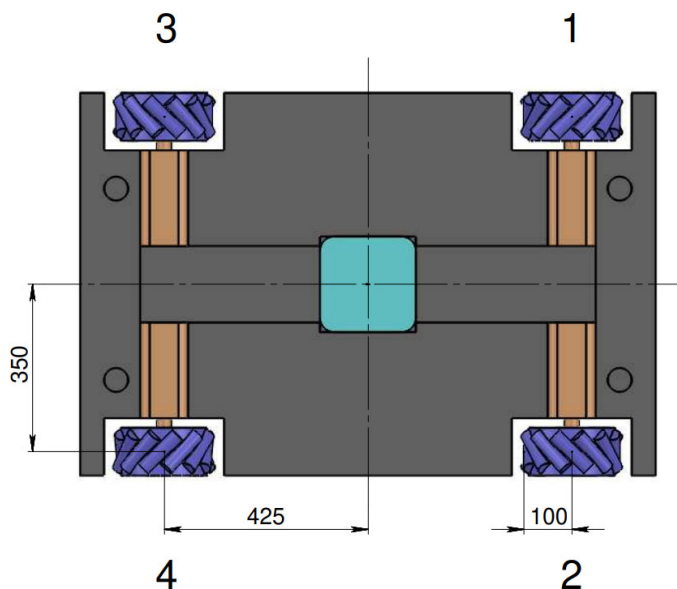


Рисунок 2.23. Параметри розробленого автоматизованого візка на колесах меканум для розрахунку його кінематики

Отже, для розробленого автоматизованого візка необхідно використовувати наступні формули для вирішення задач кінематики:

Пряма задача:

$$\begin{cases} \omega_1 = \frac{1}{0,1} (v_x - v_y - \omega_z(0,425 + 0,35)) \\ \omega_2 = \frac{1}{0,1} (v_x + v_y + \omega_z(0,425 + 0,35)) \\ \omega_3 = \frac{1}{0,1} (v_x + v_y - \omega_z(0,425 + 0,35)) \\ \omega_4 = \frac{1}{0,1} (v_x - v_y + \omega_z(0,425 + 0,35)) \end{cases} \quad (2.3)$$

$$\begin{cases} \omega_1 = 10(v_x - v_y - 0,775 \omega_z) \\ \omega_2 = 10(v_x + v_y + 0,775 \omega_z) \\ \omega_3 = 10(v_x + v_y - 0,775 \omega_z) \\ \omega_4 = 10(v_x - v_y + 0,775 \omega_z) \end{cases} \quad (2.4)$$

Зворотна задача:

$$\begin{cases} v_x = \frac{0,1}{4} (\omega_1 + \omega_2 + \omega_3 + \omega_4) \\ v_y = \frac{0,1}{4} (-\omega_1 + \omega_2 + \omega_3 - \omega_4) \\ \omega_z = \frac{0,1}{4(0,425+0,35)} (-\omega_1 + \omega_2 - \omega_3 + \omega_4) \end{cases} \quad (2.5)$$

$$\begin{cases} v_x = 0,025(\omega_1 + \omega_2 + \omega_3 + \omega_4) \\ v_y = 0,025(-\omega_1 + \omega_2 + \omega_3 - \omega_4) \\ \omega_z = 0,032258(-\omega_1 + \omega_2 - \omega_3 + \omega_4) \end{cases} \quad (2.6)$$

Визначення кутової швидкості кожного окремого колеса для безпечної, проте ефективної швидкості переміщення автоматизованого транспортного візка, яка становить $v = 2$ м/с (7,2 км/год):

$$\omega_1 + \omega_2 + \omega_3 + \omega_4 = \frac{4v_x}{r} \quad (2.7)$$

$$4 \omega = \frac{4 \cdot 2}{0.1} \quad (2.8)$$

$$\omega = 20 \frac{\text{рад}}{\text{с}} \quad (2.9)$$

Визначення максимальної кількості обертів, при радіусі кожного колеса меканум, який становить 100 мм:

$$n = \frac{\omega}{2\pi} = \frac{20}{2\pi} = 3.1831 \frac{\text{об}}{\text{с}} = 191 \frac{\text{об}}{\text{хв}} \quad (2.10)$$

Отже, у даному підрозділі, використовуючи формули, попередньо виведеними іншими дослідниками, розраховано формули для вирішення прямої та зворотної задач кінематики автоматизованого транспортного засобу на колесах меканум., що дозволить у подальшому точно нівелювати просторові похибки положення, а також ефективно оптимізувати процес переміщення автоматизованого транспортного візка.

2.3. Розробка алгоритму роботи системи транспортування

2.3.1. Загальний алгоритм роботи

Уявляючи, як загалом має працювати система транспортування, розроблено загальний алгоритм роботи автоматизованого транспортного візка. Блок-схему загального алгоритму показано на рисунку 2.24.

Розроблена система працює циклами, а вже кожний цикл являє собою логічний ланцюг деяких схожих операцій.

1. Цикл починається у момент, коли розроблений автоматизований транспортний візок опиняється біля необхідного робочого місця. Робочим місцем у даному випадку може слугувати верстат, накопичувач, контрольний стенд, тощо.
2. За допомогою датчиків перевіряється поточне положення візка у просторі
3. Проводиться перевірка, чи знаходиться візок у межах допустимої похибки. Якщо похибка в допустимих межах, тоді цикл продовжується (пункт 5). В інакшому випадку, визначається величина зміщення, а саме повздовжня, поперечна та кутова похибка (рис. 2.25).

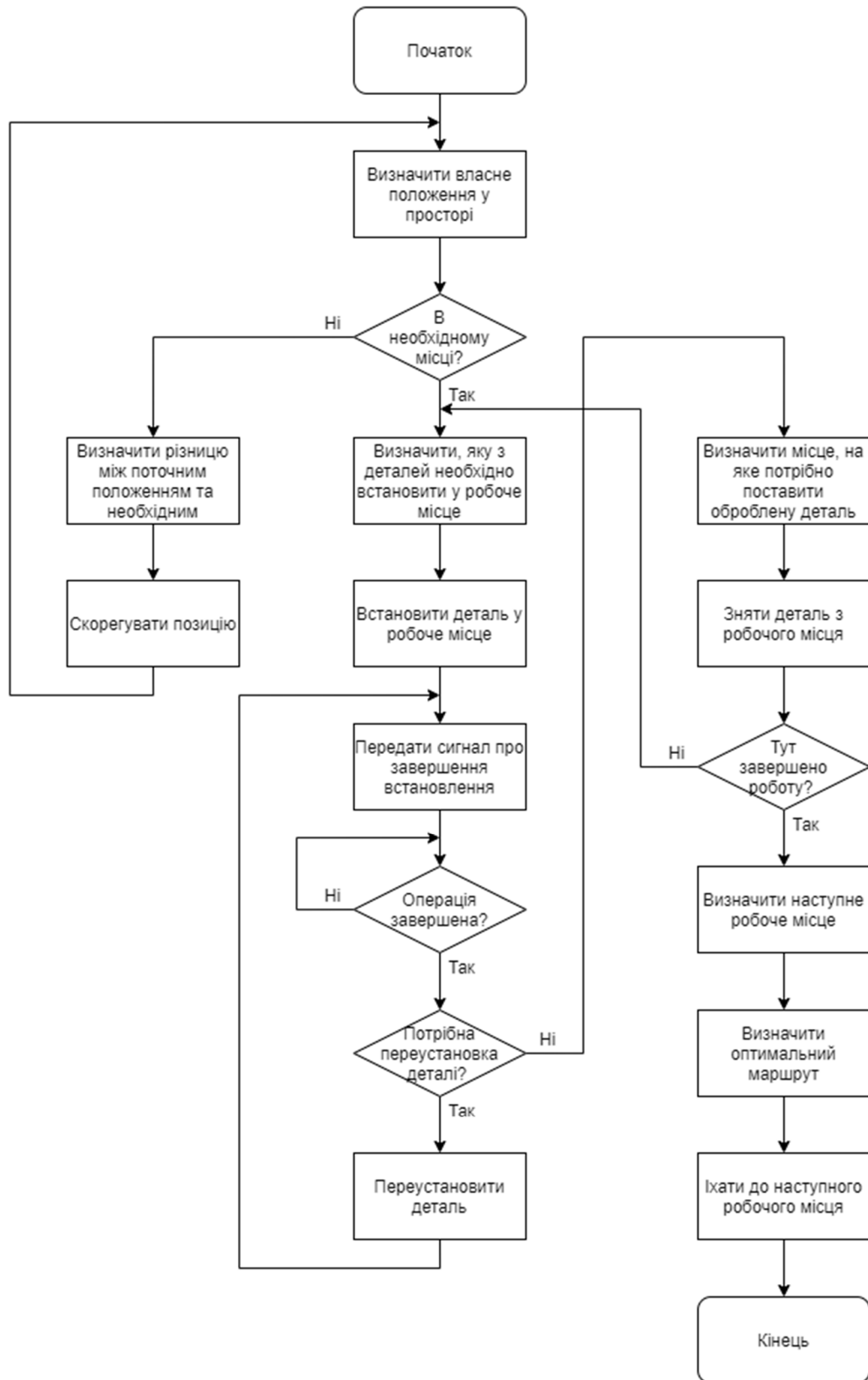


Рисунок 2.24. Загальний алгоритм роботи автоматизованої системи транспортування.

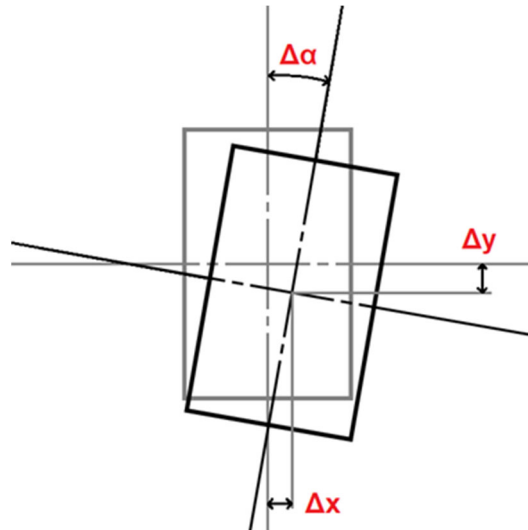


Рисунок 2.25. Повздовжня, поперечна та кутова похибка

4. За отриманими величинами вирішується пряма задача кінематики і визначається кутова швидкість кожного окремого колеса і те, скільки часу повинні обертатися колеса, щоб максимально швидко та точно мінімізувати похибку. Після цього, щоб уникнути можливих помилок в роботі системи, знову перевіряється положення візка у просторі (пункт 2).
5. Переконавшись, що візок достатньо точно стоїть в необхідному місці, визначається, яку саме деталь із тих, яка лежить на власному накопичувачі, необхідно встановити у поточне робоче місце.
6. Визначивши необхідну деталь, а також отримавши дані про те, як саме повинна бути закріплена деталь, обирається необхідний маніпулятор, а потім деталь встановлюється на робоче місце.
7. Передавши виробничій системі сигнал про завершення встановлення, візок починає очікувати сигнал про завершення операції або переходу на цьому робочому місці.
8. При отриманні сигналу, візок перевіряє, необхідно знати деталь чи переустановити її. Якщо завершено операції, цикл продовжується (пункт 9), а в іншому випадку, деталь необхідно переустановити (пункт 7).
9. Визначивши місце на власному накопичувачі, на яке необхідно встановити деталь, деталь знімається з робочого місця.

10. Проводиться перевірка, чи є необхідність у повторюванні роботи на цьому ж робочому місці. Якщо тут роботу завершено, то цикл продовжується (пункт 11). В інакшому випадку, з'являється необхідність повторити частину циклу (пункт 5).
11. Визначається місце наступного робочого місця.
12. Проводиться виріб найкращого маршруту, а також його оптимізація, якщо потрібно
13. Відбувається переміщення автоматизованого візка до наступного робочого місця
14. Коли візок досягає наступного робочого місця, цикл завершується.

2.3.2. Алгоритм завантаження і розвантаження деталей

У Пункті 5 проводиться вибір деталей, які необхідно встановити у робоче місце, проте алгоритм вибору потребує деякого уточнення. Тому, на розроблено блок-схеми алгоритму керування деталями, які знаходяться на власному накопичувачі. Хоча вони схожі, алгоритми керування деталями розподілено на дві частини. Одна відповідає за завантаження накопичувач деталями, а інший – за розвантаження. На рисунку 2.26. показано алгоритм завантаження.

Розроблений алгоритм починає виконуватися кожного разу, коли у ньому виникає потреба, а не циклічно, як це було із загальним алгоритмом.

1. При виклику цього алгоритму виконується перевірка, яка саме операція буде виконуватися у даний момент часу.
2. Знаючи, скільки деталей можна максимально завантажити у накопичувач, який у даний момент часу встановлений на автоматизованому транспортному візку, починається цикл перевірки кожної комірки.



Рисунок 2.26. Алгоритм завантаження комірок

3. Спочатку проводиться перевірка, чи не зайнята дана комірка іншою деталлю. Якщо комірка вільна, алгоритм продовжується (пункт 4), а в іншому випадку, з даною коміркою справу завершено і можна перейти до наступної (пункт 2).
4. Впевнившись, що комірка вільна, надсилається сигнал що потрібно встановлювати деталь саме в цю комірку.
5. Встановленій деталі присвоюється певний індекс, який залежить від того, з якого робочого місця знято деталь. Наприклад, якщо деталь знято з верстату,

то їй присвоюється індекс, який відповідає номеру операції, яку було завершено на даному верстаті, а якщо деталь знято із контрольного стенду, їй можуть присвоїти 3 різні індекси:

- a. Після операції N характеристики в нормі;
 - b. Після операції N виник брак, але його можна виправити;
 - c. Після операції N виник невиправний брак;
6. Встановивши всі необхідні деталі на даному робочому місці, надсилається сигнал про завершення.

На рисунку 2.27. показано алгоритм розвантаження комірок.

Так само як і з завантаженням, даний алгоритм викликається тільки якщо виникає така необхідність.

1. При виклику алгоритму також перевіряється, яка саме операція буде виконуватися на поточному робочому місці.
2. Для кожної комірки, яка є на встановленому накопичувачі, проходить перевірка.
3. Спочатку перевіряється, чи є деталь у даній комірці. Якщо деталь є, то алгоритм продовжується (пункт 4), а в інакшому випадку починається перевірка наступної комірки (пункт 2).
4. Потім проводиться перевірка, чи підходить поточний індекс деталі до операції, яка проходить на даному робочому місці. Якщо індекс підходить, алгоритм продовжується (пункт 5), а в інакшому випадку, починається перевірка наступної комірки (пункт 3).
5. Впевнившись, що індекс деталі у даній комірці відповідає тому, який повинен зараз виконуватися на цьому робочому місці, передається сигнал про те, що цю деталь можна встановлювати і алгоритм завершується.

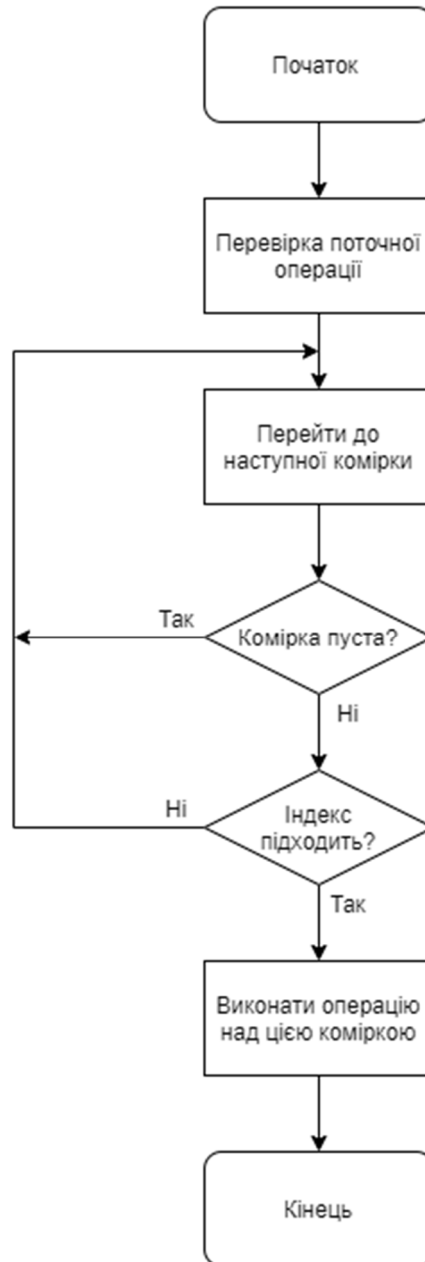


Рисунок 2.27. Алгоритм розвантаження комірок

Отже, у даному підрозділі спроектовано загальний алгоритм роботи автоматизованої системи транспортування та алгоритм керування деталями, встановленими на індивідуальному накопичувачі, на основі яких в подальшому розроблено програму керування автоматизованим транспортним візком.

Висновки за розділом 2

У теоретичному розділі спроектовано загальні конструкції автоматизованого транспортного засобу та коліс механум, розраховано результуючі формули для вирішення задач кінематики, а також розроблено алгоритми роботи транспортної системи.

Спроектowana конструкція візка дозволить з достатньою гнучкістю виконувати транспортувальні операції, а колеса механум, власноруч розроблені спеціально під конструкцію візка, дозволять оперативно переміщуватися між робочими місцями, а також швидко і точно виправляти похибки власного розташування у просторі, які з тих чи інших причин виникають під час їзди.

Формули для вирішення задач кінематики дозволять точно визначати, як швидко і у якому напрямі необхідно обертати колеса механум, щоб виправити утворені похибки розташування.

Розроблені алгоритми роботи автоматизованої транспортної системи дозволять транспортній системі автоматично виконувати операції транспортування в залежності від завантажених даних, а відносна простота дозволить оператору прозоро контролювати процес. Алгоритми керування деталями, дозволять системі самостійно впорюватися з декількома окремими деталями, не потребуючи допомоги від оператора.

III. ОПТИМІЗАЦІЯ І РОЗРОБКА ПРОГРАМНОГО ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ

3.1. Реалізація алгоритму роботи автоматизованої системи

3.1.1. Визначення відносного положення візка

Загальний алгоритм роботи автоматизованої транспортної системи починається з того, що визначається положення автоматизованого транспортного візка у просторі.

Для точного визначення відхилення візка використовується бортова камера, розташована на нижній частині візка. Вона зчитує зображення, яке знаходиться на підлозі біля робочого місця, і завдяки ньому визначає кількісне значення відхилення. Даний спосіб дозволяє виправляти похибку у межах декількох сантиметрів.

Якщо ж камера не бачить зображення, то це означає, що відхилення візка занадто велике і необхідно спочатку визначити більш грубе положення, але при цьому охоплюючи велику зону біля робочого місця. Найбільш зручним засобом для вирішення такої задачі є використання системи визначення положення об'єкту за допомогою ультразвукової локації.

Основними перевагами даної системи є висока точність, яка дозволяє визначити положення об'єкту в приміщенні з точністю до трьох сантиметрів, а також простота використання. Декілька датчиків, розташованих у кутках, достатньо для того, щоб повністю охопити приміщення, при чому вони потребують мінімального обслуговування і навіть мають можливість працювати дистанційно, у бездротовому режимі. [26]

На самі об'єкти встановлюються невеличкі датчики-антени, за допомогою яких відбувається зв'язок з системою.

У випадку розробленої автоматизованої транспортної системи, на кожен візок необхідно встановити по дві антени, завдяки чому можна буде визначити не тільки приблизне положення автоматизованого візка у просторі, а ще і його орієнтацію. Якщо розмістити антени в середині модулів, які знаходяться над колесами механізмів 2 та 3, то утвориться деякий відрізок, середина якого буде визначати центр

автоматизованого транспортного візка (рис 3.1). Знаючи координати антен можна розрахувати координати центру візка, а також кут, який утворюється між діагоналлю і вектором орієнтації, завдяки чому можна визначити поточне положення візка у приміщенні та його орієнтацію.

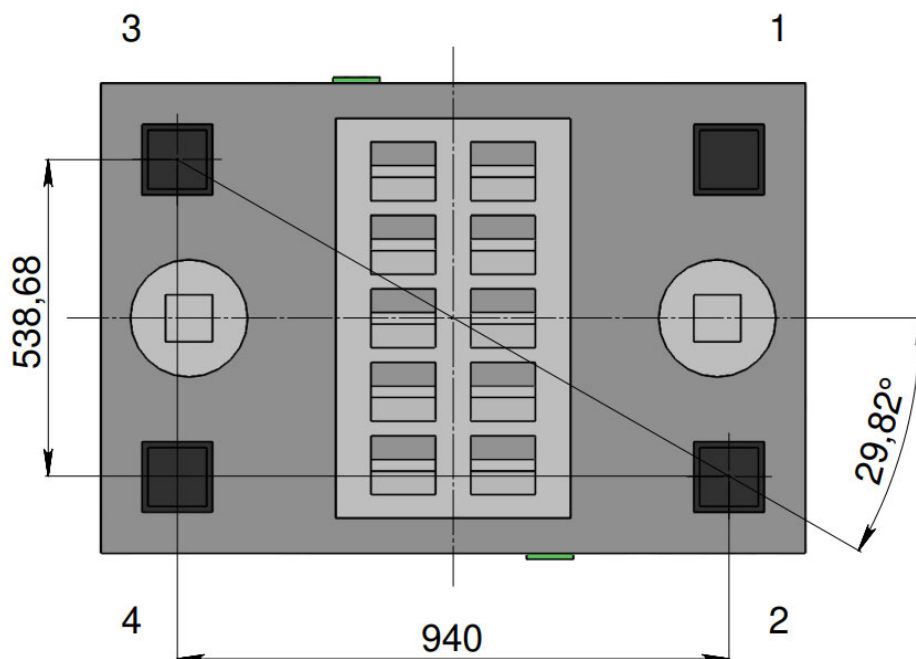


Рисунок 3.1. Відстані та кут, які утворюються двома антенами

Для визначання положення та орієнтації автоматизованого транспортного візка, необхідно розв'язати наступну задачу: дано координати точки А, що відповідає координатам антени, розміщеній над колесом 3, а також координати точки В, що відповідає координатам антени, розміщеній над колесом 2. Необхідно визначити координати точки С, що відповідає центру автоматизованого транспортного візка, яка знаходиться по середині відрізка АВ, а також визначити координати напрямку одиничного вектору \bar{a} , що виходить з точки С і нахилений до відрізка АВ під заданим кутом α (рис. 3.2).

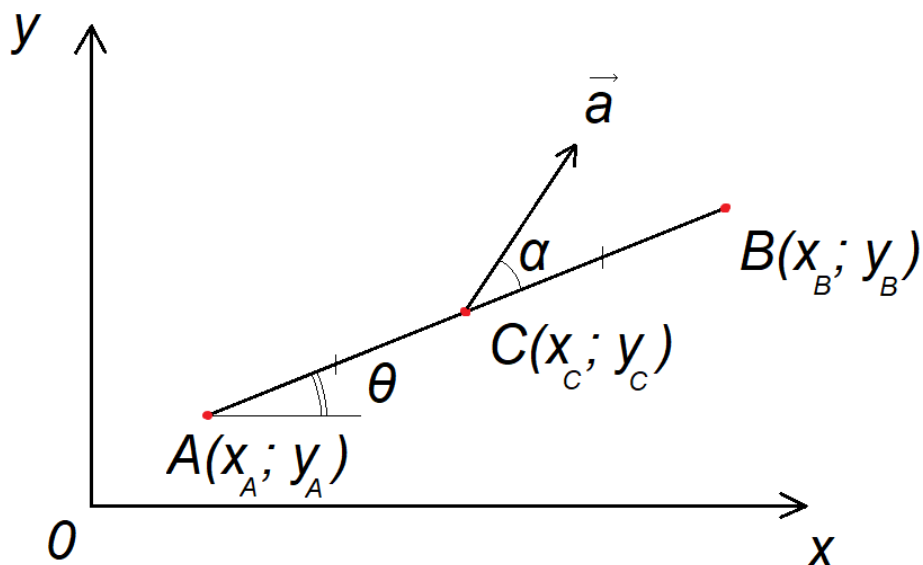


Рисунок 3.2. Задача визначення положення і орієнтації, маючи координати точок А і В.

Маючи координати точок А і В можна достатньо просто визначити координати точки С за формулою:

$$x_C = \frac{x_A + x_B}{2}, \quad (3.1)$$

$$y_C = \frac{y_A + y_B}{2}, \quad (3.2)$$

Де x_A та y_A – координати точки А, а x_B та y_B – координати точки В

Таким чином, можна визначити координати центру автоматизованого транспортного візка в приміщенні.

Наступне, необхідно визначити координати одиничного вектору \vec{a} . Хоча, початок вектору знаходиться у точці С, координати напрямку цього вектору рахуються від початку осі координат, тобто у точці (0; 0). Тому, для визначення напрямку вектору достатньо визначити кут, під яким він нахилений до осі абсцис. Цей кут складається із куту α , який дорівнює 29.815° , а також деякого куту θ , який характеризує нахил прямої АВ до осі абсцис (рис. 3.3, а).

Кут θ визначається як арктангенс кутового коефіцієнта прямої, за формулою:

$$\theta = \operatorname{arctg}(k) = \operatorname{arctg}\left(\frac{\Delta y}{\Delta x}\right) = \operatorname{arctg}\left(\frac{y_B - y_A}{x_B - x_A}\right) \quad (3.3)$$

При цьому, якщо $y_A > y_B$, до цього куту необхідно додати 180° , оскільки рівняння прямої залишиться таким самим, але фактичний кут θ буде більший.

Тому, координати одиничного вектору \bar{a} визначаються як косинус на синус кута нахилу вектору (рис 3.3, б), за формулами:

$$\begin{aligned} x_{\bar{a}} &= \cos(\alpha + \theta) = \cos\left(\alpha + \operatorname{arctg}\left(\frac{y_B - y_A}{x_B - x_A}\right)\right) = \\ &= \cos\left(29,815^\circ + \operatorname{arctg}\left(\frac{y_B - y_A}{x_B - x_A}\right)\right) \text{ при } y_A < y_B \end{aligned} \quad (3.4)$$

$$\begin{aligned} y_{\bar{a}} &= \sin(\alpha + \theta) = \sin\left(\alpha + \operatorname{arctg}\left(\frac{y_B - y_A}{x_B - x_A}\right)\right) = \\ &= \sin\left(29,815^\circ + \operatorname{arctg}\left(\frac{y_B - y_A}{x_B - x_A}\right)\right) \text{ при } y_A < y_B \end{aligned} \quad (3.5)$$

Або ж:

$$x_{\bar{a}} = \cos\left(209,815^\circ + \operatorname{arctg}\left(\frac{y_B - y_A}{x_B - x_A}\right)\right) \text{ при } y_A > y_B \quad (3.6)$$

$$y_{\bar{a}} = \sin\left(209,815^\circ + \operatorname{arctg}\left(\frac{y_B - y_A}{x_B - x_A}\right)\right) \text{ при } y_A > y_B \quad (3.7)$$

Отже, за отриманими координатами антен, розміщених у модулях над колесами 2 та 3, які вважаються точками В та А відповідно, можна визначити місце розташування автоматизованого транспортного візка через його центр, що відповідає точці С, а також орієнтацію, що відповідає вектору \bar{a} . Координати точки С та вектору \bar{a} виглядають наступним чином:

$$C\left(\frac{x_A + x_B}{2}; \frac{y_A + y_B}{2}\right)$$

При $y_A < y_B$:

$$\vec{a}\left(\cos\left(29,815^\circ + \arctg\left(\frac{y_B - y_A}{x_B - x_A}\right)\right); \sin\left(29,815^\circ + \arctg\left(\frac{y_B - y_A}{x_B - x_A}\right)\right)\right)$$

При $y_A > y_B$:

$$\vec{a}\left(\cos\left(209,815^\circ + \arctg\left(\frac{y_B - y_A}{x_B - x_A}\right)\right); \sin\left(209,815^\circ + \arctg\left(\frac{y_B - y_A}{x_B - x_A}\right)\right)\right)$$

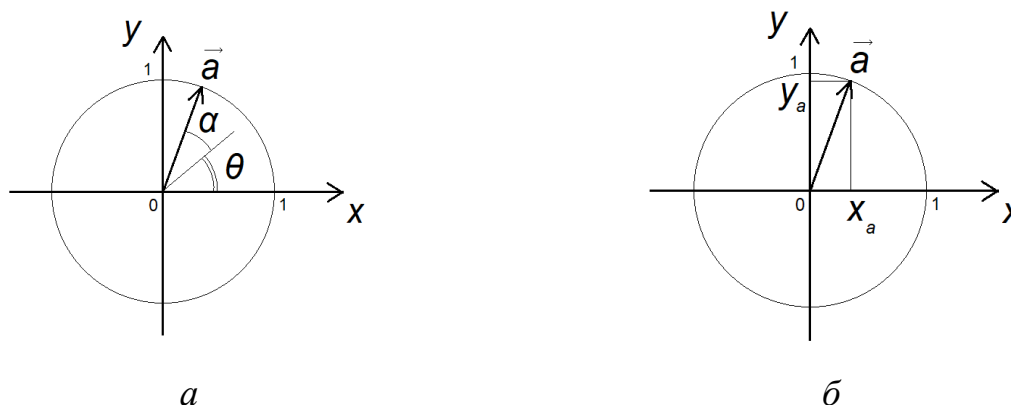


Рисунок 3.3. Одиничний вектор \vec{a} , що характеризує орієнтацію візка: а – кути α та θ , б – координати вектору

Знаючи різницю між поточним і необхідним положенням візка у просторі, можна нівелювати похибку положення так, щоб можна було використовувати бортову камеру.

Як було сказано раніше, бортова камера здатна точно визначити положення і орієнтацію автоматизованого транспортного візка, якщо видно спеціальне зображення, яке має назву фідуційний маркер. Такі зображення є простими і контрастними, завдяки чому вони можуть бути легко зчитані оптичними приладами і обробленими в подальшому. Для різних галузей використовують різноманітні фідуційні маркери, від простих до комплексних (рис 3.4), але у випадку розробленої автоматизованої системи, достатньо буде використовувати фідуційний маркер

матричного типу (рис. 3.4, б). Такого маркеру, розташованого на підлозі, достатньо для визначення точного положення, оскільки він є простим для зчитування і несиметричним. [27]

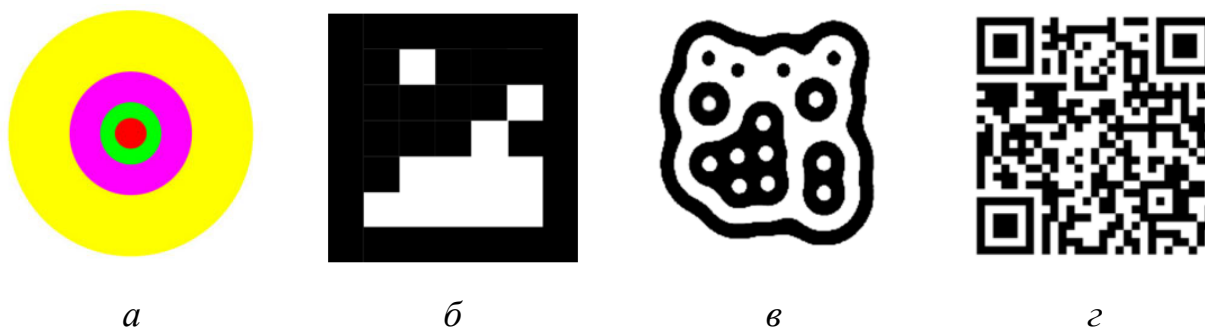


Рисунок 3.4. Фідуційні маркери: а – маркер Чо-Неумана, б – матричний маркер, в – маркер reacTIVision, г – QR-код

Знаючи, необхідне положення камера над маркером, можна з великою точністю визначити відхилення. Завдяки навченій нейронній мережі визначається поточне положення зображення матриці, розраховується відхилення цього зображення від необхідного положення і отримуються кількісні значення відхилення, а саме відхилення по осі x та y , а також кут відхилення α , який рахується від осі абсцис (рис. 3.5). Знаючи кількісне значення відхилення, починається процедура нівелювання похибки поточного розташування.

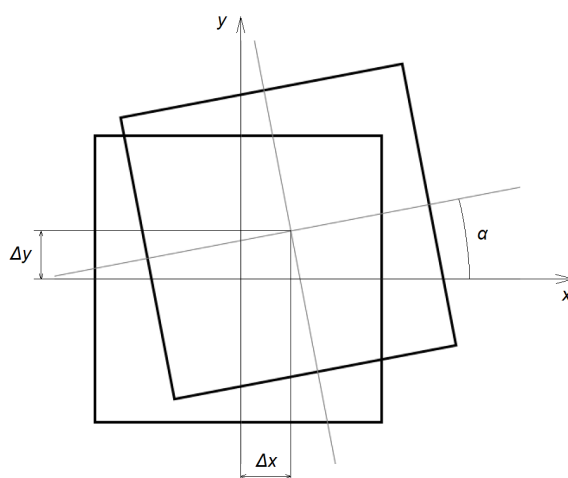


Рисунок 3.5. Відхилення положення фідуційного маркеру.

3.1.2. Нівелювання похибки розташування

Знаючи кількісні значення відхилень, а також максимальні кутові швидкості коліс меканум, можна розрахувати час і необхідні кутові швидкості для нівелювання похибки розташування.

Похибка нівелюється у два етапи. Спочатку автоматизований транспортний візок переміщується таким чином, щоб відхилення від центру було мінімальним, а потім обертається навколо свого центру, щоб нівелювати кутове відхилення (рис 3.6).

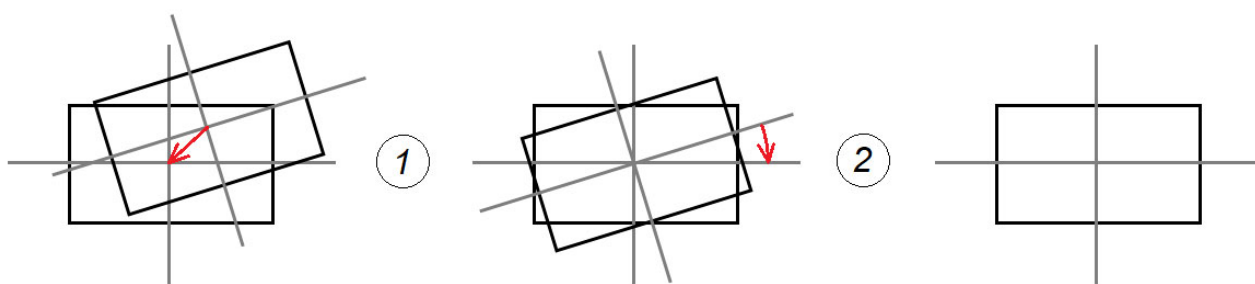


Рисунок 3.6. Два етапи нівелювання похибки положення

Розрахована максимальна кутова швидкість коліс меканум, виходячи з формули 2.9, становить 20 рад/с.

На першому етапі, використовуючи формулу 2.4, розраховується кутові швидкості для кожного окремого колеса. При цьому, значення v_x та v_y пропорційні відповідним значенням відхилення Δx та Δy , але з від'ємним, а значення ω_z дорівнює нулю:

$$\begin{cases} \omega_1 = 10(-\Delta x \frac{1}{c} + \Delta y \frac{1}{c}) \\ \omega_2 = 10(-\Delta x \frac{1}{c} - \Delta y \frac{1}{c}) \\ \omega_3 = 10(-\Delta x \frac{1}{c} - \Delta y \frac{1}{c}) \\ \omega_4 = 10(-\Delta x \frac{1}{c} + \Delta y \frac{1}{c}) \end{cases} \quad (3.8)$$

Для покращення процесу нівелювання похибки необхідно провести нормування величини кутових швидкостей. Для грубого, проте відносно точного, нівелювання

похибки розташування завдяки системі визначення положення об'єкту за допомогою ультразвукової локації, максимальне значення кутової швидкості кожного окремого колеса може бути 5 рад/с. А для точного нівелювання похибки з використанням бортової камери максимальна швидкість не повинна перевищувати 1 рад/с.

Тому, отримавши з формули 3.8 значення $\omega_1, \omega_2, \omega_3, \omega_4$, проводиться нормалізація кожного значення за формулою:

$$\omega_{iH} = \frac{\omega_{\text{норм}} \cdot \omega_i}{\omega_{\text{max}}}, \quad (3.9)$$

Де $\omega_{\text{норм}}$ – нормалізуюче значення кутової швидкості

ω_{max} – максимальне значення серед одержаних $\omega_1, \omega_2, \omega_3, \omega_4$.

Час у секундах, який необхідно витратити, щоб, при обертанні коліс механум із розрахованою нормалізованою кутовою швидкістю $\omega_{1H}, \omega_{2H}, \omega_{3H}, \omega_{4H}$, автоматизований транспортний візок скорегував свою позицію, розраховується за формулою:

$$t_H = \frac{\omega_{\text{max}}}{\omega_{\text{норм}}} c \quad (3.10)$$

Тому, якщо обернути колеса механум з відповідними кутовими швидкостями $\omega_{1H}, \omega_{2H}, \omega_{3H}, \omega_{4H}$ протягом часу t_H , автоматизований транспортний візок зменшить похибку положення по осям x та y , і на цьому завершується перший етап нівелювання похибки.

У другому етапі, так само, використовуючи формулу 2.4, визначається кутова швидкість і напрям обертання кожного окремого колеса механум, але вже для того, щоб нівелювати кутову похибку положення.

Кутова швидкість буде пропорційна куту, на який необхідно повернути автоматизований транспортний візок, але з від'ємним значенням:

$$\begin{cases} \omega_1 = 7,75 \cdot \alpha \frac{1}{c} \\ \omega_2 = -7,75 \cdot \alpha \frac{1}{c} \\ \omega_3 = 7,75 \cdot \alpha \frac{1}{c} \\ \omega_4 = -7,75 \cdot \alpha \frac{1}{c} \end{cases} \quad (3.11)$$

При цьому, варто зауважити, що формулі кут дається у радіанах. Якщо кут α задано у градусах, формула розрахунку кутових швидкостей коліс механум буде мати наступний вигляд:

$$\begin{cases} \omega_1 = \frac{7,75 \cdot \alpha \cdot \pi}{180^\circ} \frac{1}{c} \\ \omega_2 = -\frac{7,75 \cdot \alpha \cdot \pi}{180^\circ} \frac{1}{c} \\ \omega_3 = \frac{7,75 \cdot \alpha \cdot \pi}{180^\circ} \frac{1}{c} \\ \omega_4 = -\frac{7,75 \cdot \alpha \cdot \pi}{180^\circ} \frac{1}{c} \end{cases} \quad (3.12)$$

Розраховувши значення $\omega_1, \omega_2, \omega_3, \omega_4$, за формулою необхідно їх нормалізувати за формулою 3.9 і отримати значення $\omega_{1н}, \omega_{2н}, \omega_{3н}, \omega_{4н}$. Так само, за формулою 3.10 розраховується час, який необхідно прокручувати колеса механум, щоб зменшити кутову похибку положення.

Після цих двох етапів похибку розташування автоматизованого транспортного візка буде нівельовано.

Отже, у цьому підрозділі було визначено формули для нівелювання просторової похибки, яка виникає в процесі переміщення автоматизованого транспортного візка, що допомогло підвищити якість роботи автоматизованої системи транспортування шляхом підвищення точності позиціонування автоматизованого візка біля робочих місць.

3.2. Оптимізація процесу переміщення візка

Оскільки виробничий процес не обмежується одним робочим місцем, автоматизований транспортний візок має переміщуватися між різними місцями. Спроекований транспортний візок не має можливості автоматично оминати перешкоди, тому, якщо шлях між двома робочими місцями не є прямою лінією, доведеться додати декілька проміжних точок (рис. 3.7).

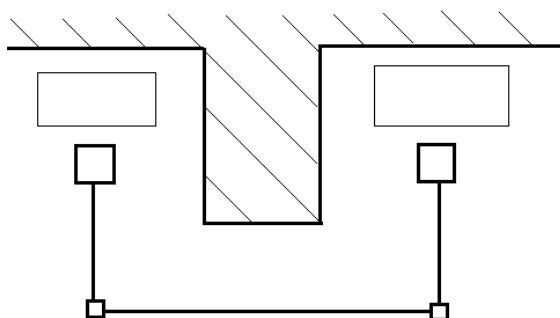


Рисунок 3.7. Додаткові точки при переміщенні між робочими місцями

При цьому, при переміщенні між кожною точкою, необхідно знати початкові та кінцеві координати та орієнтації автоматизованого транспортного візка. Якщо орієнтації початкової та кінцевої точки співпадають тоді для переміщення між двома точками можна необхідно буде обертати колеса з кутовими швидкостями, значення яких розраховується на формулами 3.8, 3.9, при чому значення $\omega_{\text{норм}}$ буде дорівнювати 20 рад/с, а лінійний час $t_{\text{лін}}$, витрачений на лінійне переміщення буде визначатися за формулою 3.9.

У випадку, якщо орієнтації автоматизованого транспортного візка у початковій та кінцевій точках не будуть співпадати, тоді можна буде зробити переміщення у два етапи, аналогічні до етапів нівелювання похибки розташування (рис. 3.8.а), або ж поєднати ці два етапи в один, тим самим оптимізувавши процес переміщення (рис. 3.8.б)

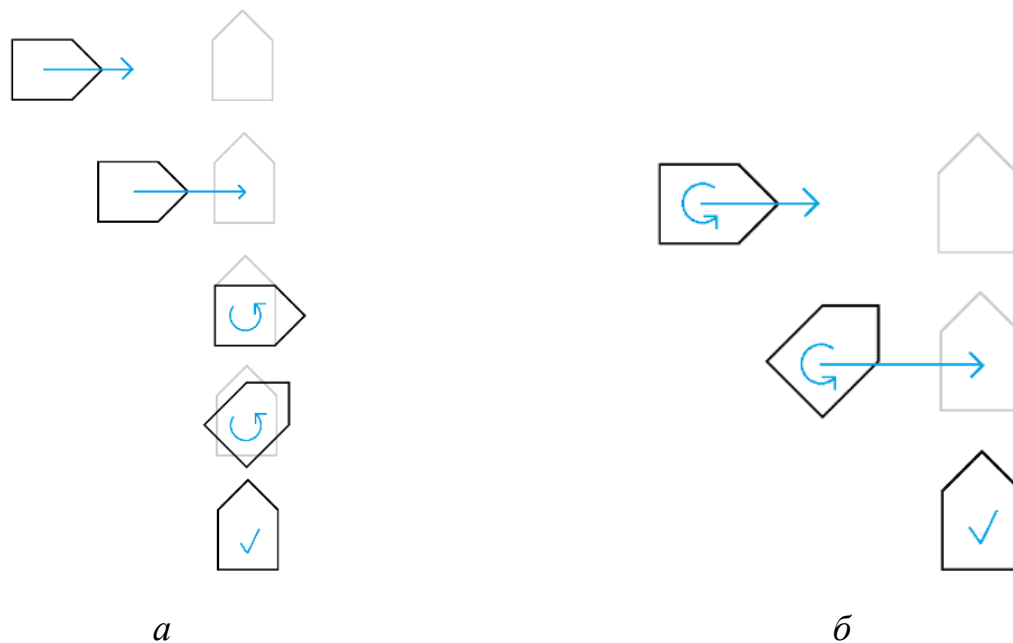


Рисунок 3.8. Оптимізація процесу переміщення: а – у два етапи, б – в один об'єднаний етап.

При поєднанні процесу переміщення в один етап, складність розрахунку кутових швидкостей різко підвищується, оскільки вектор швидкості змінюється прямо під час руху, якщо дивитися відносно автоматизованого транспортного візка (рис. 3.9).

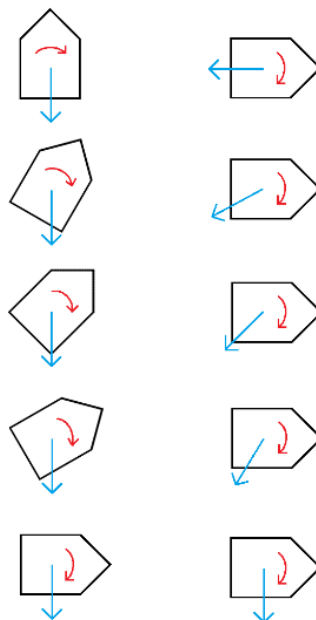


Рисунок. 3.9. Зміна вектору швидкості відносно візка

У випадку оптимізованого процесу переміщення, кутові швидкості кожного окремого колеса механум перестають бути константами і перетворюються на деяку функцію від часу. Знаючи, що максимальна кутова швидкість обертання коліс механум становить 20 рад/с, розраховано максимальну кутову швидкість обертання автоматизованого транспортного візка навколо своєї осі, використовуючи формулу 2.6:

$$\omega_{z_max} = 0,032258 \cdot 20 \cdot 4 = 2,58064 \frac{\text{рад}}{\text{с}} \quad (3.13)$$

На рисунку 3.10 зображено те, як поводить себе вектор швидкості при оптимізованому процесі переміщення автоматизованого транспортного візка.

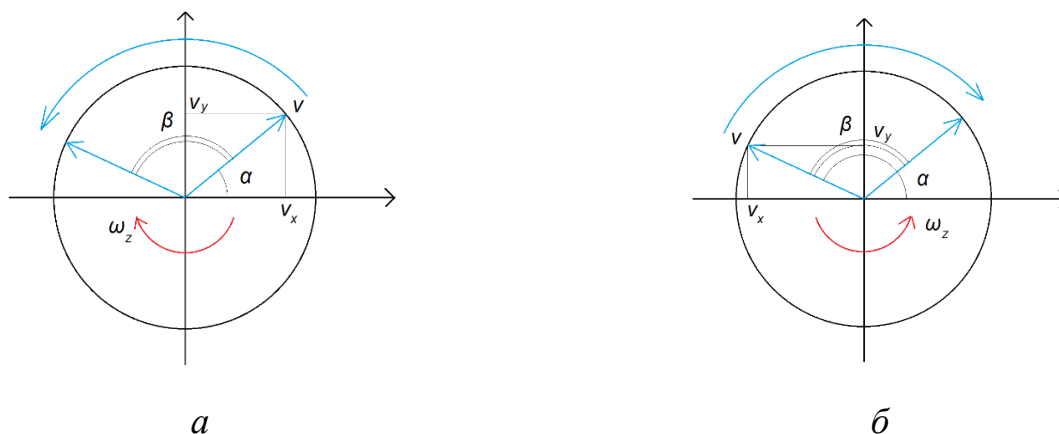


Рисунок 3.10. Поведінка вектору швидкості: а – проти годинникової стрілки, б – за годинниковою стрілкою

Як видно з рисунку 3.16.а, при повороті напрямку вектору швидкості проти годинникової стрілки, вертикальна і горизонтальна складова вектору швидкості будуть представлені наступною функціональною залежністю від часу:

$$\begin{cases} v_x(t) = v_{max} \cdot \cos(\omega_{z_max} \cdot t + \alpha) = 2 \cos(2,58064 \cdot t + \alpha) \\ v_y(t) = v_{max} \cdot \sin(\omega_{z_max} \cdot t + \alpha) = 2 \sin(2,58064 \cdot t + \alpha) \end{cases} \quad (3.14)$$

Де α – це кут початкового відхилення вектору швидкості у радіанах.

Аналогічно, з рисунку 3.10.б можна зробити висновок, що функціональні залежності складових вектору швидкості будуть наступними:

$$\begin{cases} v_x(t) = v_{max} \cdot \cos(\alpha - \omega_{z_max} \cdot t) = 2 \cos(\alpha - 2,58064 \cdot t) \\ v_y(t) = v_{max} \cdot \sin(\alpha - \omega_{z_max} \cdot t) = 2 \sin(\alpha - 2,58064 \cdot t) \end{cases} \quad (3.15)$$

Знаючи функціональні залежності горизонтальної та вертикальної складової вектору швидкості, за формулою 2.4. можна визначити функціональні залежності кутових швидкостей кожного окремого колеса механум від часу:

$$\begin{cases} \omega_1(t) = 10(v_x(t) - v_y(t) - 0,775 \cdot \omega_{z_max}) \\ \omega_2(t) = 10(v_x(t) + v_y(t) + 0,775 \cdot \omega_{z_max}) \\ \omega_3(t) = 10(v_x(t) + v_y(t) - 0,775 \cdot \omega_{z_max}) \\ \omega_4(t) = 10(v_x(t) - v_y(t) + 0,775 \cdot \omega_{z_max}) \end{cases} \quad (3.16)$$

Для вектору, який обертається проти годинникової стрілки:

$$\begin{cases} \omega_1(t) = 10(2 \cos(2,58064 \cdot t + \alpha) - 2 \sin(2,58064 \cdot t + \alpha)) \\ \omega_2(t) = 10(2 \cos(2,58064 \cdot t + \alpha) + 2 \sin(2,58064 \cdot t + \alpha)) \\ \omega_3(t) = 10(2 \cos(2,58064 \cdot t + \alpha) + 2 \sin(2,58064 \cdot t + \alpha)) \\ \omega_4(t) = 10(2 \cos(2,58064 \cdot t + \alpha) - 2 \sin(2,58064 \cdot t + \alpha)) \end{cases} \quad (3.17)$$

$$\begin{cases} \omega_1(t) = 20 \cos(2,58064 \cdot t + \alpha) - 20 \sin(2,58064 \cdot t + \alpha) \\ \omega_2(t) = 20 \cos(2,58064 \cdot t + \alpha) + 20 \sin(2,58064 \cdot t + \alpha) \\ \omega_3(t) = 20 \cos(2,58064 \cdot t + \alpha) + 20 \sin(2,58064 \cdot t + \alpha) \\ \omega_4(t) = 20 \cos(2,58064 \cdot t + \alpha) - 20 \sin(2,58064 \cdot t + \alpha) \end{cases} \quad (3.18)$$

Для вектору, який обертається за годинниковою стрілкою:

$$\begin{cases} \omega_1(t) = 10(2 \cos(\alpha - 2,58064 \cdot t) - 2 \sin(\alpha - 2,58064 \cdot t)) \\ \omega_2(t) = 10(2 \cos(\alpha - 2,58064 \cdot t) + 2 \sin(\alpha - 2,58064 \cdot t)) \\ \omega_3(t) = 10(2 \cos(\alpha - 2,58064 \cdot t) + 2 \sin(\alpha - 2,58064 \cdot t)) \\ \omega_4(t) = 10(2 \cos(\alpha - 2,58064 \cdot t) - 2 \sin(\alpha - 2,58064 \cdot t)) \end{cases} \quad (3.19)$$

$$\begin{cases} \omega_1(t) = 20 \cos(\alpha - 2,58064 \cdot t) - 20 \sin(\alpha - 2,58064 \cdot t) - 20 \\ \omega_2(t) = 20 \cos(\alpha - 2,58064 \cdot t) + 20 \sin(\alpha - 2,58064 \cdot t) + 20 \\ \omega_3(t) = 20 \cos(\alpha - 2,58064 \cdot t) + 20 \sin(\alpha - 2,58064 \cdot t) - 20 \\ \omega_4(t) = 20 \cos(\alpha - 2,58064 \cdot t) - 20 \sin(\alpha - 2,58064 \cdot t) + 20 \end{cases} \quad (3.20)$$

Час, який буде витрачено на процес обертання визначається за формулою:

$$t_{об} = \frac{\beta}{\omega_{z_max}} = \frac{\beta}{2,58064} \quad (3.21)$$

Де β – це кут, на який загалом повинен обертатися вектор швидкості у радіанах.

Тим не менше, існує два можливих варіанти подій, які можуть виникнути під час оптимізованого процесу переміщення автоматизованого транспортного візка:

1. Автоматизований візок набуде необхідної орієнтації раніше, ніж досягне наступної точки маршруту;
2. Автоматизований візок досягне наступної точки маршруту раніше, ніж набуде необхідної орієнтації.

Ймовірність того, що візок прибуде до наступної точки маршруту одночасно з тим як набуде необхідної орієнтації, майже нульова, тому її можна буде віднести до одного із варіантів подій.

У першому випадку, при досягненні необхідної орієнтації, візок повинен продовжити рух при значеннях кутових швидкостей, які розраховуються за формулою 3.8 при $\omega_{норм} = 20$ рад/с, протягом часу, який розраховується за формулою:

$$t = |t_{лін} - t_{об}| \quad (3.22)$$

Де $t_{лін}$ – це лінійний час, який займає лінійне переміщення між двома точками маршруту, $t_{об}$ – це час, який займає обертання.

І навпаки, у другому випадку, при досягненні кінцевої точки маршруту, автоматизований візок повинен продовжити обертання за формулою 3.12. при значенні $\omega_{норм} = 20$ рад/с, протягом часу, який розраховується за формулою 3.22.

Таким чином, завершується процес оптимізованого переміщення візка між двома точками маршруту.

Для можливості наглядного розуміння впливу оптимізації процесу переміщення, введено коефіцієнт оптимізації $K_{\text{опт}}$, який характеризує, як сильно вплинула оптимізація на виробничий процес.

$$K_{\text{опт}} = \frac{t_{\text{заг}} - t_{\text{опт}}}{t_{\text{опт}}} \quad (3.23)$$

Де $t_{\text{заг}}$ – час, який був би витрачений без оптимізації процесу переміщення:

$$t_{\text{заг}} = t_{\text{лін}} + t_{\text{об}} \quad (3.24)$$

А $t_{\text{опт}}$ – час, який був витрачений на переміщення з оптимізацією:

$$t_{\text{опт}} = \max(t_{\text{лін}}, t_{\text{об}}) \quad (3.25)$$

В найкращому випадку $t_{\text{опт}}$ буде у два рази менше, ніж $t_{\text{заг}}$, при умові, що лінійний час переміщення буде дорівнювати часу обертання. В найгіршому випадку, $t_{\text{опт}}$ буде дорівнювати $t_{\text{заг}}$.

Залежність коефіцієнту оптимізації від зекономленого, завдяки оптимізації, часу показано на графіку, зображеному на рисунку 3.11:

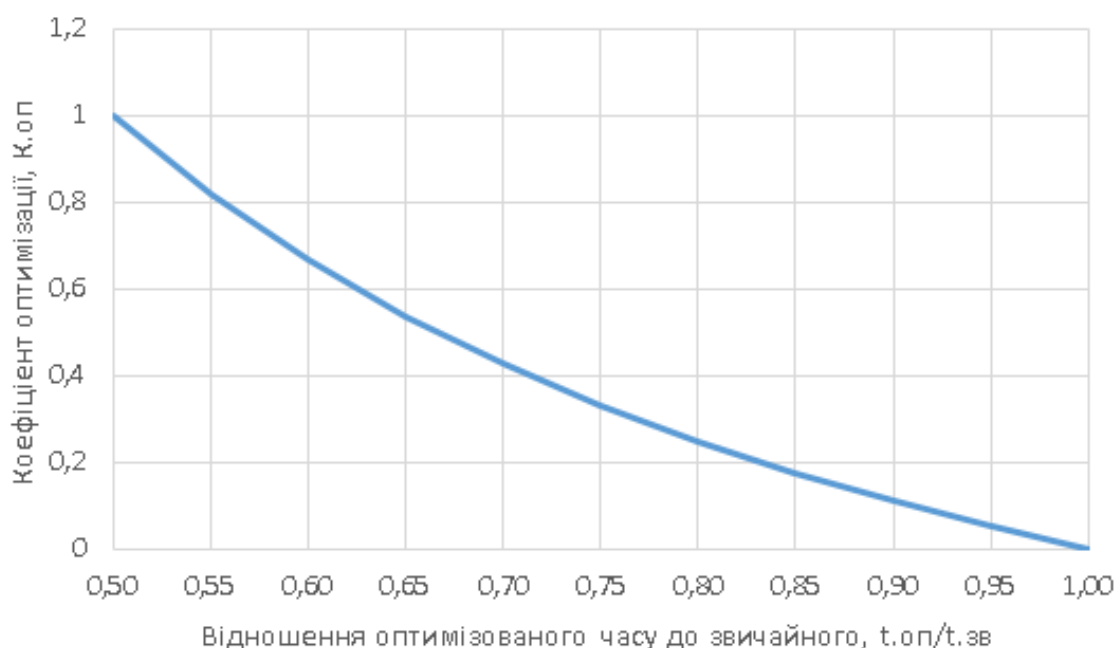


Рисунок 3.11. Залежність коефіцієнту оптимізації від зекономленого часу

Тобто, введений коефіцієнт оптимізації може приймати значення від нуля до одиниці, де нуль означає, що оптимізація взагалі не вплинула на час переміщення між робочими точками, а одиниця – що вона зменшила час, витрачений на переміщення, вдвічі, у порівнянні з неоптимізованим рухом.

Для визначення загального коефіцієнту оптимізації, який характеризує вплив оптимізації на весь виробничий процес, необхідно використати наступну формулу:

$$K_{\text{опт заг}} = \frac{\sum_{i=1}^{n+m} t_{i \text{ заг}} - \sum_{i=1}^{n+m} t_{i \text{ опт}}}{\sum_{i=1}^{n+m} t_{i \text{ опт}}} \quad (3.26)$$

Де n – кількість операцій, m – кількість додаткових точок переміщення, $t_{i \text{ заг}}$ – час, який був би витрачений на i -му відрізку переміщення без оптимізації, $t_{i \text{ опт}}$ – час, який був витрачений на i -му відрізку, використовуючи оптимізований процес переміщення.

Отже, у даному підрозділі було визначено і розраховано формули для різних варіантів оптимізованого процесу переміщення автоматизованого транспортного візка, завдяки чому з'явилася можливість підвищити продуктивність автоматизованої системи транспортування шляхом зменшення часу, який витрачається на переміщення між двома точками маршруту з одночасним досягненням необхідної орієнтації у просторі.

3.3. Розробка програмного забезпечення

Для реалізації алгоритму роботи автоматизованої транспортної системи було розроблено програму. Програму написано мовою програмування Python 3, оскільки це є однією із основних мов програмування для написання програм керування різноманітних систем, на ряду із такими мовами як C та C++. Для написання цієї програми керування було використано Python, бо ця мова програмування є простішою, ніж інші дві, але при цьому вона надає достатньо інструментів та функцій, які допоможуть виконати поставлені задачі.

Оскільки розроблений загальний алгоритм керування автоматизованою транспортною системою є циклічним і то розроблена програма також буде викликатися циклічно і виконувати типові задачі. Головною метою цієї програми є керування автоматизованим транспортним візком., а також обмін інформацією із зовнішньою системою керування. Код програми наведено у додатку В.

3.3.1. Нівелювання похибки положення

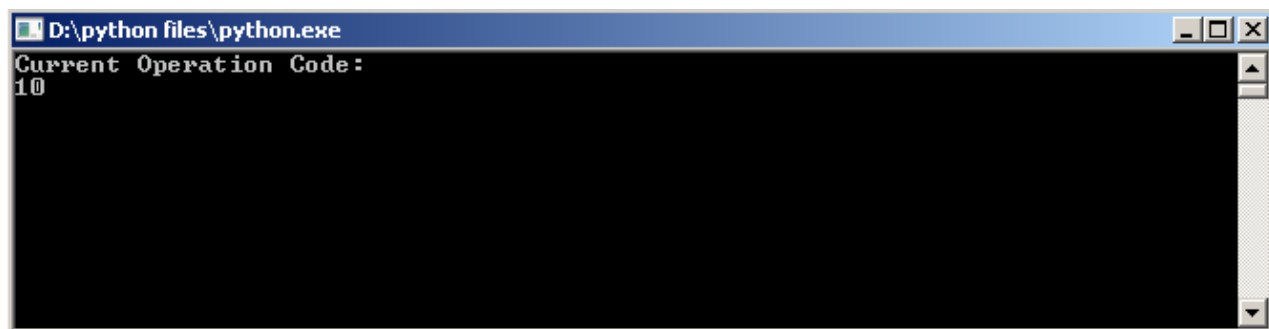
Перед початком основного програмного коду було підключено декілька бібліотек, а саме:

1) бібліотеку *math*, яка використовується для того, щоб отримати доступ до математичних функцій, таких як синус, косинус, взяття числа у будь-яку степінь тощо, а також мати можливість писати отримати число π , просто написавши в коді «*pi*».

2) бібліотеку *random*, яка використовується для того, щоб імітувати набуття деякої, раніше не визначеної похибки, а також декількох інших функцій.

3) бібліотеку *os.path*, яка використовується для того, щоб перевіряти існування файлу з даними.

Сама програма починається з того, що автоматизованому транспортному візку надходить номер операції, яку необхідно виконати під час даного циклу керування. Це робиться за допомогою функції `GetCurrentOperationCode()` (рис. 3.12).



```
D:\python files\python.exe
Current Operation Code:
10
```

Рисунок 3.12. Отриманий код поточної операції

Функція `GetCurrentOperationCode()` не приймає жодних аргументів, проте повертає цілочисельне значення номеру поточної операції, опираючись на зовнішню систему

Знаючи код операції, визначається положення та орієнтація, у якій повинен опинитися автоматизований транспортний візок. Це робиться за допомогою функції `GetRequiredPosition(currentOperation)` (рис. 3.13).

Функція `GetRequiredPosition(currentOperation)` приймає номер поточної операції, знаючи який, повертає масив чисел, які являють собою значення координат по осям x та y у міліметрах, а також кут α , який характеризує орієнтацію автоматизованого візка і рахується у градусах проти годинникової стрілки, починаючи з додатного напрямку осі x . Функція шукає ці значення у зовнішній базі даних, базуючись на номері операції.

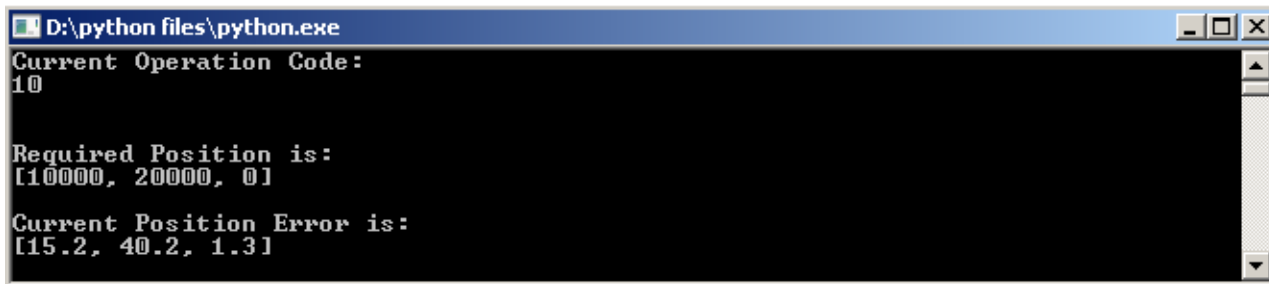
A screenshot of a Windows command prompt window titled "D:\python files\python.exe". The window contains the following text:

```
Current Operation Code:  
10  
  
Required Position is:  
[10000, 20000, 0]
```

Рисунок 3.13. Отримання необхідного положення та орієнтації

Отримавши необхідне значення положення і орієнтації, за допомогою функції `GetPositionError()`, визначається відхилення від необхідного положення. (рис. 3.14.).

Дана функція не приймає жодного аргументу і повертає масив значення відхилень по осям x та y , а також кутове відхилення. Вона звертається до бортової камери і отримує значення відхилення, базуючись на відхиленні фідуційного маркеру від необхідного положення.



```

D:\python files\python.exe
Current Operation Code:
10

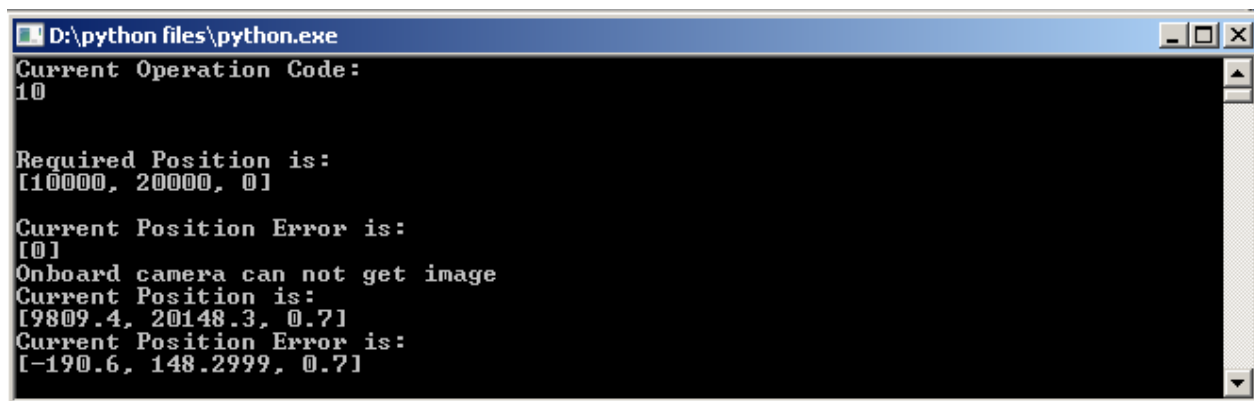
Required Position is:
[10000, 20000, 0]

Current Position Error is:
[15.2, 40.2, 1.3]

```

Рисунок 3.14 Отримання відхилення з камери

Якщо ж камера не змогла зчитати фідуційний маркер, функція `GetPositionError()` повертає масив зі значенням `[0]` і в такому випадку викликається інша функція, `GetCurrentPosition()`, яка не приймає жодного аргументу, але повертає масив значень поточного положення автоматизованого транспортного візка (рис. 3.15). Дана функція звертається до системи визначення положення на основі ультразвуку, яка розміщена у виробничій дільниці і вона отримує значення, які розрахувати датчики.



```

D:\python files\python.exe
Current Operation Code:
10

Required Position is:
[10000, 20000, 0]

Current Position Error is:
[0]
Onboard camera can not get image
Current Position is:
[9809.4, 20148.3, 0.7]
Current Position Error is:
[-190.6, 148.2999, 0.7]

```

Рисунок 3.15. Визначання похибки через ультразвукову систему

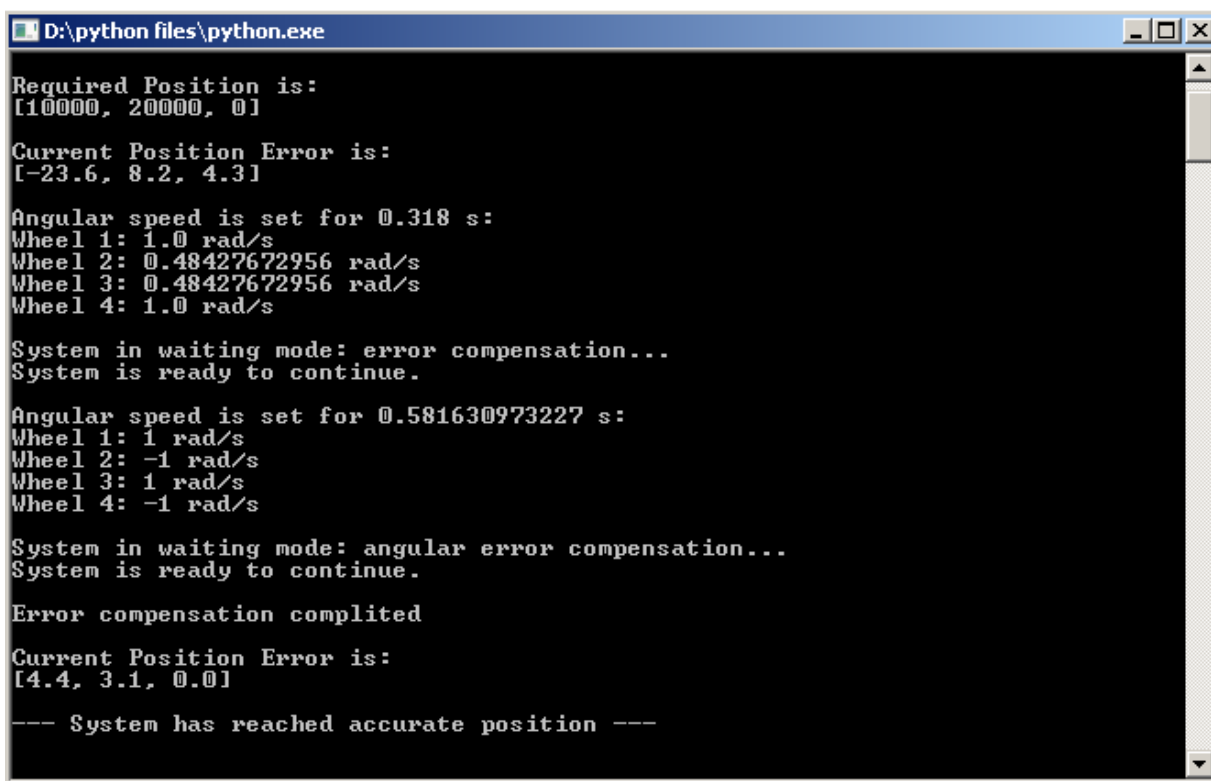
Визначивши значення відхилень, за допомогою формул 3.8–3.12 визначаються необхідні кутові швидкості для кожного окремого колеса механум і за допомогою функції `SetWheelSpeed(angularSpeed, t)` значення надсилаються у блок керування колесами. Ця функція приймає масив значень кутових швидкостей, а час, протягом якого потрібно обернути колеса.

Під час переміщення система переходить в режим очікування і переходить в активний режим за допомогою функції `IsReady()`, яка повертає булеве значення і характеризує дозвіл зовнішньої системи на продовження роботи.

Цикл перевірки відхилення повторюється до тих пір, доки візок не встане у таке положення, при якому значення похибки буде мінімальним (рис. 3.16)

3.3.2. Керування процесом встановлення і зняття деталей

Вставши з необхідною точністю біля робочого місця, розпочинається процес встановлення і зняття деталей з робочого місця. Цей процес є циклічним, при чому загальна кількість деталей спочатку невідома, тому для виконання цієї задачі використовується нескінченний цикл, який переривається у випадку, коли всі деталі на індивідуальному накопичувачі пройшли обробку.



```
D:\python files\python.exe
Required Position is:
[10000, 20000, 0]
Current Position Error is:
[-23.6, 8.2, 4.3]
Angular speed is set for 0.318 s:
Wheel 1: 1.0 rad/s
Wheel 2: 0.48427672956 rad/s
Wheel 3: 0.48427672956 rad/s
Wheel 4: 1.0 rad/s
System in waiting mode: error compensation...
System is ready to continue.
Angular speed is set for 0.581630973227 s:
Wheel 1: 1 rad/s
Wheel 2: -1 rad/s
Wheel 3: 1 rad/s
Wheel 4: -1 rad/s
System in waiting mode: angular error compensation...
System is ready to continue.
Error compensation complited
Current Position Error is:
[4.4, 3.1, 0.0]
--- System has reached accurate position ---
```

Рисунок 3.16. Нівелювання похибки розташування

Для визначення того, що робити з деталями, встановленими на індивідуальному накопичувачі, використовується функція `GetPartIndex(operationCode, holderNumber)`.

Ця функція приймає значення поточного номера операції, а також номера поточної комірки, у якій встановлена деталь, яка підлягає обробці, і повертає індекс вказаної деталі. Індекс деталі складається з трьох чисел: номера операції, номера комірки, а також значення дефектності деталі (рис. 3.17).

номер операції **10** номер комірки **04** значення дефектності **0**

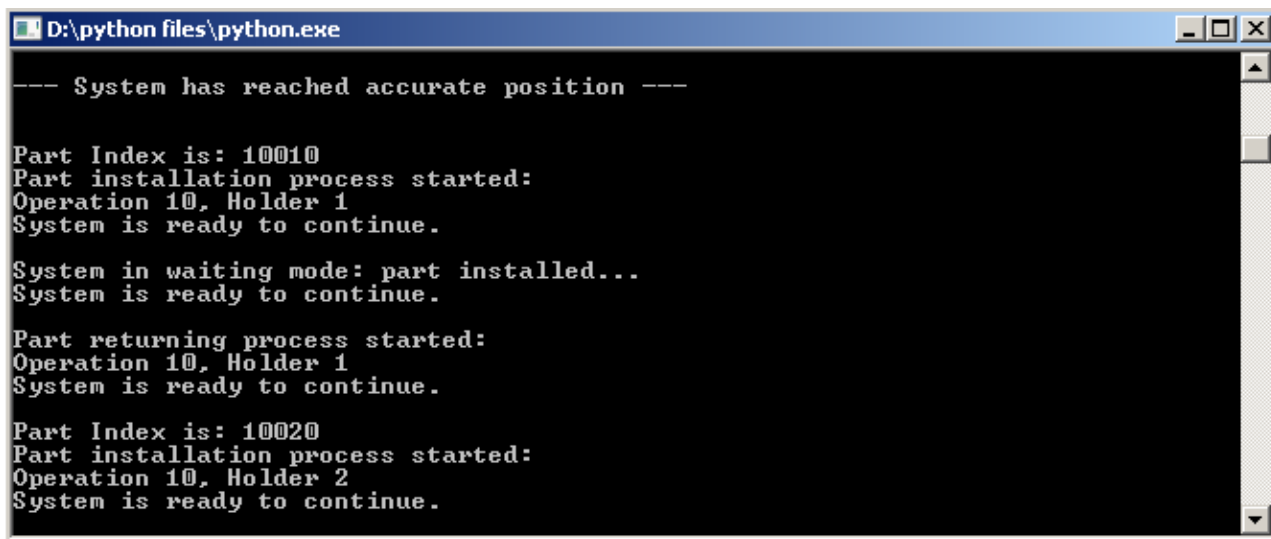
Рисунок 3.17. Пояснення до індексу деталі

Якщо значення дефектності дорівнює нулю, значить у деталі немає дефектів і її потрібно поставити на обробку у вказаній операції. (рис. 3.18.). Якщо ж значення дефектності дорівнює одиниці або двійці, тоді це означає, що деталь стала бракованою після операції, вказаній у індексі, при чому, 1 означає, що брак можна виправити, наприклад, знявши додатковий шар матеріалу, а 2 означає, що деталь відновленню не підлягає. Браковані деталі необхідно буде пропустити і згодом встановити у відповідну комірку у пункті розвантаження.

За допомогою функції `IsToInstal()` перевіряється те, потрібно встановлювати деталь або ж знімати її з поточного робочого місця. Ця функція не приймає аргументів і повертає булеве значення `true` або `false`.

Далі, за отриманим індексом деталі перевіряється встановлювати деталь, або ж пропустити її. Якщо індекс деталі дозволяє її встановити, тоді викликається функція `InstallPart(operationCode, holderNumber)`, яка приймає значення номеру поточної операції, а також номер поточної комірки. Ці данні надсилаються до встановленого маніпулятора і він, за заготовленою програмою починає встановлювати деталь із заданої комірки у задане номером операції робоче місце.

Після очікування деталей знімається за допомогою функцією `ReturnPart(operationCode, holderNumber)`, яка виконує задачу, обернену до `InstallPart()` (рис. 3.18.)



```

D:\python files\python.exe
--- System has reached accurate position ---

Part Index is: 10010
Part installation process started:
Operation 10, Holder 1
System is ready to continue.

System in waiting mode: part installed...
System is ready to continue.

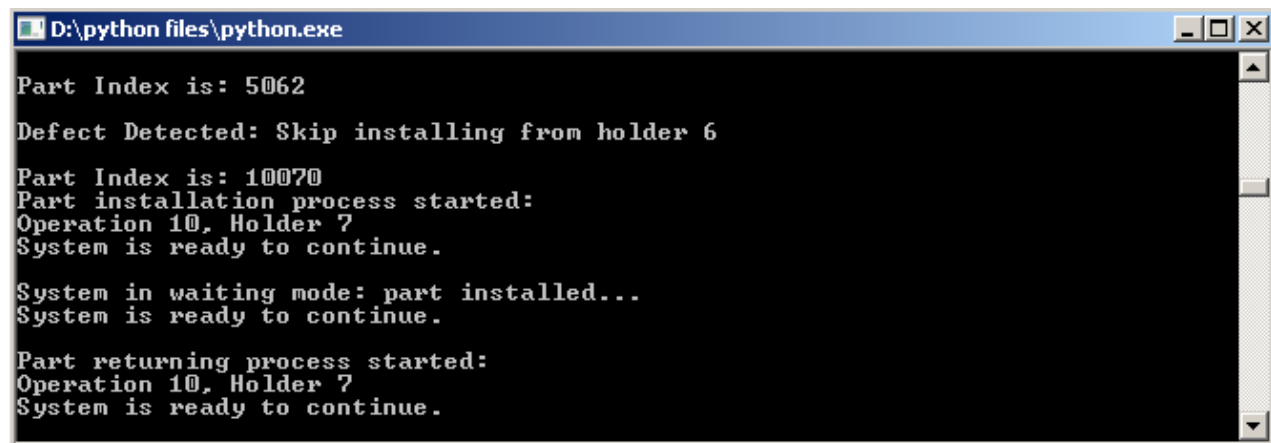
Part returning process started:
Operation 10, Holder 1
System is ready to continue.

Part Index is: 10020
Part installation process started:
Operation 10, Holder 2
System is ready to continue.

```

Рисунок 3.18. Встановлення деталі і подальше її зняття.

Якщо ж значення дефектності не дозволяє обробку деталі на поточній операції, тоді цю комірку пропускають і переходять до наступної (рис. 3.19)



```

D:\python files\python.exe
Part Index is: 5062
Defect Detected: Skip installing from holder 6

Part Index is: 10070
Part installation process started:
Operation 10, Holder 7
System is ready to continue.

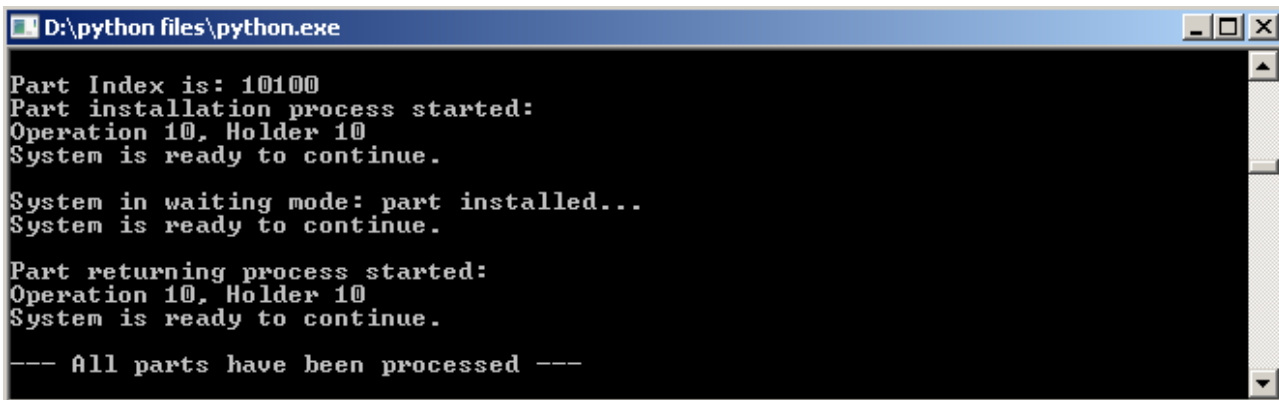
System in waiting mode: part installed...
System is ready to continue.

Part returning process started:
Operation 10, Holder 7
System is ready to continue.

```

Рисунок 3.19. Пропущення комірки з бракованою деталлю

Після перевірки і проведенням операції над кожною коміркою, система виходить із циклу, тим самим завершуючи процес встановлення і зняття деталей (рис. 3.20).



```

D:\python files\python.exe
Part Index is: 10100
Part installation process started:
Operation 10, Holder 10
System is ready to continue.

System in waiting mode: part installed...
System is ready to continue.

Part returning process started:
Operation 10, Holder 10
System is ready to continue.

--- All parts have been processed ---

```

Рисунок 3.20 Завершення процесу встановлення і знаття деталей

3.3.3. Переміщення до наступної точки

Закінчивши роботу на даному робочому місці, починається процес переміщення до наступної робочої точки.

Для цього визначається поточне положення за допомогою раніше зазначеною функції `GetRequiredPosition(currentOperation)`, оскільки поточне положення співпадає з необхідним, а за допомогою функції `GetNextPosition(currentOperation)` визначається наступне положення. Ця функція приймає значення номеру поточної операції, яку вже було завершено, і у базі даних шукає координати і орієнтацію, які має набути автоматизований транспортний візок у наступній точці, повертаючи їх у вигляді масиву значень.

Після цього відбувається розрахунок різниці між наступним і поточним положеннями автоматизованого візка, знаючи яку, в подальшому можна буде розрахувати кутові швидкості кожного окремого колеса механум (рис. 3.21)



```

D:\python files\python.exe

--- All parts have been processed ---

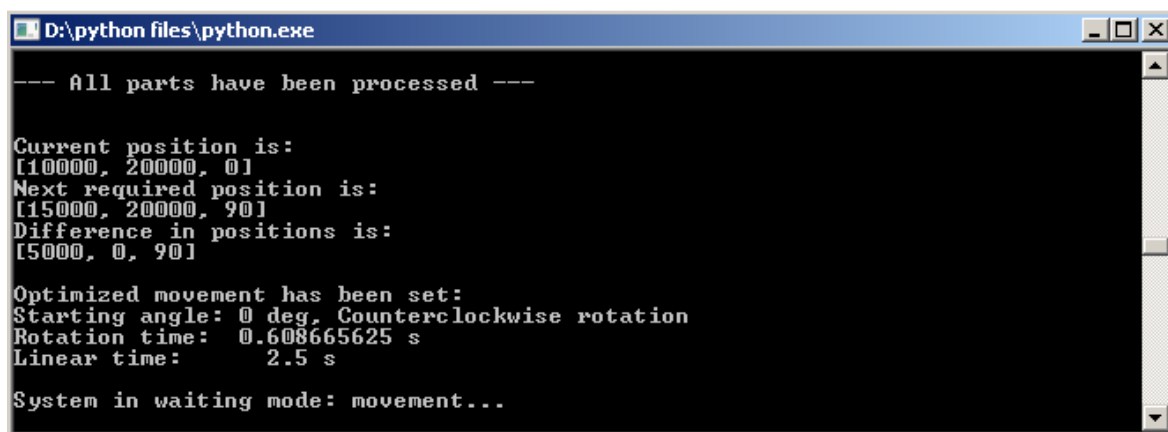
Current position is:
[10000, 20000, 0]
Next required position is:
[15000, 20000, 90]
Difference in positions is:
[5000, 0, 90]

```

Рисунок 3.21. Розрахунок різниці між позиціями

Знаючи різницю між наступною і поточною позицією, розраховується час, який необхідно витратити на лінійне переміщення та час, який витрачається на обертання, за формулами 3.8 – 3.10, при нормалізованій кутовій швидкості у 20 рад/с, а також визначається напрям обертання: за годинниковою стрілкою чи проти неї. Далі, викликається функція `SetOptimizedMovement(isClockwise, a, t_ang, t_lin)`, яка у вигляді аргументів приймає булеве значення, яке характеризує, чи є напрям обертання за годинниковою стрілкою, початковий кут відхилення, а також час подальшого лінійного та обертального руху.

Дана функція надсилає ці значення на контролер, який керує швидкістю обертання кожного окремого колеса і механум і за формулами 3.18 і 3.20. розраховує швидкість обертання коліс механум у кожен момент часу(рис 3.22)



```

D:\python files\python.exe
--- All parts have been processed ---

Current position is:
[10000, 20000, 0]
Next required position is:
[15000, 20000, 90]
Difference in positions is:
[5000, 0, 90]

Optimized movement has been set:
Starting angle: 0 deg, Counterclockwise rotation
Rotation time: 0.608665625 s
Linear time: 2.5 s
System in waiting mode: movement...

```

Рисунок 3.22. Задання оптимізованого процесу переміщення

Для розуміння того, які самі значення розраховує контролер у кожен момент часу, використовується функція `AngularSpeed(t, a, isClockwise)`, яка приймає час обертання, початковий кут, а також напрям обертання. Дана функція є програмною реалізацією формул 3.18 і 3.20.

Використовуючи цю функцію, за допомогою циклу, розраховується кутова швидкість обертання коліс механум кожні 0.02 секунди, починаючи з нуля і закінчуючи вказаним часом обертання, а за допомогою функції `PrintSpeed(t, w)`, значення виводяться у вигляді стовпчика. Дана функція у вигляді аргументів приймає

поточне значення часу і розрахований масив значень кутових швидкостей кожного колеса механум. (рис. 3.23)

Завершення процесу оптимізованого переміщення є завершенням програмного циклу керування (рис. 3.24). Оскільки при завершенні цього циклу автоматизований транспортний візок буде знаходитись на наступному робочому місці, одразу після завершення цього циклу розпочнеться наступний, але функція `GetOperationCode()`, яка підключена до зовнішньої системи керування, поверне значення номеру наступної операції.

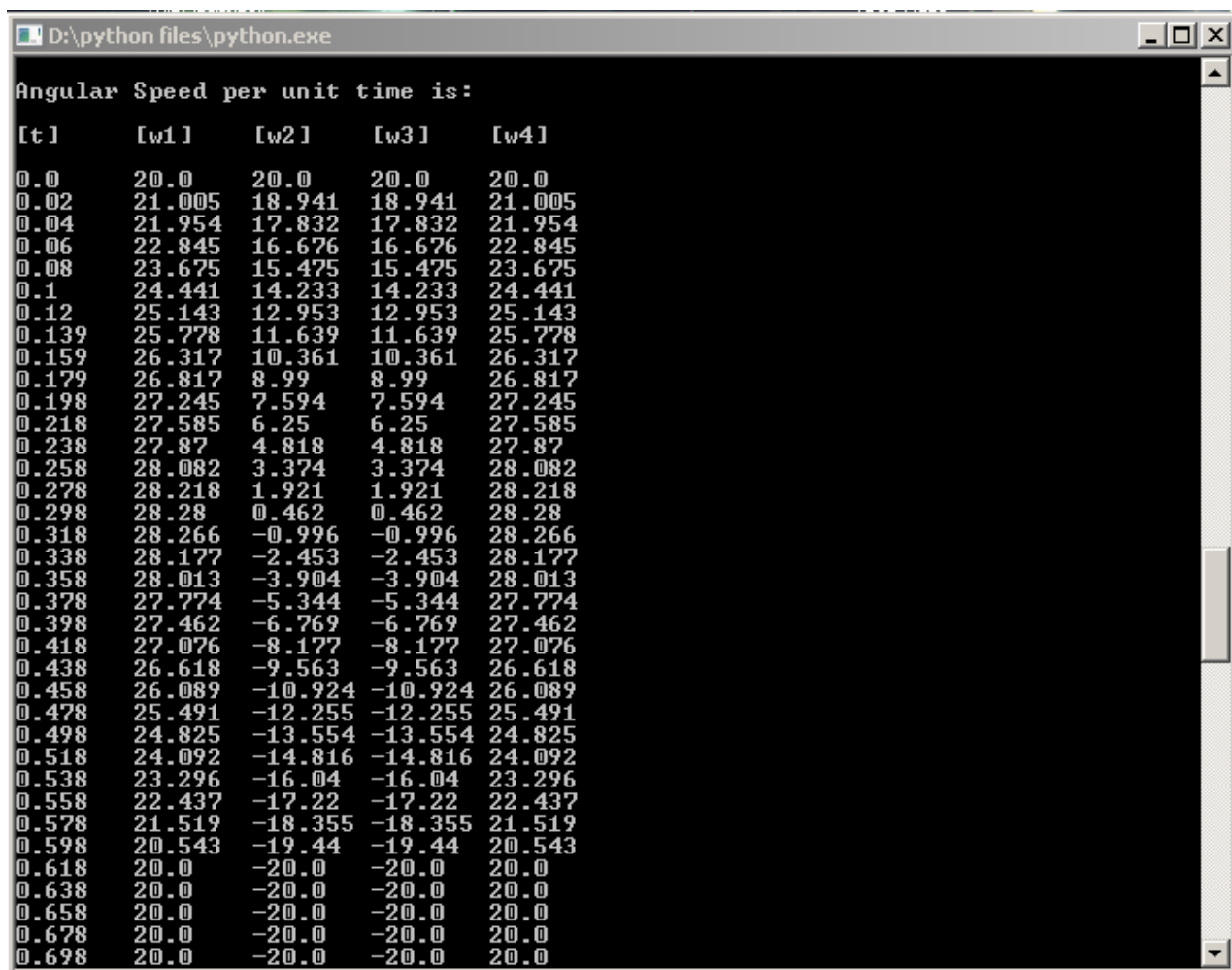


Рисунок 3.23. Значення кутових швидкостей у кожен момент часу

```

D:\python files\python.exe
2.337 20.0 -20.0 -20.0 20.0
2.357 20.0 -20.0 -20.0 20.0
2.377 20.0 -20.0 -20.0 20.0
2.397 20.0 -20.0 -20.0 20.0
2.417 20.0 -20.0 -20.0 20.0
2.437 20.0 -20.0 -20.0 20.0
2.457 20.0 -20.0 -20.0 20.0
2.477 20.0 -20.0 -20.0 20.0
2.497 20.0 -20.0 -20.0 20.0

--- Destination reached ---
System is ready to continue.
--- Cycle is over ---

```

Рисунок 3.24. Завершення програмного циклу

Отже, у даному підрозділі розроблено програму керування автоматизованим транспортним візком, яка має зв'язок із загальною автоматизованою системою транспортування. Дана програма допомогла реалізувати алгоритм роботи автоматизованим транспортним візком, завдяки чому було досягнуто автоматизації процесу нівелювання просторової похибки положення, керування деталями, встановленими на індивідуальному накопичувачі, а також визначення даних для забезпечення оптимізованого процесу переміщенню між точками маршруту.

За завершеною автоматизованою системою транспортування деталей в умовах «безлюдної технології», розроблено її структурну схему, яку представлено у Додатку Г

Висновки за розділом 3

У цьому, практичному, розділі проведено реалізацію теоретично дослідженого загального алгоритму керування автоматизованою транспортною системою, у тому числі, його окремих компонентів.

Попередньо, визначивши спосіб, завдяки якому можна буде нівелювати похибки, розраховано формули і методи, на основі яких реалізовано частину програмного

забезпечення, яке відповідає за нівелювання просторових похибок, які виникли під час попереднього переміщення автоматизованого транспортного візка.

Аналогічно, визначивши, як поводить себе візок при комплексному переміщенні, розраховано формули і функції, за якими можна визначити кутові швидкості окремих коліс механум, які було використано для програмної реалізації процесу оптимізованого переміщення.

В результаті, розроблено програмне забезпечення для автоматизованого керування транспортним візком, що допомогло досягти автоматизації процесу транспортування, завдяки чому забезпечено належний рівень продуктивності всього виробничого процесу.

IV. РОЗРОБКА СТАРТАП ПРОЕКТУ

4.1. Опис ідеї стартап проекту

Дослідивши в попередніх розділах вплив автоматизованої транспортної системи транспортування деталей на продуктивність виробничого процесу, у цьому розділі розроблено стартап проект на основі розробленої системи. При розробці проекту було використано матеріали, вказані у [28]

Ідея проекту полягає у створенні автоматизованої системи транспортування та її адаптації під кожне окреме виробництво.

У таблиці 4.1 показано зміст ідеї, а також можливі потенційні ринки, на яких варто шукати потенційних клієнтів.

Таблиця 4.1. Опис ідеї стартап проекту

Зміст ідеї	Напрямки застосування	Вигоди для користувача
Розробка універсальної автоматизованої системи транспортування і її індивідуальна адаптація під заданий виробничий процес	Автоматизація виробничого процесу	Зменшення витрат на різноманітні процеси завдяки автоматизації
	Адаптація системи під конкретний виробничий процес	Зручність імплементації технології під виробництво користувача
	Гнучкість системи транспортування	Економія на транспортних витратах завдяки універсальності системи

Отже, пропонується розробка універсальної, гнучкої автоматизованої системи транспортування з подальшою її адаптацією під заданий виробничий процес, що дозволить користувачеві легко імплементувати систему у власне виробництво і в подальшому знизити витрати на транспортування.

Проведено аналіз потенційних техніко-економічних переваг ідеї, порівняно з пропозиціями конкурентів. Порівняльний аналіз показників приведено у таблиці 4.2:

Таблиця 4.2. Порівняльний аналіз слабких, нейтральних та сильних сторін проекту

№	Техніко-економічні характеристики ідеї	(потенційні) товари/послуги конкурентів			W (слабка сторона)	N (нейтральна сторона)	S (сильна сторона)
		Мій проект	KUKA	Robotnik			
1	Вартість конструкції	середня	висока	висока	–	–	+
2	Вартість програмного забезпечення	низька	висока	висока	–	–	+
3	Простота установки	висока	середня	низька	–	–	+
4	Точність переміщення транспортних засобів	середня	висока	висока	+	–	–
5	Швидкість роботи транспортних засобів	середня	висока	середня	–	+	–
6	Простота керування	середня	низька	середня	–	+	–
7	Ефективність зворотного зв'язку	низька	висока	висока	+	–	–
8	Доступність в Україні	наявна	відсутня	відсутня	–	–	+
9	Якість технічної підтримки	висока	середня	середня	–	–	+
10	Простота ремонту	висока	середня	середня	–	–	+

Спираючись на порівняльний аналіз техніко-економічних характеристик ідеї проекту, дослідженого у таблиці 4.2, можна зробити висновок, що розроблений проект опирається на те, що він є дешевшою і, як наслідок, доступнішою, версією аналогів, який також можна використовувати у межах України.

Проведено технічний аудит технологій, за допомогою яких можна реалізувати ідею проекту. У таблицю 4.3. занесено складові технології, які необхідні для технологічного здійснення проекту.

Таблиця 4.3. Технологічна здійсненність ідеї проекту

№	Ідея проекту	Технології її реалізації	Наявність технології	Доступність технології
1	Забезпечення все направлено переміщення візка	Використання все направлених коліс меканум	Наявна	Доступна, термін патенту вже закінчився
2	Забезпечення обертання коліс	Використання електродвигунів	Наявна	Можна купити
3	Визначення грубого положення візка у просторі у великій зоні (до 50 м)	Використання системи визначення положення об'єктів у просторі за допомогою ультразвуку.	Наявна	Можна купити
4	Визначення точного положення візка у малій зоні (до 10 см)	Використання бортової камери, підключеної до нейронної мережі	Наявні методи, але необхідно робити самому	У вільному доступі, можна розробляти
5	Програмне забезпечення для керування системою	Використання мов програмування для написання програми	Наявні методи, але необхідно робити самому	У вільному доступі, можна розробляти
6	Імітація руху людських кінцівок	Використання бортових маніпуляторів	Наявна	Можна купити
7	Зберігання деталей на борту візка	Використання накопичувачів, зроблених 3D друком	Наявні методи, але необхідно робити самому	У вільному доступі, можна розробляти
8	Розробка 3D моделей конструкції візка, а також її окремих елементів.	Використання CAD систем, наприклад, програмного забезпечення SolidWorks	Наявна	Необхідно купити ліцензію

Проаналізувавши розроблену таблицю, можна зробити висновок, що для реалізації ідеї проекту наявні всі необхідні технології, деякі в існуючому вигляді, а деякі у вигляді методів, за допомогою яких вже можна вільно реалізувати необхідну технологію. Майже всі технології знаходяться у вільному доступі, тобто їх можна

реалізувати самому або ж купувати. Винятком є необхідність купівлі ліцензії для CAD системи.

4.2. Аналіз ринкових можливостей запуску стартап проекту

Визначено ринкові можливості, які можна використати під час реалізації проекту, а також загрози, які можуть йому зашкодити.

Це дозволяє заздалегідь скорегувати ідею проекту таких чином, щоб отримати якомога більше переваг на етапі реалізації, а також підготуватися до загроз так, щоб отримати якомога менше шкоди.

З цією метою проведено аналіз попиту, а саме його наявність, обсяг і розвиток ринку і результати занесено у таблицю 4.4: [29]

Таблиця 4.4. Попередня характеристика ринку розробленого проекту

№	Показники стану ринку	Характеристика
1	Кількість головних гравців, шт	2
2	Загальний обсяг продаж, грн/од	200 000
3	Динаміка ринку	Поступово зростає
4	Наявність обмежень для входу	Варто мати наглядні результати, щоб було відомо про наше існування
5	Специфічні вимоги до сертифікації та стандартизації	Відсутні
6	Середня норма рентабельності в галузі	17.5%

Виходячи з даних, занесених до таблиці 4.4, можна зробити висновок, що ринок поступово зростає, оскільки покращення автоматизації виробничого процесу є актуальною проблемою у будь-який час, а транспортування займає 15-25% всього виробничого процесу, тому у цій галузі є попит і можна входити на цей ринок.

Визначено потенційні групи клієнтів, а також їх характеристики. Сформований перелік вимог до товару/послуги показано у таблиці 4.5:

Таблиця 4.5. Характеристика потенційних клієнтів проекту

№	Потреба, що формує ринок	Цільова аудиторія	Відмінності у поведінці	Вимога споживачів
1	Автоматизація транспортних потоків у виробничому процесі	Власники виробничих підприємств (покупець)	Спрямовані на збільшення прибутку	Якомога більше покращення автоматизації за найменшу ціну
		Оператори виробничих підприємств	Спрямовані на забезпечення стабільної роботи	Якомога зручний зв'язок з системою і її керування
		Робітники виробничих підприємств	Сподіваються на отримання довговічної, але простої системи	Якомога проста конструкція, щоб з нею можна було легко працювати

Дослідивши список потенційних клієнтів, який показано у таблиці 4.5, можна зробити висновок, що основними покупцями автоматизованої транспортної системи є власники виробничих підприємств, які намагаються отримати більший прибуток завдяки системі, а основними клієнтами є оператори транспортних систем, а також робітники підприємства, які будуть взаємодіяти з візками.

При впровадженні даної технології існують певні фактори загроз. Їх занесено до таблиці 4.6:

Таблиця 4.6. Фактори загроз проекту

№	Фактор загрози	Зміст загрози	Можлива реакція компанії
1	Збільшення конкурентів	Ринок зростає, тому можуть з'явитися нові конкуренти	Підтримувати належну якість товарів і продукції та за можливості робити знижки
2	Дефіцит матеріалів	Можлива поява дефіциту матеріалів для конструкції	Зробити конструкцію візка таким чином, щоб можна було легко адаптувати аналогічні матеріали.
3	Зменшення кваліфікації працівників	Є можливість відтоку кваліфікованих робітників у інші галузі	Розробити програму керування автоматизованої системи транспортування так, щоб нею було просто навчитися користуватися з нуля
4	Швидкий вихід з ладу	Система може почати непередбачувано виходити з ладу	У такому випадку необхідно терміново виявити причину проблеми, а також надати достатнє вибачення клієнту
5	Новий метод транспортування	Можлива поява нового кращого методу транспортування	Підтримка власної системи до тих пір, поки існують клієнти, паралельно досліджуючи новий метод транспортування і, за можливості, розроблюючи нову систему

Окрім загроз, проект має певне коло можливостей. Їх занесено до таблиці 4.7:

Таблиця 4.7. Фактори можливостей проекту

№	Фактор можливості	Зміст можливості	Можлива реакція компанії
1	Зменшення конкурентів	У деякого конкурента виникли проблеми і він покинув ринок	Намагатися якомога швидше переманити минулих клієнтів конкурента на свою продукцію
2	Успішний клієнт	Один із клієнтів досяг успіху і збільшує обсяг виробництва	Підтримувати гарні відносини з клієнтом, щоб заохочувати його використовувати ще більше продуктів

3	Розвиток технології	Поява нових технологій, які здатні покращити продукцію	Терміново дослідити нову технології і за можливості розробити нову, кращу систему
4	Зменшення податків	Влада зменшила податки у галузі	Насолоджуємося ринком і отримуємо прибуток
5	Відкриття зарубіжного ринку	Відкриття доступу до зарубіжного ринку	Дослідити зарубіжний ринок та за необхідності адаптувати систему під нього

Дослідивши фактори загроз та можливостей, яка можуть вплинути на проект, можна зробити висновок, що для підтримки проекту в належному стані необхідно швидко реагувати на більшість загроз та можливостей і намагатися підтримувати гарні відносини з існуючими клієнтами.

Проведено ступеневий аналіз конкуренції на ринку, дослідивши особливості середовища, прояв характеристики та їх вплив на діяльність підприємства і результати занесено у таблицю 4.8:

Таблиця 4.8. Ступеневий аналіз конкуренції на ринку

Особливості конкурентного середовища	В чому проявляється характеристика	Вплив на діяльність підприємства
Олігополія	Мала кількість компаній, які розробляють аналоги	Складно ввійти, але відносно легко існувати на ринку
Міжнародна	Компанії орієнтуються на різноманітні країни	Велике різноманіття клієнтів
Внутрішньогалузева	Система використовується для виготовлення малогабаритної продукції	Система використовується у виробничих системах, в першу чергу, деталей.
Товарно-видова	Конкуренція між видами транспортних візків	Знаючи вид продукції, легко знати, як конкурувати

Нецінова	Конкуренція за рахунок використання інших методів і технологій	Необхідність приділяти більше уваги якості
Марочна	Ім'я конкурентів відоме у колах підприємців	Необхідно буде заробити ім'я, щоб добре підтримувати проект

Провівши ступеневий аналіз конкуренції на ринку, можна зробити висновок, що перші кроки можуть бути складними, але за рахунок інших технологій можна буде швидко отримати ім'я і після цього з'явиться можливість підтримувати проект.

Досліджено фактори конкурентоспроможності та їх обґрунтування, і результати занесено до таблиці 4.9:

Таблиця 4.9. Обґрунтування факторів конкурентоспроможності.

№	Фактор конкурентоспроможності	Обґрунтування
1	Простота конструкції	Чим простіша конструкція – тим простіше ремонтувати, переналаштовувати тощо
2	Швидкодія системи	Чим швидше працює система – тим більша продуктивність виробничого процесу
3	Точність системи	Чим точніша система – тим якісніша буде продукція
4	Технічна підтримка	Чим якісніша техпідтримка – тим кращі відносини з клієнтами
5	Ціна	Чим менше ціна – тим більш привабливою є продукція
6	Наявність патентів	Чим більше патентів – тим менше можливостей у конкурентів

Дослідивши фактори конкурентоспроможності, проведено аналіз сильних і слабких сторін, результати якого занесено у таблицю 4.10:

Таблиця 4.10. Порівняльний аналіз сильних і слабких сторін

№	Фактор конкурентоспроможності	Бали	Рейтинг товарів-конкурентів у порівнянні з проектом						
			-3	-2	-1	0	+1	+2	+3
1	Простота конструкції	12							+
2	Швидкодія системи	18			+				
3	Точність системи	19			+				
4	Технічна підтримка	14					+		
5	Ціна	15							+
6	Наявність патентів	16		+					

Дослідивши слабкі і сильні сторони проекту, зроблено висновок, що розроблена система є конкурентоспроможною завдяки простоті конструкції, меншій ціні та технічній підтримці, при цьому трохи жертвуючи точністю та швидкістю системи, а також маючи мінімум патентів.

На основі даних, записаних в таблицях 4.2, 4.6, 4.7 та 4.10, проведено SWOT-аналіз стартап проекту. Результати аналізу занесено до таблиці 4.11:

Таблиця 4.11. SWOT-аналіз стартап проекту

(S) Сильні сторони:	(W) Слабкі сторони:
1. Простота конструкції	1. Точність системи
2. Низька ціна	2. Швидкодія системи
3. Простота налаштування	3. Ефективність зворотного зв'язку
4. Доступність в Україні	4. Відсутність патентів
5. Технічна підтримка	

(O) Можливості:	(Т) Загрози:
1. Зменшення конкурентів 2. Успішний клієнт, який розширює підприємство 3. Розвиток технологій 4. Зменшення податків 5. Відкриття зарубіжного ринку	1. Збільшення конкурентів 2. Дефіцит матеріалів 3. Зменшення кваліфікації працівників 4. Неочікуваний вихід з ладу системи. 5. Поява нового, раніше невідомого, кращого методу транспортування

Проведений SWOT-аналіз показав, що стартап проект має певні недоліки, але його сильні сторін достатньо, щоб можна було конкурувати з іншими фірмами, а ймовірних можливостей достатньо, щоб можна було продовжити власне існування навіть при зіткненні з ймовірними загрозами.

На основі таблиці 4.11. досліджено альтернативи ринкового впровадження стартап-проекту. Результати занесено до таблиці 4.12:

Таблиця 4.12. Альтернативи ринкового впровадження проекту

№	Альтернатива ринкової поведінки	Ймовірність отримання ресурсів	Строки реалізації
1	Стратегія нейтралізація загроз завдяки сильним сторонам проекту	Висока ймовірність, оскільки наявні сильні сторони мають можливість подолання загроз	3 – 6 місяців
2	Стратегія компенсація слабких сторін проекту завдяки можливостям	Середня ймовірність, бо ринкові можливості помірно компенсують слабкі сторони	6 – 12 місяців
3	Стратегія виходу з ринку	Низька ймовірність, оскільки вихід з ринку передбачає закриття проекту	4 – 8 місяців

Із зазначених альтернатив обираємо стратегію нейтралізацію загроз завдяки сильним сторонам проекту.

4.3. Розробка ринкової та маркетингової програми стратегії проекту

Розробка ринкової стратегії передбачає визначення стратегії охоплення ринку, а саме опис цільових груп потенційних користувачів. Виходячи з таблиці 4.5, цільовою групою потенційних користувачів є виробничі підприємства малогабаритних товарів, в першу чергу, деталей.

Розробка базової стратегії ринку з метою охоплення цільової групи споживачів приведено у таблиці 4.13:

Таблиця 4.13. Визначення базової стратегії ринку

Обрана альтернатива розвитку проекту	Стратегія охоплення ринку	Конкурентоспроможні позиції відповідно до обраної альтернативи	Базова стратегія розвитку
Стратегія нейтралізація загроз завдяки сильним сторонам проекту	Завдяки простоті конструкції можна зменшити витрати на неї без втрат якості	1. Простота конструкції 2. Дешева програмне забезпечення 3. Ціна	Стратегія лідерства по витратам

Визначивши базову стратегію розвитку, обрано стратегію конкурентної поведінки (таблиця 4.14).

Таблиця 4.14. Визначення стратегії конкурентної поведінки

Проект – це першопроходець на ринку?	Шукати нових споживачів чи забирати існуючих у конкурентів?	Чи буде компанія копіювати х-ки товарів конкурентів?	Стратегія конкурентної поведінки
Ні, але все ж є одним із перших	Намагатися шукати нових	Іноді, але додає власні, нішові	Наслідування лідеру

Оскільки на ринку є декілька конкурентів, які створюють системи транспортування, один із яких є лідером. Стратегія наслідування лідеру дозволить мати клієнтів, якщо до товару лідеру додати власні нішові характеристики, і в той же час економити на менш важливих характеристиках.

На основі обраної стратегії визначено стратегію позиціонування (таблиця 4.15).

Таблиця 4.15. Визначення стратегії позиціонування

Вимоги до товару	Базова стратегія розвитку	Ключові позиції конкурентоспроможності	Асоціація
Точна та швидка транспортна система за невелику ціну і з простим керуванням	Стратегія лідерства по витратам	Дешева система транспортування, проста у розумінні	Трохи повільніша і менш точна система, однак проста, дешева і зручна

Базуючись на попередніх таблицях, визначено ключові переваги концепції потенційного товару, підсумовано результати конкурентоспроможності товару (таблиця 4.16):

Таблиця 4.16. Ключові переваги концепції потенційного товару

Потреба	Вигода, яку пропонує товар/послуга	Ключові переваги над конкурентами
Точна та швидка транспортна система за невелику ціну і з простим керуванням	Простіша в користуванні, дешевша система транспортування, яка дещо повільніша і менш точна дорогих і складних аналогів	Значно дешевша система транспортування деталей, ніж у конкурентів, яка є простішою у користуванні і налаштуванні.

Базуючись на результатах аналізу ключових моментів конкурентоспроможності стартап-проекту, можна зробити висновок, що основною перевагою розробленої

системи є простота конструкції та програмного забезпечення, що робить її більш доступною для власників підприємств, за рахунок невеликого погіршення швидкодії і точності у порівнянні з системами конкурентів.

Проведено дослідження рівнів товару, результати якого занесено до таблиці 4.17:

Таблиця 4.17. Рівні моделі товару/послуги

Рівні товару	Сутність і складові		
I. Товар за задумом	Універсальна автоматизована системи транспортування і її індивідуальна адаптація під заданий виробничий процес за доступною ціною.		
II. Товар у реальному виконанні	Характеристики / властивості	М/Нм*	Вр/Тх/Тл/Ек/Ор**
	1. Дешева конструкція	М	Ек
	2. Проста конструкція	М	Тх, Вр
	3. Просте керування	Нм	Ор
	4. Достатня точність і швидкодія	Нм	Тл
	5. Якісна технічна підтримка	Нм	Ор
Якість: відповідає ДСТУ 3993-2000			
Пакування: автоматизований транспортний візок без коробки, але окремі зовнішні елементи захищені пінопластом, а зовнішні датчики запаковані у коробки відповідно до ДСТУ 2887-94			
Марка: Omni Cart A001 від ТОВ «Advanced Transportation»			
III. Товар з підкріпленням	До продажу: консультація щодо того, як саме адаптувати систему.		
	Після продажу: Якісна технічна підтримка і швидке реагування на ймовірні проблеми		
Потенційний товар буде захищений патентами на розроблені елементи конструкції.			

* М – матеріальна, Нм – не матеріальна характеристика. ** Вр – виробнича, Тх – технічна, Тл – технологічна, Ек – економічна, Ор – організаційна характеристика.

Виходячи з досліджених рівнів моделі товару, можна зробити висновок, що товар у реальному виконанні в достатній мірі відповідає товару за задумом, який був розроблений ще на стадії ідеї стартап-проекту, проте було трохи видозмінено деякі

елементи, щоб товар був краще адаптований до умов ринку, а товар з підкріпленням робить його привабливішим для потенційних клієнтів.

Визначивши рівні моделі товару, проведено визначення цінових меж, якими варто керуватися для того, щоб встановити ціни на товар. Проведено аналіз цін товарів конкурентів та доходів користувачів продукту і його результати занесено до таблиці 4.18:

Таблиця 4.18. Аналіз меж встановлення цін

Ціни на товари-замінники	Ціни на товари-аналоги	Доходи групи споживачів	Межі встановлення цін
300 000 грн/од – 1 200 000 грн/од	600 000 грн/од – 1 000 000 грн/од	500 000 грн/рік – 2 000 000 грн/рік	200 000 грн/од – 400 000 грн/од

Проаналізувавши ціни, визначено такі межі встановлення цін на власний продукт, щоб він міг конкурувати з товарами-аналогам та товарами-замінниками, при цьому бути доступними для групи споживачів.

Сформовані системи збуту приведено у таблиці 4.19:

Таблиця 4.19. Формування системи збуту

Закупівельна поведінка цільових клієнтів	Функції збуту, які має виконувати постачальник	Глибина каналу збуту	Оптимальна система збуту
Підприємства купують систему і послугу її адаптації до виробництва	Автоматизована система повинна потрапляти одразу до покупця разом з людиною-налаштовувачем	У межах України, і, за можливості, за кордоном.	Посилкова торгівля

При дослідженні факторів, які впливають на формування системи збуту, обрано посилкову торгівлю, оскільки продукція має надходити від місця її виробництва

одразу до споживача разом з людиною, яка допоможе адаптувати систему під виробництво.

Проведено розробку концепції маркетингових комунікацій (таблиця 4.20):

Таблиця 4.20. Розробка концепції маркетингових комунікацій

Специфіка поведінки клієнтів	Канали комунікації	Ключові позиції позиціонування	Завдання рекламного повідомлення	Концепція рекламного звернення
Шукають продукти або послуги тільки під час потреби	Інтернет, новини, спеціалізовані канали у соцмережах	Дешева система транспортування, проста у розумінні	Заявити про існування товару, який є актуальним та корисним	«Допоможемо легко і дешево автоматизувати транспортування у виробництві»

Провівши необхідні дослідження, розроблено концепцію маркетингових комунікацій, що являє собою рекламу у спеціальних місцях, де власники підприємств будуть шукати товари та послуги, які допоможуть покращити виробниче підприємство.

Висновки за розділом 4

У даному розділі, на основі автоматизованої системи транспортування деталей, спроектованої у попередніх розділах, розроблено стартап-проект, завдяки якому можна буде вивести спроектовану систему на ринок, а також підтримувати її.

При розробці стартап-проекту було представлено загальну ідею, яка являла собою розробку універсальної автоматизованої системи транспортування і її індивідуальну адаптація під заданий виробничий процес.

Базуючись на цій ідеї, було спроектовано загальне бачення готового продукту і визначено його слабкі, нейтральні та сильні сторони, а також проведено аналіз ринку задля визначення ймовірних загроз, що можуть зашкодити проекту, а також можливостей, які можуть допомогти реалізації, за основи яких проведено загальний SWOT-аналіз проекту.

На базі SWOT-аналізу визначено альтернативні стратегії ринкового впровадження проекту, що являють собою нейтралізацію загроз, використовуючи сильні сторони розробленої системи.

На основі сильних сторін стартап-проекту проведено аналіз його конкурентоспроможності, завдяки якому виявилось, що продукція може скласти конкуренцію товарам-аналогам завдяки більшій доступності, простішим керуванням та якісній технічній підтримці.

Знаючи ключові позиції конкурентоспроможності, визначено три рівні моделі проекту, межі встановлення цін, основну стратегію збуту, а також концепцію маркетингових комунікацій.

Проведений аналіз дозволить з більшою вірогідністю благополучно вивести розроблену автоматизовану систему транспортування на ринок, яка зможе підтримувати конкуренцію товарам-аналогам, завдяки чому буде забезпечено прибуток компанії і проект допоможе іншим підприємствам автоматизувати транспортну частину виробничого процесу.

ВИСНОВКИ

У даній роботі, провівши дослідження, виконано задачі:

1. У першому розділі проведено порівняльний аналіз існуючих видів систем транспортування, які здебільшого використовуються у серійному виробництві, а також їх окремих елементів конструкції, в тому числі коліс. Порівнявши ці системи транспортування, обрано напрямок розробки власної системи транспортування, що в результаті прийняло форму автоматизованого транспортного візка на колесах меканум із встановленими двома маніпуляторами та індивідуальним накопичувачем.

2. На основі проведених аналітичних досліджень, використовуючи САД систему SolidWorks 2018, розроблено схематичну конструкцію автоматизованого транспортного візка та детальну конструкцію коліс меканум, параметри яких було використано при розрахунку формул для вирішення задач кінематики, які в подальшому були використанні для нівелювання похибок і оптимізації процесу переміщення візка між робочими місцями.

3. Розроблено алгоритми роботи системи, які в подальшому стали основою для програмного забезпечення автоматизованої системи транспортування.

4. Використовуючи рівняння для вирішення задач кінематики, оптимізовано процес переміщення автоматизованого транспортного візка, що допомогло зменшити загальний час переміщення.

5. Використовуючи попередньо розроблені алгоритми, розроблено програмне забезпечення для практичної реалізації алгоритму роботи автоматизованої системи транспортування, що дозволило забезпечити високу точність, швидкодію та гнучкість системи, тим самим підвищуючи загальну продуктивність виробничого процесу.

6. На основі проведених теоретичних та практичних досліджень, сформовано стартап-проект з використанням розробленої автоматизованої системи транспортування деталей в умовах «безлюдної технології», завдяки якому розроблену

систему можна буде вивести у ринок, тим самим забезпечивши автоматизацію системи транспортування виробничим компаніям.

Таким чином, виконавши поставлені задачі, у даній роботі досягнуто мети, а саме розробити автоматизовану системи транспортування, яка дозволить підвищити ефективність, гнучкість та продуктивність середньо серійного виробництва, завдяки використанню покращеного методу переміщення, який досягається через встановлення транспортного засобу на все направлені колеса меканум, а також використання змінних захватних пристроїв маніпуляторів та індивідуальних накопичувачів.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

- [1] Технологія приладобудування: навчальний посібник для студентів напрямку підготовки 6.051003 «Приладобудування», 7.090902 «Наукові, аналітичні та екологічні прилади та системи» приладобудівного ф-ту / Уклад.: Автори: Шевченко В.В., Осадчий О.В., Симута М.О. – К.: НТУУ «КПІ», 2010. – 128 с.
- [2] Ласі Г., Феттке Г., Кемпер Х. та ін. Індустрія 4.0. *Bus Inf Syst Eng* 6, с. 239–242 (2014)
- [3] Б. Марр. Що люди повинні знати про Індустрію 4.0.: *Forbes*. – 2016. – с. 4
- [4] Організація виробництва : навч. посібник / В. В. Прохорова, О. Ю. Давидова. – Х. : Вид-во Іванченка І.С., 2018. – 275 с.
- [5] Фрагапане Г., Іванов Д., Перон М. та ін. збільшення гнучкості і продуктивності в виробничих мережах Індустрії 4.0 з використанням автономних мобільних роботів. *Ann Oper Res* 308, 2022, с. 125–143
- [6] Кумар С., Розробка і методологія автоматично керованих транспортних засобів. *Журнал механіки і цивільної інженерії*, 2016, с. 2278-1684.
- [7] Офіційний сайт BionicHIVE. Автономний робот SqUID:
URL: <https://www.bionichive.com/>

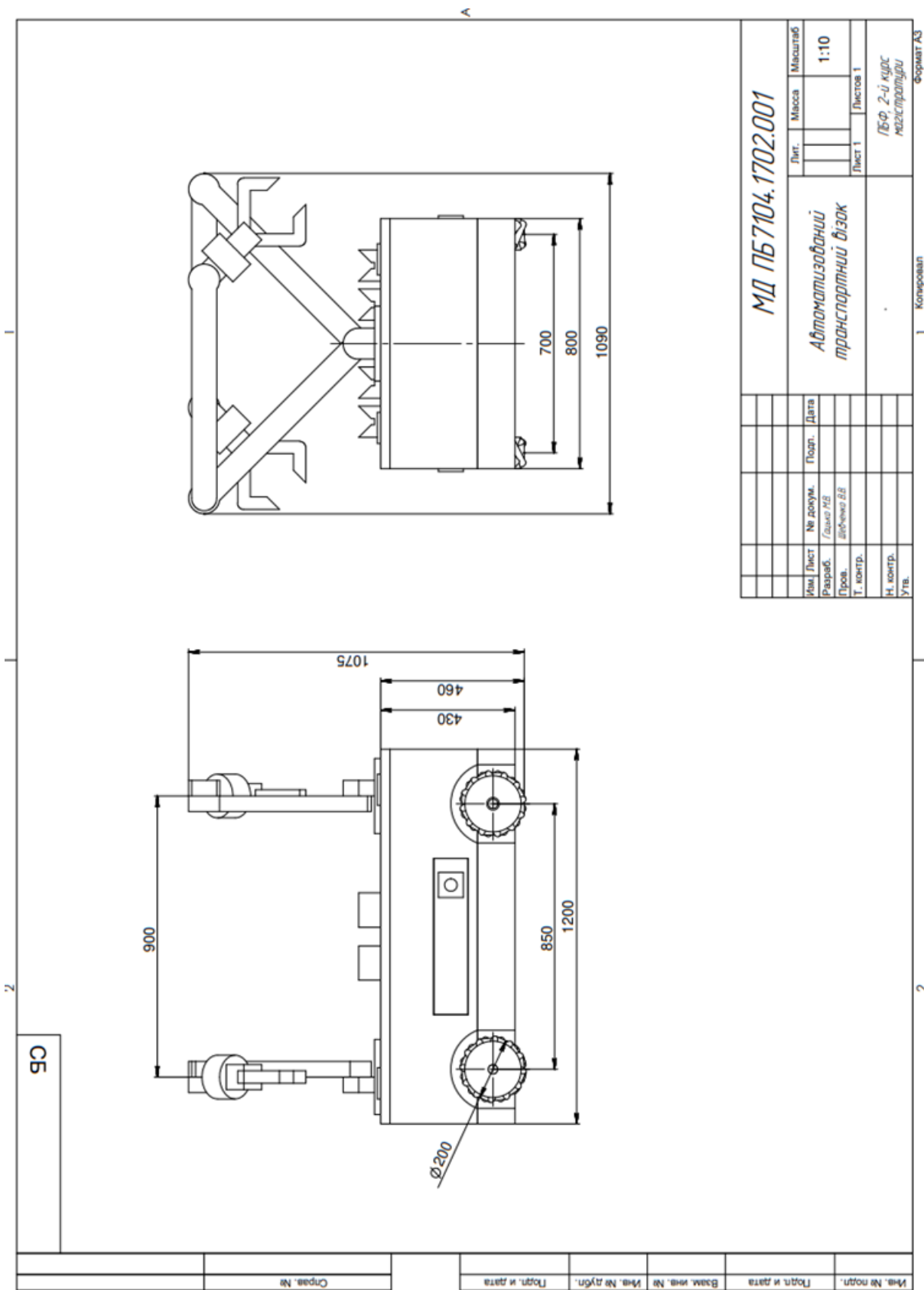
- [8] М. А. Роа та ін. Хакатон мобільних маніпуляцій: рух до світу: Перехід до мобільних додатків. IEEE Robotics & Automation Magazine, видання 28, номер 2, червень 2021, с. 112-124,
- [9] Катрін Д. та ін. Адитивне виробництво з використанням мобільних роботів: можливості та виклики для будівництва будівель, Дослідження цементу та бетону. – видання 158, 2022, с. 6.
- [10] Баррет Е. та ін. автономна заміна батарей БПЛА з мобільною наземною базою, Міжнародна конференція робототехніки та автоматизації, 2018, с. 699-705
- [11] Банкер Стів. Автоматизація – це майбутнє складських приміщень. Forbes, липень 2020, с. 5.
- [12] Рьовокампер Дж. Та ін. Про точність позиціонування локалізації мобільного робота на основі фільтрів частинок у поєднанні з узгодженим сканування, Міжнародна конференція розумних роботів і систем, 2012, с. 3158-3164
- [13] Тім Гестон. Автономні мобільні роботи можуть змінити виготовлення металу: журнал Fabricator, листопад 2021, с 7.
- [14] Гакканен Юана. Розробка автоматично керованих транспортних засобів для переміщення матеріалів всередині виробництв. Журнал Vaisala, лютий 2019, с. 6.
- [15] Болу. А, Корчак О. Адаптивне планування завдань для розумного складу з багатьма роботами. Міжнародна конференція розумних фабрик, 9-те видання, 2021, ст. 27346-27358.
- [16] Руїнз. Е. та ін. Розробка платформи керування для мобільного робота Roomba з використанням ROS і кінетичного сенсора, Латиноамериканський симпозиум та змагання роботів. 2013, с. 55-60
- [17] Дж. Блумріч. Омні спрямоване колесо: пат. US3789947А Сполучені Штати, заявл. 17.04.1972; опубл. 05.02.1974. – 8 с.
- [18] Запатентовані омні спрямовані колеса Rotacaster 125 мм. Каталог продуктів. Materials Handling, с. 2
- [19] Дж. Дж. Пармар, Ч. В. Савант. Вибір коліс в роботах: Міжнародний журнал наукових та інженерних досліджень. – жовтень 2014. – с. 339

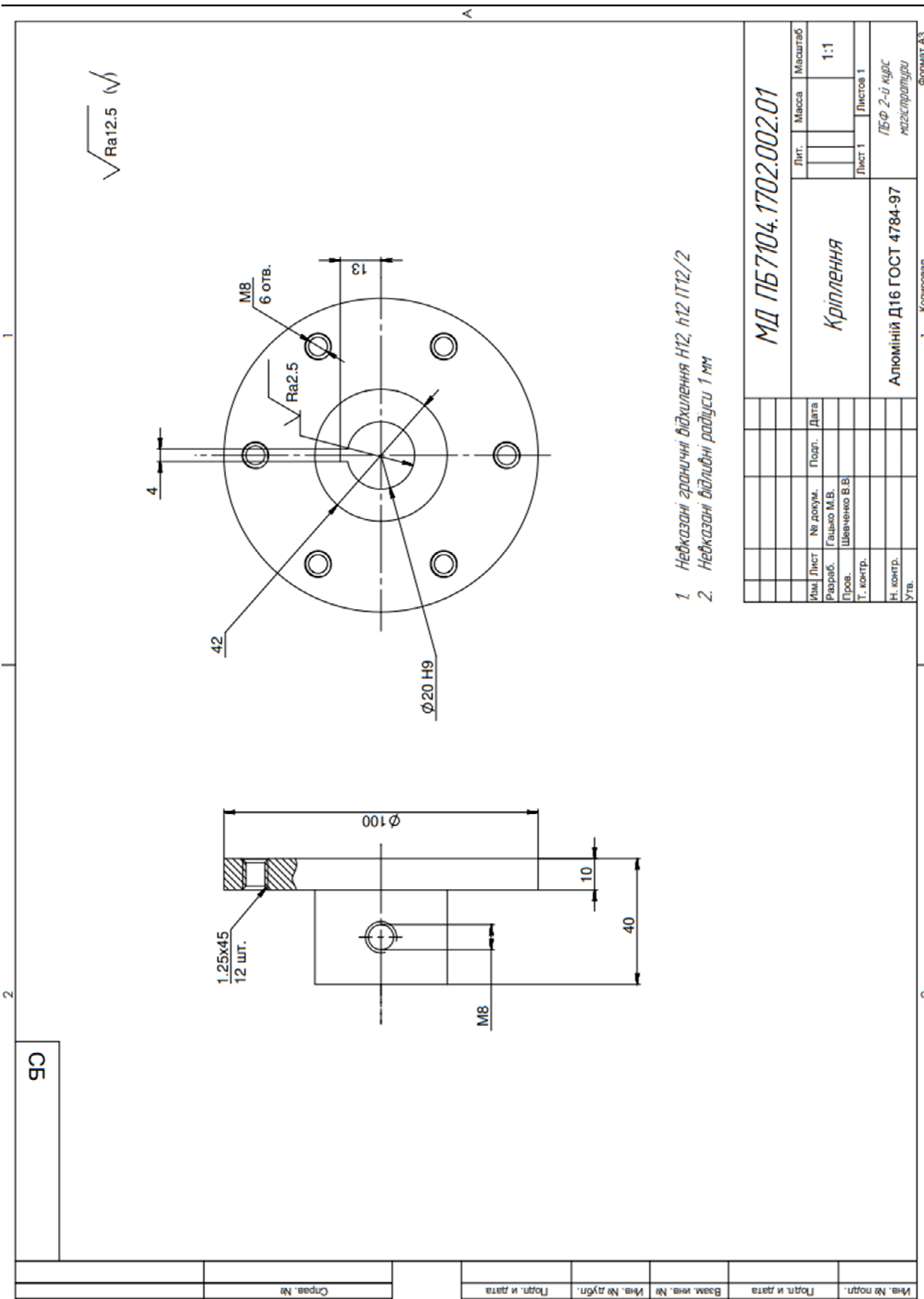
- [20] 10-дюймове ліве колесо механум з 6 отворами, розроблене компанією AndyMark. AndyMark, січень 2013, с.6
- [21] Б. Е. Ілон. Колеса для курсової стійкої самохідної машини, які можуть рухатися в будь-якому бажаному напрямку на землі або іншій базі : пат. DE2354404A1 Німеччина; заявл. 30.10.1973; опубл. 16.05.1974. – 8 с.
- [22] SPOT: офіційний сайт Boston Dynamics. URL: <https://www.bostondynamics.com/products/spot>
- [23] Зіммерман СС., Поранне Р., Корос С. Динамічні захвати за допомогою Boston Dynamics Spot із зовнішньою робототехнічною рукою. Міжнародна конференція роботів та автоматизації, 2021, с. 4488-4494
- [24] Н. Денгре та ін. Проектування та виготовлення колеса механум для всеспрямованного робота. Міжнародний журнал досліджень і розробок машинобудування та виробництва (IJMPERD) ISSN (P): 2249-6890; ISSN (E): 2249-8001 Спеціальний випуск, серпень 2018 р., с. 14-19
- [25] Сучасна робототехніка: механіка, планування та керування. Кембріджський Університет. – К. М. Лінч, Ф. С. Парк. – 2017. – 642 с.
- [26] Ф. Льяз, Хі Квон Янг, А. У. Ахмад, Чанкіл Лі. "Позиціонування в приміщеннях. Дослідження систем ультразвукового позиціонування в приміщеннях," 2013, XV Міжнародна конференція просунутих технологій комунікації, 2013, с. 1146-1150
- [27] Коштак М., Слабий А, Проектування простого фідуційного маркера для локалізації в просторі за допомогою нейронних мереж. Журнал Сенсори 2021, видання 21, с. 5407
- [28] Методичні рекомендації до виконання розділу магістерських дисертацій для студентів інженерних спеціальностей / За заг. ред. О.А. Гавриша. – Київ : НТУУ «КПІ», 2016. – 28 с.
- [29] Хсі Пенг Лу, Чен І Венг. Розумна виробнича технологія, аналіз зрілості ринку. Технологічне прогнозування та соціальні зміни. видання 133, 2018, с. 85-94.

ДОДАТКИ

Додаток А.

Креслення автоматизованого візка





1. Неказані граничні відхилення Н12, н12 ІТ12/2
2. Неказані відлібні радіуси 1 мм

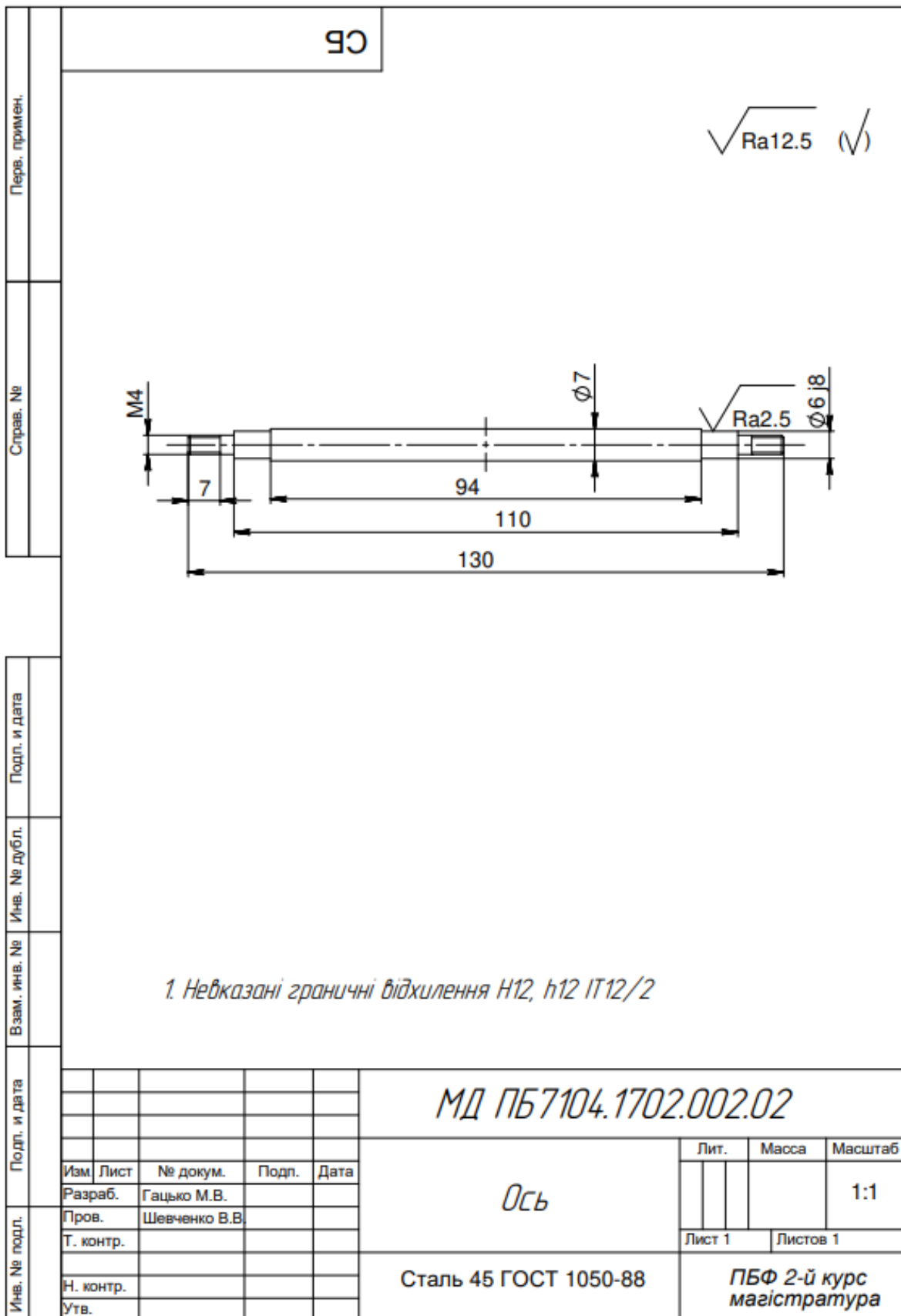
МД ПБ7104.1702.002.01		Лист	Масштаб
Кріплення		Лист 1	1:1
Алюміній Д16 ГОСТ 4784-97		Листов 1	
Корисвал		ПБФ 2-й курс	
		магістратури	
		Формат А3	

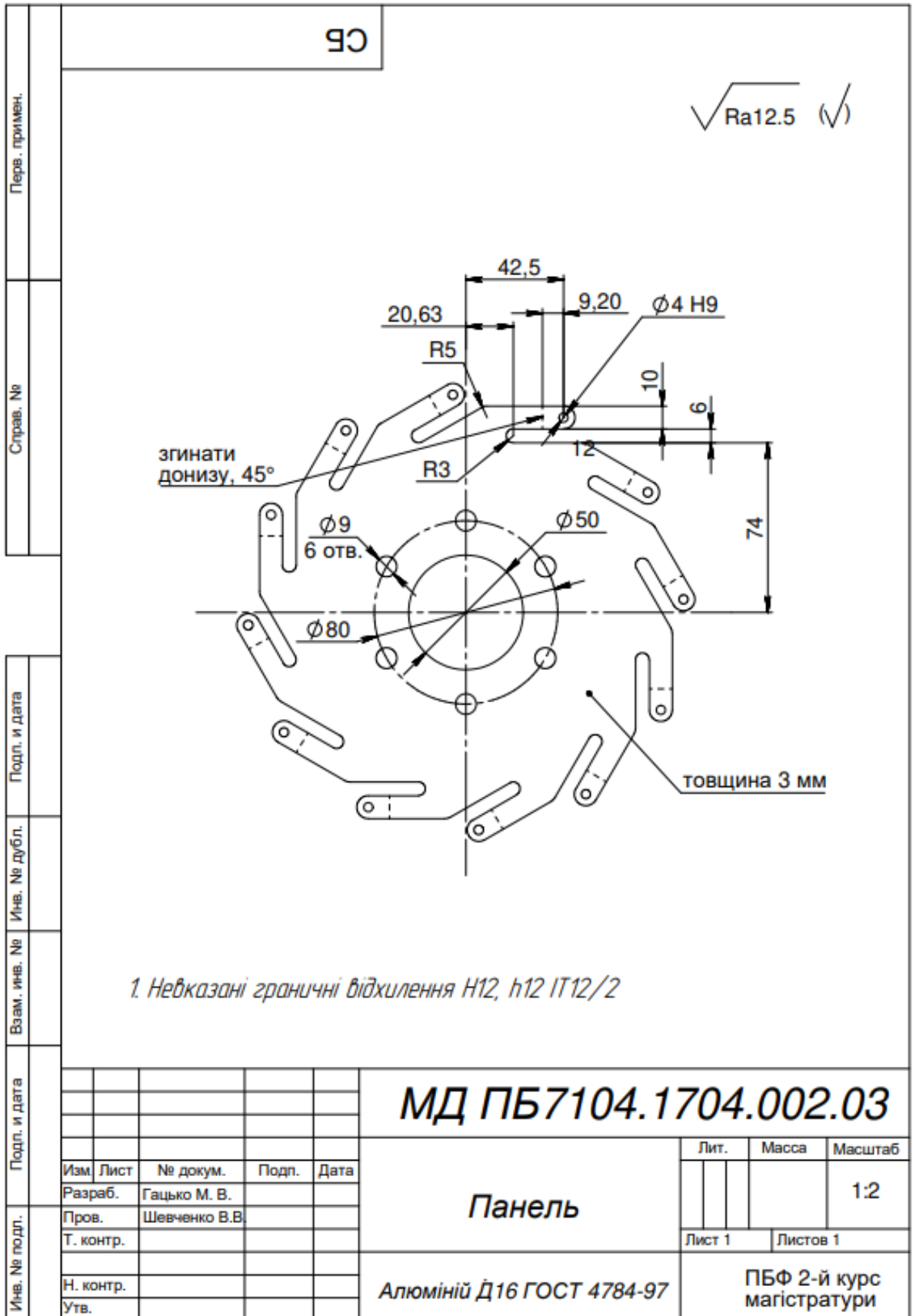
90

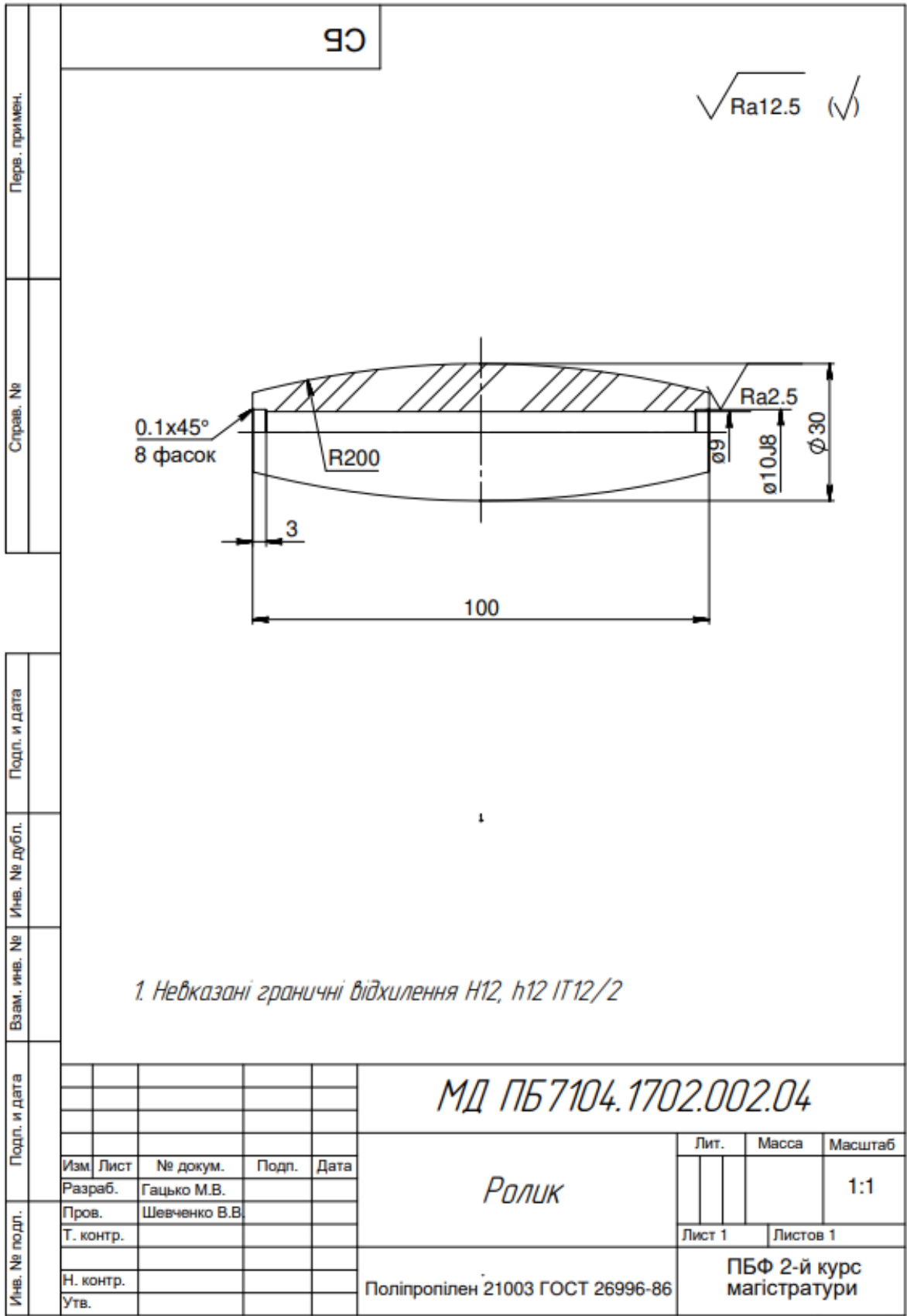
2

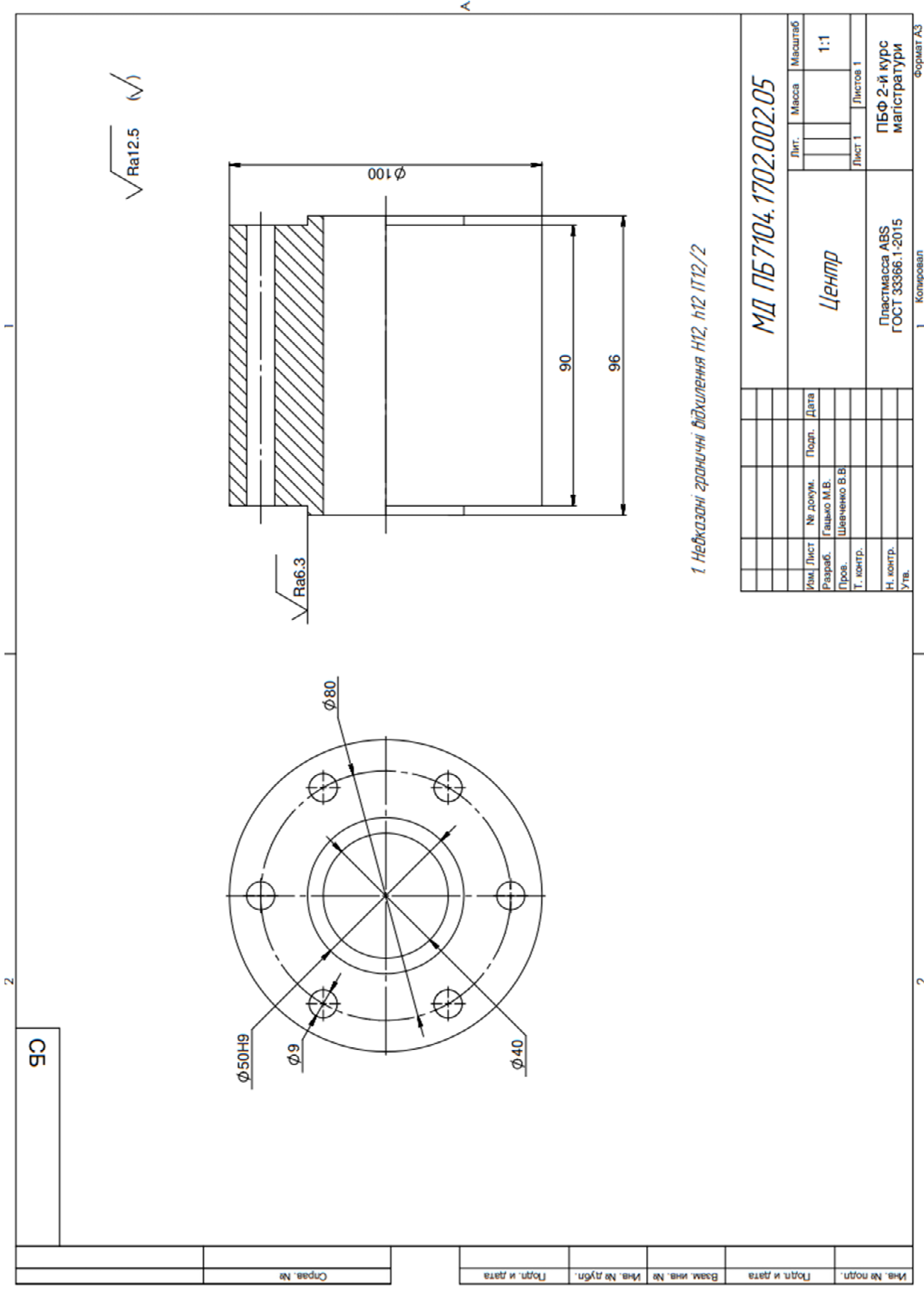
2

Имя, № подл.	Подп. и дата	Взам. инв. №	Иив. № дубл.	Подп. и дата	Справа, №
--------------	--------------	--------------	--------------	--------------	-----------









1 Небезпечні граничні відхилення Н12, н12 ІТ12/2

Вам.	Лист	№ докум.	Позп.	Дата
Розроб.	Гайко М.В.			
Пров.	Шевченко В.В.			
Т. контр.				
Н. контр.				
Утв.				

Лит.	Масштаб
	1:1
Лист 1	Листов 1

МД ПБ7104.1702.002.05

Центр

Пластмасса ABS
ГОСТ 33366.1-2015

ПБФ 2-й курс
магістратури

Копіював

Формат А3

СБ

Мив. № подл.	Подл. и дата	Вам. мив. №	Мив. № дубл.	Подл. и дата	Справ. №
--------------	--------------	-------------	--------------	--------------	----------

Код розробленого програмного забезпечення

```

from math import *
from os.path import exists
import random

def GetOperationCode():
    return int(input())
def GetRequiredPosition(currentOperation):
    result = []
    if exists('PositionDataBase.txt'):
        with open('PositionDataBase.txt') as file:
            for line in file:
                line += '\t'
                position = []
                k = 0
                temp = ""
                arr = list(line)
                for i in range(len(line)):
                    if (arr[i] != '\t') and (arr[i] != '\n'): # or (arr[i] != '\n')
                        temp += arr[i]
                    elif (temp != ""):
                        position.append(int(temp)) #int
                        temp = ""
                        k += 1
                    else:
                        temp = ""
                        k += 1
                if position[0] == currentOperation:
                    for i in range(len(position) - 1):
                        result.append(position[i + 1])
            file.close()
    else: result = [10000, 20000, 0]
    return result
def GetCurrentPosition(currentOperation):
    positions = GetRequiredPosition(currentOperation) # Immitation
    result = []
    i = random.randint(0,1) * 2 - 1
    result.append(positions[0] + i * (600.0 + random.randint(0, 1500)) / 10.0)
# Immitation
    i = random.randint(0,1) * 2 - 1
    result.append(positions[1] + i * (600.0 + random.randint(0, 1500)) / 10.0)
# Immitation
    result.append(positions[2] + (-70.0 + random.randint(0, 140)) / 10.0)
# Immitation
    return result
def GetPositionError():
    result = []
    result.append((- 500.0 + random.randint(0, 1000)) / 10.0)

```

```

result.append((- 500.0 + random.randint(0, 1000)) / 10.0)
result.append((- 50.0 + random.randint(0, 100)) / 10.0)
if (random.randint(0,6) >= 5): # > 5
    result = [0]
return result
def SetWheelSpeed(w, t):
    print("\nAngular speed is set for " + str(t) + " s:") # Immitation
    for i in range(4): print("Wheel " + str(i + 1) + ": " + str(w[i]) + " rad/s")
def IsReady():
    # Immitation
    return True
def IsToInstall(install):
    # <install> is immitation
    if install==0: yesNo = True
    else: yesNo = False
    return yesNo
def GetPartIndex(operationCode, holderNumber):
    holderNumber += 1
    index = ""
    defect = random.randint(0,11)/10 # Immitation
    if defect == 0: # Immiation
        index += str(operationCode * 1000 + holderNumber * 10)
    else:
        index += str((operationCode - 5) * 1000 + holderNumber * 10 + random.randint(1,2))

    return index
def InstallPart(operationCode, holderNumber):
    print("Part installation process started:")
    print("Operation " + str(operationCode) + ", Holder " + str(holderNumber + 1))
    if IsReady(): print("System is ready to continue.")
def ReturnPart(operationCode, holderNumber):
    print("\nPart returning process started:")
    print("Operation " + str(operationCode) + ", Holder " + str(holderNumber + 1))
    if IsReady(): print("System is ready to continue.")
def GetNextPosition(currentOperation):
    result = []
    if exists('PositionDataBase.txt'):
        with open('PositionDataBase.txt') as file:
            for line in file:
                line += '\t'
                position = []
                k = 0
                temp = ""
                arr = list(line)
                for i in range(len(line)):
                    if (arr[i] != '\t') and (arr[i] != '\n'): # or (arr[i] != '\n')
                        temp += arr[i]
                    elif (temp != ""):
                        position.append(int(temp)) #int
                        temp = ""
                        k += 1

```

```

        else:
            temp = "
            k += 1
            if position[0] == currentOperation + 5:
                for i in range(len(position) - 1):
                    result.append(position[i + 1])
            file.close()
        else: result = [10000, 20000, 0]
    return result
def SetOptimizedMovement(isClockwise, a, t_ang, t_lin):
    print("\nOptimized movement has been set:")
    if not isClockwise: print("Starting angle: " + str(a) + " deg, CounterisClockwise rotation")
    else: print("Starting angle: " + str(a) + " deg, isClockwise rotation")
    print("Rotation time: " + str(t_ang) + " s")
    print("Linear time: " + str(t_lin) + " s")
def AngularSpeed(t, a, isClockwise):
    if isClockwise:
        w1 = 20 * cos(2.58064 * t + radians(a)) - 20 * sin(2.58064 * t + radians(a)) #+ 20
        w2 = 20 * cos(2.58064 * t + radians(a)) + 20 * sin(2.58064 * t + radians(a)) #- 20
        w3 = 20 * cos(2.58064 * t + radians(a)) + 20 * sin(2.58064 * t + radians(a)) #+ 20
        w4 = 20 * cos(2.58064 * t + radians(a)) - 20 * sin(2.58064 * t + radians(a)) #- 20
    else:
        w1 = 20 * cos(radians(a) - 2.58064 * t) - 20 * sin(radians(a) - 2.58064 * t) #- 20
        w2 = 20 * cos(radians(a) - 2.58064 * t) + 20 * sin(radians(a) - 2.58064 * t) #+ 20
        w3 = 20 * cos(radians(a) - 2.58064 * t) + 20 * sin(radians(a) - 2.58064 * t) #- 20
        w4 = 20 * cos(radians(a) - 2.58064 * t) - 20 * sin(radians(a) - 2.58064 * t) #+ 20
    w1 = int(w1 * 1000)/1000.0
    w2 = int(w2 * 1000)/1000.0
    w3 = int(w3 * 1000)/1000.0
    w4 = int(w4 * 1000)/1000.0
    return[w1, w2, w3, w4]
def PrintSpeed(t, w):
    print(str(t)+'\t'+str(w[0])+'\t'+str(w[1])+'\t'+str(w[2])+'\t'+str(w[3]))

print("Current Operation Code: ")
currentOperation = GetOperationCode() # Immitation
#raw_input()
requiredPosition = GetRequiredPosition(currentOperation)
print("\nRequired Position is: ")
print(requiredPosition)
#raw_input()
isAccurate = False # Immitation
w = []
while 1:
    if isAccurate: # Immitation
        positionError[0] = random.randint(0, 48) / 10.0
        positionError[1] = random.randint(0, 48) / 10.0
        positionError[2] = random.randint(0, 9) / 10.0
    else: positionError = GetPositionError() # Immitation
    print("Current Position Error is:")
    print(positionError)

```

```

if (positionError == [0]):
    currentPosition = GetCurrentPosition(currentOperation) # Immitation
    print("Onboard camera can not get image\nCurrent Position is:")
    print(currentPosition)
    print("Current Position Error is:")
    deltaX = int(10000*(currentPosition[0] - requiredPosition[0])) / 10000.0
    deltaY = int(10000*(currentPosition[1] - requiredPosition[1])) / 10000.0
    deltaA = int(10000*(currentPosition[2] - requiredPosition[2])) / 10000.0
    positionError = [deltaX, deltaY, deltaA]
    print(positionError)

elif abs(positionError[0])<5 and abs(positionError[1])<5 and abs(positionError[2])<1:
    break

w.append(10 * (-positionError[0]/1000.0 + positionError[1]/1000.0))
w.append(10 * (-positionError[0]/1000.0 - positionError[1]/1000.0))
w.append(10 * (-positionError[0]/1000.0 - positionError[1]/1000.0))
w.append(10 * (-positionError[0]/1000.0 + positionError[1]/1000.0))
w_norm = 1
w_max = 0
for i in range(4):
    if (abs(w[i]) > w_max):
        w_max = abs(w[i])
w_ang = abs(7.75 * positionError[2] * pi / 180.0)
t = w_max / w_norm
for i in range(4): w[i] = w_norm * w[i] / w_max
SetWheelSpeed(w, t) # Immitation
print("\nSystem in waiting mode: error compensation...")
if IsReady(): print("System is ready to continue.")
if positionError[2] > 0:w = [w_norm, -w_norm, w_norm, -w_norm]
else: w = [-w_norm, w_norm, -w_norm, w_norm]
t = w_ang / w_norm
SetWheelSpeed(w, t) # Immitation
print("\nSystem in waiting mode: angular error compensation...")
if IsReady(): print("System is ready to continue.")
isAccurate = True # Immitation
print("\nError compensation complited\n")

print("\n--- System has reached accurate position ---")
raw_input()

install = 0 # Immitation
i = 0
while 1:
    if i > 9: break
    partIndex = GetPartIndex(currentOperation, i)
    print("\nPart Index is: " + partIndex)
    if IsToInstall(install):
        if (int(partIndex)%10 == 0) and ((int(partIndex)/10)%100 != 0):
            InstallPart(currentOperation, i)
            install = 1 # Immitation

```

```

    partIndex = str(int(partIndex) - (i+1)*10) # Immitation
    print("\nSystem in waiting mode: part installed...")
    if IsReady(): print("System is ready to continue.")
elif (int(partIndex)/10)%100 == 0:
    print("\nHolder is empty: Skip installing from holder " + str(i+1))
else:
    print("\nDefect Detected: Skip installing from holder " + str(i+1))

if not IsToInstall(install):

    if ((int(partIndex)/10)%100 == 0):
        ReturnPart(currentOperation, i)
        install = 0 # Immitaion
    else: print("\nHolder occupied: Skip returning to holder " + str(i+1))
i += 1

print("\n--- All parts have been processed ---")
raw_input()

nextPosition = GetNextPosition(currentOperation)
print("\nCurrent position is:")
print(requiredPosition)
print("Next required position is:")
print(nextPosition)
positionError[0] = nextPosition[0] - requiredPosition[0]
positionError[1] = nextPosition[1] - requiredPosition[1]
positionError[2] = nextPosition[2] - requiredPosition[2]
print("Difference in positions is:")
print(positionError)
dX = positionError[0]
dY = positionError[1]
a1 = positionError[2]
V = pow(dX ** 2 + dY ** 2, 0.5)
positionError[0] = (V) * cos((requiredPosition[2]-a1)*pi/180.0)
positionError[1] = (V) * sin((requiredPosition[2]-a1)*pi/180.0)

w = []
w.append(10 * (positionError[0]/1000.0 - positionError[1]/1000.0))
w.append(10 * (positionError[0]/1000.0 + positionError[1]/1000.0))
w.append(10 * (positionError[0]/1000.0 + positionError[1]/1000.0))
w.append(10 * (positionError[0]/1000.0 - positionError[1]/1000.0))
w_norm = 20
w_max = 0
for i in range(4):
    if (abs(w[i]) > w_max):
        w_max = abs(w[i])
w_ang = abs(7.75 * positionError[2] * 3.1415 / 180.0)
t_lin = w_max / w_norm
t_ang = w_ang / w_norm
for i in range(4): w[i] = w_norm * w[i] / w_max
w_linear = w

```

```

if positionError[2] > 0: w = [-w_norm, w_norm, -w_norm, w_norm]
else: w = [w_norm, -w_norm, w_norm, -w_norm]
w_angular = w
a = requiredPosition[2]
t = t_ang
if positionError[2] > 180: isClockwise = True
else: isClockwise = False
SetOptimizedMovement(isClockwise, a, t_ang, t_lin)
print("\nSystem in waiting mode: movement...")
print("\nAngular Speed per unit time is:\n")
print("[t]\t[w1]\t[w2]\t[w3]\t[w4]\n")
t = 0
dt = 0.02
if t_ang < t_lin:
    while (t < t_ang):
        w1 = AngularSpeed(t, a, isClockwise)
        t = int(t * 1000)/1000.0
        PrintSpeed(t, w1)
        t += dt
    while (t < t_lin):
        t = int(t * 1000)/1000.0
        PrintSpeed(t, w_linear)
        t += dt
else:
    while (t < t_lin):
        w1 = AngularSpeed(t, a, isClockwise)
        t = int(t * 1000)/1000.0
        PrintSpeed(t, w1)
        t += dt
    while (t < t_ang):
        t = int(t * 1000)/1000.0
        PrintSpeed(t, w_angular)
        t += dt

print("\n--- Destination reached ---")
if IsReady(): print("\nSystem is ready to continue.")
print("\n--- Cycle is over ---")

raw_input()

```

Додаток Г.

Структурна схема автоматизованої системи

