

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

Факультет інформатики та обчислювальної техніки

Кафедра інформаційних систем та технологій

«На правах рукопису»
УДК _____ 004.42 _____

До захисту допущено:
В. о. завідувача кафедри
_____ Олександр РОЛІК
«__» _____ 2021 р.

Магістерська дисертація
на здобуття ступеня магістра
за освітньо-професійною програмою «Інформаційне забезпечення
робототехнічних систем»
зі спеціальності 126 «Інформаційні системи та технології»
на тему: «Модуль розрахунку параметрів крокуючого робота з генератором
аеродинамічної піднімальної сили»

Виконала:
студентка VI курсу, групи ІК-301мп
Дичко Софія Тарасівна _____

Керівник:
доцент, к. т. н., доц.,
Поліщук М. М. _____

Рецензент:
Директор, викладач вищої категорії,
старший викладач
Шафранська Зоряна Степанівна _____

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

Київ – 2021 року

Національний технічний університет України
«Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»
Факультет інформатики та обчислювальної техніки
Кафедра інформаційних систем та технологій

Рівень вищої освіти – другий (магістерський)

Спеціальність – 126 «Інформаційні системи та технології»

Освітньо-професійна програма «Інформаційне забезпечення робототехнічних систем»

ЗАТВЕРДЖУЮ

В. о. завідувача кафедри

_____ Олександр РОЛІК

« ___ » _____ 2021 р.

ЗАВДАННЯ
на магістерську дисертацію студенту

Дичко Софія Тарасівна

1. Тема дисертації «Модуль розрахунку параметрів крокуючого робота з генератором аеродинамічної піднімальної сили», науковий керівник дисертації Поліщук М. М., доцент, к. т. н., доц., затверджені наказом по університету від «25» 10 2021 р. № 3575-с
2. Термін подання студентом дисертації _____
3. Об'єкт дослідження : процес розробки генератора аеродинамічної піднімальної сили
4. Вихідні дані: ефективність процесу проектування генератора аеродинамічної піднімальної сили.
5. Перелік завдань, які потрібно розробити:
 - 1)Огляд та аналіз існуючих рішень; 2.)Розробити алгоритм розрахунку параметрів;
 - 3) Розробити програму автоматизованого розрахунку параметрів крокуючого робота з генератором
6. Орієнтовний перелік графічного (ілюстративного) матеріалу: 8 плакатів
7. Орієнтовний перелік публікацій: Дичко С.Т. Аналіз сучасного стану розвитку мобільних роботів довільної орієнтації / Наука онлайн: Міжнародний науковий журнал - 2021. - №10.

8. Дата видачі завдання _____

Календарний план

№ з/п	Назва етапів виконання магістерської дисертації	Термін виконання етапів магістерської дисертації	Примітка
1	Аналіз функціонування мобільних робіт горизонтальної та вертикальної орієнтації	01.09.2021 – 07.09.2021	
2	Огляд існуючих видів мобільних робіт	08.09.2021-14.09.2021	
3	Вивчення основних підходів побудови і модифікації робіт довільної орієнтації	15.09.2021-21.09.2021	
4	Опис принципу роботи робота-прототипу	22.09.2021-28.09.2021	
5	Вибір та обґрунтування оптимальності технічних рішень.	29.09.2021-05.10.2021	
6	Розробка алгоритму розрахунків параметрів для функціонування робота	06.09.2021-12.10.2021	
7	Технічна реалізація програми автоматизованого розрахунку параметрів	13.10.2021-19.10.2021	
8	Аналіз отриманих результатів	20.10.2021 – 26.10.2021	

Студент

Софія Дичко

Науковий керівник

Михайло Поліщук

АНОТАЦІЯ

У сучасному світі динамічного розвитку технологій індустрії робототехніка стає незамінним та унікальним засобом вирішення різноманітних завдань не тільки на виробництві й у торгівлі, а й у таких сферах, як транспорт, охорона здоров'я, рятувальні операції, освіта, сільське господарство та військова сфера. Поєднуючи наукові досягнення в електроніці, механіці, кібернетиці, телемеханіці, мехатроніці, інформатики, а також радіотехніки і електротехніки, робототехніка стала закономірним інструментом сучасної виробничої ланки.

Робототехніка (поряд з іншими проривними технологіями – штучним інтелектом, адитивними технологіями, біоенергетикою) є одним із найбільш зростаючих ринків. Якщо у 2017 р. ринок роботів у світі складав 39,3 млрд дол. (за іншими оцінками, 48 млрд дол), у 2018 р. він вже досяг показника 103 млрд дол., то до 2022 р. за прогнозами він сягне 210 млрд дол. (за більш радикально-оптимістичними прогнозами передбачається зростання до 498 млрд дол до 2025 р.). Ці дані підтверджує і стабільно висока динаміка зростання кількості проданих індустріальних роботів: якщо в 2012 р. було продано 159 тис. роботів, то у 2017 р. – 387 тис. одиниць.

Магістерська дисертація присвячена розробці модуля генератора реактивної тяги для мобільного робота, а саме алгоритмічне та програмне забезпечення для обрахунку параметрів роботи мобільного робота з генератором реактивної тяги. Основними завданнями, що вирішувалися в процесі написання магістерської дисертації були: дослідження сучасного стану розвитку мобільних роботів довільної орієнтації, огляд аналогів та існуючих роботів, розробка САЕ системи, за допомогою якої будуть здійснюватися обчислення параметрів генератора реактивної тяги.

Спроектовано програмне забезпечення для автоматизації обрахунку параметрів генератора аеродинамічної піднімальної сили. Інтерфейс даного застосунку зрозумілий та докладний, володіє додатковими функціями, такою як попередження про помилкові дані, можливість перегляду схеми.

Об'єкт дослідження – розробка та створення алгоритмічного та програмного забезпечення модуля розрахунку параметрів крокуючого робота з генератором аеродинамічної піднімальної сили.

Мета дипломного проекту – розроблення програмного забезпечення модуля розрахунку параметрів крокуючого робота з генератором аеродинамічної піднімальної сили.

За результатами досліджень теми магістерської дисертації опубліковано статтю у міжнародному науковому журналі.

Пояснювальна записка до магістерської дисертації має обсяг 100 сторінок та містить 37 рисунків, 23 таблиці, 25 літературних джерел.

Ключові слова: МОБІЛЬНИЙ РОБОТ, КРОКУЮЧІ МЕХАНІЗМИ, РОБОТ-АЛЬПІНІСТ, ГЕНЕРАТОР РЕАКТИВНОЇ ТЯГИ, РОБОТИ ВЕРТИКАЛЬНОГО ПЕРЕМІЩЕННЯ, РОБОТИ ДОВІЛЬНОЇ ОРІЄНТАЦІЇ.

ABSTRACT

In today's world of dynamic technology in Industry, robotics is becoming an indispensable and unique means of solving a variety of challenges not only in manufacturing and trade, but also in areas such as transportation, healthcare, rescue operations, education, agriculture and the military. Combining scientific advances in electronics, mechanics, cybernetics, telemechanics, mechatronics, computer science, as well as radio engineering and electrical engineering, robotics has become a natural tool of modern production.

Robotics (along with other breakthrough technologies - artificial intelligence, additive technologies, bioenergy) is one of the fastest growing markets. If in 2017 the robot market in the world was 39.3 billion dollars. (according to other estimates, 48 billion dollars), in 2018 it has already reached 103 billion dollars, then by 2022 it is projected to reach 210 billion dollars. (According to more radical-optimistic forecasts, it is expected to grow to \$ 498 billion by 2025). These data are confirmed by the consistently high dynamics of growth in the number of industrial robots sold: if in 2012 159 thousand robots were sold, in 2017 - 387 thousand units.

The master's thesis is devoted to the development of the module of the jet thrust generator for the mobile robot, namely the algorithmic and software for calculating the parameters of the mobile robot with the jet thrust generator. The main tasks to be solved in the process of writing a master's thesis were: study of the current state of development of mobile robots of arbitrary orientation, review of analogues and existing robots, development of SAE system, which will calculate the parameters of the thrust generator.

The software for automation of calculation of parameters of the generator of aerodynamic lifting force is designed. The interface of this application is clear and detailed, has additional features, such as warning about erroneous data, the ability to view the scheme.

The object of study is the development and creation of algorithmic and software module for calculating the parameters of a walking robot with a generator of aerodynamic lifting force.

The aim of the diploma project is to develop the software of the module for calculating the parameters of a walking robot with a generator of aerodynamic lifting force.

According to the results of research on the topic of the master's dissertation, an article was published in an international scientific journal.

The explanatory note to the master's dissertation has a volume of 100 pages and contains 37 figures, 23 tables, 25 literary sources.

Keywords: MOBILE ROBOT, STEPPING MECHANISMS, ROBOT-ALPINIST, JET THRUST GENERATOR, VERTICAL MOVEMENT ROBOT

ЗМІСТ

ПЕРЕЛІК УМОВНИХ ПОЗНАЧЕНЬ -----	9
ВСТУП -----	10
1 ОГЛЯД ТИПІВ ТА ОСНОВНИХ СТРУКТУРНИХ СКЛАДОВИХ РОБОТІВ-----	12
1.1 Пересування роботів -----	12
1.2 Огляд технологій і методів сприйняття роботів -----	34
1.3 Система пізнання та управління роботів -----	37
1.4 Навігація -----	40
Висновки до розділу -----	48
2 ОПИС МЕТОДИКИ РОЗРАХУНКУ ПАРАМЕТРІВ ГЕНЕРАТОРА РЕАКТИВНОЇ ТЯГИ ДЛЯ МОБІЛЬНОГО РОБОТА -----	49
Висновки до розділу -----	53
3 ОПИС РОБОТА -----	54
Висновок до розділу -----	60
4 РОЗРОБКА АЛГОРИТМІЧНОГО І ПРОГРАМНОГО ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ -----	61
4.1 Загальні відомості -----	61
4.2 Вибір середовища -----	64
4.2 Інтерфейс програми-----	66
Висновок до розділу -----	75
5 РОЗРОБКА СТАРТАП ПРОЕКТУ -----	76
5.1 Опис ідеї проекту -----	76
5.2 Технологічний аудит ідеї проекту -----	79
5.3 Аналіз ринкових можливостей запуску стартап-проекту -----	80
5.4 Розроблення ринкової стратегії проекту -----	87
5.5 Розроблення маркетингової програми стартап-проекту -----	90
Висновок до розділу -----	94
ВИСНОВОК-----	96

ПЕРЕЛІК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ----- 98

ПЕРЕЛІК УМОВНИХ ПОЗНАЧЕНЬ

КМР – конфігурація мобільного роботу

ППР – прототип п'ятиколісного робота

ЦО – центр обертання

ВСТУП

Гуманоїдні роботи, безпілотні велосипеди, розважальні тварини, дрони є чудовими прикладами мобільних роботів. Їх можна відрізнити від інших роботів за здатністю пересуватися автономно, з достатньою кмітливістю, щоб реагувати та приймати рішення на основі сприйняття, яке вони отримують від навколишнього середовища. Мобільні роботи повинні мати певне джерело вхідних даних, якийсь спосіб декодування цих вхідних даних і спосіб виконання дій (включаючи власний рух), щоб реагувати на мінливий світ. Потреба відчувати і пристосовуватися до невідомого середовища вимагає потужної системи пізнання. Нині існують мобільні роботи, які можуть ходити, бігати, стрибати, як і їхні біологічні побратими. Разом з цим виникло розгалуження напрямків робототехніки, на ті як колісні мобільні роботи, роботи на ногах, літаючі роботи, зір роботів, штучний інтелект та інші, які охоплюють різні технологічні галузі, такі як механіка, електроніка та інформатика. Ці нові тенденції керуються штучним інтелектом, автономним керуванням, мережевим зв'язком, кооперативною роботою, наноробототехнікою, дружнім інтерфейсом людина-робот, безпечною взаємодією людини і робота, а також вираженням і сприйняттям емоцій. Крім того, ці нові тенденції застосовуються до різних галузей, таких як медицина, охорона здоров'я, спорт, ергономіка, промисловість, дистрибуція товарів та сервісна робототехніка. Ці тенденції будуть продовжувати свою еволюцію в найближчі роки.

На сьогоднішній день мобільна робототехніка є однією з галузей наукових досліджень, які швидко розвиваються. Завдяки своїм здібностям мобільні роботи можуть замінити людей у багатьох сферах. Застосування включають спостереження, дослідження планети, патрулювання, аварійно-рятувальні операції, розвідку, застосування нафтохімічної хімії, промислову автоматизацію, будівництво, розваги, музейні путівники, персональні послуги, втручання в екстремальні середовища, транспортування, медичне обслуговування тощо, а також багато інших. промислове та непромислове застосування. Більшість із них вже доступні на ринку.

Мобільні роботи можуть пересуватися автономно (на промисловому підприємстві, в лабораторії, на планетарній поверхні тощо), тобто без допомоги сторонніх людей. Робот є автономним, коли сам робот має здатність визначати дії, які необхідно виконати для виконання завдання, використовуючи сприйняття системи, яка йому допомагає. Він також потребує блоку пізнання або системи керування для координації всіх підсистем, які входять до складу робота. Основи мобільної робототехніки складаються з областей пересування, сприйняття, пізнання та навігації.

1 ОГЛЯД ТИПІВ ТА ОСНОВНИХ СТРУКТУРНИХ СКЛАДОВИХ РОБОТІВ

1.1 Пересування роботів

Перша проблема, яка стосується мобільних роботів, - це пересування. Хоча їх рух зазвичай відбувається у відомих, контрольованих середовищах, таких як фабрика, універмаги, проте в інших випадках їм доводиться переміщатися в небезпечних, негостинних та екстремальних середовищах (наприклад, робот Sojourner, який використовується в місії Mars Pathfinder для дослідження Марс у 1997 році, Spirit and Opportunity у 2004 році, і Curiosity у 2012[1]).

Мобільний робот також може пересуватися в інших різних середовищах. Невеликий підводний робот для спостереження за океаном, який підходить для спостереження за океаном у фіксованій точці або малому діапазоні та підводних щілинах і балках, описано в дослідженні [2]. Інший приклад підводного робота можна знайти в статті Khatib [3]. Вони також можуть переміщатися в повітрі, наприклад, безпілотні літальні апарати. Остання тенденція, як-от автономні транспортні засоби без водія, покладається не тільки на контроль, але й на систему пересування. Система пересування робота є важливим аспектом конструкції мобільного робота, і вона залежить не тільки від середовища, в якій робот рухається (на поверхні Землі, під водою, у повітрі тощо), але й від технічних критеріїв, таких як маневреність, керованість, умови місцевості, ефективність, стабільність тощо. Залежно від цього роботи можуть переважно ходити, котитися, стрибати, бігати, ковзати, кататися на ковзанах, плавати та літати.

За їх системою пересування мобільні роботи можна розділити на такі основні категорії (Додаток А):

1.1.1 Стаціонарні роботи

Прикладами цього типу є маніпулятори та промислові роботи. Основа робота фіксована, і вони складаються з відкритого кінематичного ланцюга, в основному з кінцевим ефектом зі спеціальними інструментами, які не тільки обробляють об'єкти,

а й можуть виконувати такі завдання, як зварювання, фарбування, складання, механічна обробка тощо. До роботів цього типу належать Abb, Kuka, Fanuc, Staubli, Kawasaki, Comau, Wittman[4]. Іншими важливими стаціонарними роботизованими системами є захоплювальні пристрої. Захоплення є важливою частиною роботи, і з самого початку хапальні пристрої були задумані в основному для допомоги людям у виконанні завдань, забезпечуючи рішення, які можна розділити на дві категорії: інструменти та протези. З часом захоплювальні пристрої почали використовуватися в багатьох секторах, такі як промисловість; сільське господарство тощо, а також розроблена різноманітна роботизована механіка рук і пальців.

1.1.2 Наземні роботи

Колеса є однією з найважливіших систем для пересування роботів, а автономні інтелектуальні транспортні засоби є частиною складної області досліджень мобільної робототехніки, яка спирається на такі принципи, як розпізнавання образів та обробка сигналів-зображень. Вони відіграватимуть важливу роль у транспорті, логістиці та дистрибуції. Використання коліс простіше, ніж використання протекторів або ніжок, і його легше проектувати, будувати та програмувати, коли робот рухається по рівній, непересіченій місцевості. Вони також, як правило, набагато дешевші, ніж їх ніжні аналоги.

Управління колесами є менш складним і вони викликають менший знос поверхні, де вони рухаються, порівняно з іншими рішеннями. Ще одна перевага полягає в тому, що вони не представляють великих труднощів з точки зору проблем з балансом, оскільки робот зазвичай контактує з поверхнею. Основним недоліком коліс є те, що вони не дуже добре переміщаються через перешкоди, такі як кам'яниста місцевість, гострі поверхні або ділянки з низьким тертям.

Існують чотири основних типи коліс:

- стандартне фіксоване колесо. Це звичайні колеса з одним ступенем свободи, обертанням навколо точки контакту;
- колесо має два ступені свободи і поворотний шарнір рульового управління;

- кведське колесо, яке має три ступені свободи, що обертаються навколо осі веденого колеса, навколо точки контакту та роликів;
- кульове або сферичне колесо - його реалізація технічно складна.

Для моделювання кінематики та динаміки дуже важливо знати кількість та тип коліс у робота. Загалом дослідження колісних роботів, як правило, зосереджуються на проблемах зчеплення та стійкості, маневреності та керування. Стабільність – це зазвичай це не є великою проблемою в колісних роботах, тому що вони майже завжди сконструйовані так, що всі колеса постійно стикаються з землею. Таким чином, трьох коліс достатньо для забезпечення стабільної рівноваги, хоча двоколісні роботи також можуть бути стійкими. Якщо використовується більше трьох коліс, потрібна система підвіски. Її місія полягає в тому, щоб дозволити всім колесам підтримувати контакт із землею, особливо коли робот маневрує по пересіченій місцевості.

Існує багато конфігурацій коліс для рухомих роботів, як показано у Sampson і Chung, хоча не існує ідеальної конфігурації приводу, яка одночасно оптимізує стабільність. Стабільність більш проблематична у двоногих роботів.

Є й інші варіанти коліс, як у Laney і Hong[5]. Крім того, дуже важливі розташування коліс і конфігурація мобільного робота (КМР).

КМР також можна класифікувати за системою приводу:

- диференціальний привід КМР;
- КМР автомобільного типу;
- всеспрямовані КМР;
- синхронний привод ППР.

Не існує ідеальної системи приводу, яка одночасно оптимізує маневреність, керованість та стабільність. Кожна програма мобільного робота стикається з унікальними обмеженнями щодо процедури проектування робота. Проблема зводиться до вибору найбільш зручної конфігурації приводу з урахуванням всіх компромісів. Приводи, закріплені на колесах, у мобільному роботі з диференціальним приводом повинні рухатися за одним і тим же профілем швидкості, що може бути під загрозою з огляду на різницю між колесами, приводом та умовами роботи навколишнього середовища. Всеспрямовані роботи здатні рухатися в будь-якому

напрямку. Вони можуть бути виготовлені зі сферичних, шведських або колісних коліс.

Гуманоїдний робот Pepper – це всеспрямований гуманоїдний робот на колесах, який може аналізувати вирази та тон голосу (рис. 1.1).



Рисунок 1.1 Гуманоїдний робот Pepper

Він має більшість найскладніших датчиків на ринку (камера високої чіткості, датчик глибини, гіроскоп, датчик дотику, сонар і лазер. Конфігурація синхронного приводу є відповідною конфігурацією, оскільки, хоча є три або більше керованих та керованих коліс, використовуються тільки два приводних двигуни. Один з них встановлює швидкість усіх трьох коліс разом. Інший обертає всі колеса навколо кожної зі своїх власних вертикальних рульових осей. Дуже важливо при моделюванні будь-якого робота знати кількість і типи коліс.

За кількістю коліс роботи можна розділити на:

1.1.2.1 Одноколісні роботи.

Роботи-моноцикли мають лише одне нерухоме або звичайне колесо. Система одноколесного велосипеда за своєю суттю є нестабільною системою. Для підтримки

пози одноколесного велосипеда необхідні одночасно і поздовжня, і поперечна стійкість.

1.1.2.2 Двоколісні роботи.

Вони мають два однакових паралельних звичайних колеса (пов'язані з обома сторонами робота), які керуються двома незалежними приводами.

Також вважається, що кожне колесо перпендикулярне до землі, а контакт між колесами та землею є нековзним і чистим. Пилосос Roomba — це двоколісний робот, який є хорошим представником мобільної робототехніки в останніх побутових застосуваннях (рис. 1.2).



Рисунок 1.2 Робот пилосос Roomba

Він використовує контактний датчик спереду та інфрачервоний датчик зверху. Segways також можна вважати самобалансованим двоколісним роботом. У робота Ghost Rider вирівнювання коліс є переднім і заднім, тому під час повороту важче балансувати.

1.1.2.3 Триколісні роботи.

Можна виділити два типи триколісних роботів[7]:

- диференційно керовані - два ведені колеса з додатковим вільним поворотним колесом для підтримки транспортного засобу в рівновазі;
- Два колеса, що керуються одним приводом і кермове керування для третього колеса.

1.1.2.4 Чотириколісні роботи.

Ці роботи стабільніші, ніж триколісний аналог, оскільки центр ваги розташований всередині прямокутника, утвореного чотирма колесами, а не трикутником. Колеса можуть бути диференційовано керованими (як ровери), колесами з електроприводом два на два (як рух танка) або можуть мати рульове керування, схоже на автомобіль.

Мобільні роботи, схожі на автомобілі, дуже важливі. До цього типу належать самокерований автомобіль Google AIV та робот Hubble[8]. Вони набувають великого значення в транспорті, логістиці, харчовій промисловості, харчовій промисловості.

1.1.2.5 П'ятиколісні роботи.

П'ятиколісні роботи призначені для пересування по пересіченій місцевості, оскільки вони покращують контакт і стабільність. Xu et al вперше запропонували інноваційний асиметричний прототип п'ятиколісного робота (ППР) з функціями реконфігурації, який може долати перешкоди та підніматися на схил[9].

1.1.2.6 Шестиколісні роботи.

Коли використовуються більш потужні колеса, конструкція стає набагато складнішою. С з місії Mars Pathfinder в 1997 році (рис. 1.3), Spirit and Opportunity в 2004 році і Curiosity в 2012 є хорошими прикладами шестиколісних роботів. Вони мають систему підвіски, яка утримує всі шість коліс у контакті з поверхнею та допомагає їм їздити по схилах та піщаній місцевості. Щоб уникнути ковзання, потрібен хороший контроль[1].



Рисунок 1.3 Робот Sojourner

Shrimp — ще один такий робот, зображений на рисунку 1.4. Завдяки шести веденим колесам він здатний підніматися на об'єкти, діаметр яких вдвічі перевищує його[10]. Це дає йому можливість підніматися звичайними сходами, незважаючи на те, що робот менший, ніж Sojourner.



Рисунок 1.4 Робот Shrimp

За допомогою ромбоподібної механічної конструкції Shrimp має рульове колесо спереду і ззаду та два колеса, розташованих на візках з усіх боків. Переднє колесо має пружинну підвіску, яка забезпечує максимальний контакт між землею та

всіма колесами в будь-який момент. Мобільний робот керується за допомогою синхронізації різниці швидкостей коліс візки та керування переднім і заднім колесами. Цей факт дозволяє здійснювати високоточні маневри та миттєво обертатися з мінімальним пробуксовуванням чотирьох центральних коліс. Використання паралельних поворотних шарнірів для переднього колеса та візків створює віртуальний центр обертання (ЦО) на рівні осі колеса. Це гарантує здатність до лазіння та максимальну стабільність навіть при дуже низьких коефіцієнтах тертя між землею та колесом.

Здатність Shrimp лазити вражаюча в порівнянні з більшістю роботів подібної механічної складності, в основному через його конкретну геометрію і, отже, спосіб, яким центр мас мобільного робота зміщується відносно коліс з часом.

1.1.2 Ходячі роботи

Ноги є ще однією поширеною формою пересування, що породжує ходячих роботів. Хоча вони зазвичай дорожчі за колеса, ніжки мають ряд переваг перед колесами. Найбільшою перевагою є їх поперечність і ефективність, а також той факт, що вони також можуть рухатися по м'якому і нерівному рельєфу, кращу мобільність, кращу енергоефективність, кращу стабільність і менший вплив на землю. Ходячі роботи також мають перевагу в тому, що вони легко справляються з перешкодами або тріщинами в навколишньому середовищі. Одним словом, адаптивність і маневреність на пересіченій місцевості. Існує багато типів ходячих роботів в залежності від кількості ніг[11]. Серед найважливіших — двоногі (гуманоїди), чотириногі (чотириногі), шестиногі тощо.

У ходячих роботах стабільність є основним питанням, оскільки рівновага тіла та ходи мають надзвичайне значення, особливо у випадку двоногого робота чи гуманоїда.

Існує два види стійкості: статична і динамічна. Статична стабільність — це здатність підтримувати конфігурацію лише під впливом сил реакції. Динамічна

стабільність пов'язана зі здатністю залишатися у вертикальному положенні під впливом як реакційних, так і інерційних сил. Під час ходьби слід враховувати і належним чином контролювати рух тіла, що спирається на опорні ноги. Конструкції з двома-вісьмома ногами є переважаючими. Використання більшої кількості кінцівок забезпечує зайву підтримку і часто підвищує вантажопідйомність і безпеку. Ці переваги досягаються за рахунок підвищення складності управління (з точки зору координації ніг), а також силових і механічних труднощів. Відмінною характеристикою двоногих роботів є їх антропоморфна геометрія. Вони можуть бути статично стабільними лише до певної міри.

Сьогодні існує багато двоногих роботів, які мають здатність лазити по поверхнях з різними нахилами. Давайте розглянемо найпоширеніших роботів на ногах.

1.1.2.1 Одноногі роботи

«Хопери» - це одноногі роботи[12]. Найбільша проблема з хоперами полягає в тому, що вони не можуть стояти на місці; їм потрібно продовжувати стрибати, щоб зберегти рівновагу. Uniroo є прикладом одноногого робота (рис. 1.5).

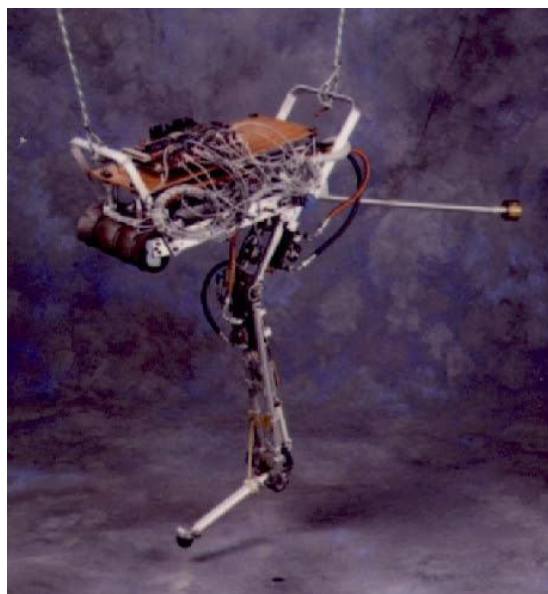


Рисунок 1.5 Робот Uniroo

1.1.2.2 Двоногі роботи

Одним з найважливіших типів ходячих роботів є людиноподібні роботи. Щоб відтворити людські можливості, вони добре використовують датчики. Вони можуть ходити, розмовляти, відтворювати емоції тощо. Однією з найважливіших проблем з точки зору локомоції є втрата рівноваги[13]. За останнє десятиліття ходьба та розмова значно покращилися. Здібності мислення все ще є їх слабким місцем і продовжують створювати проблеми. Рух двоногих роботів залежить від динамічної стабільності. Гуманоїди бувають різних форм і розмірів, від повноцінних двоногих роботів розміром з людину до ізольованих роботизованих рук або голів із людськими відчуттями та виразом. У цих роботів, а також у навігації, важливо враховувати інші важливі людські функції, такі як хапання і поводження з об'єктами, розміщення кроків і рухи всього тіла. На відміну від колісних роботів, роботи на ногах (включаючи двоногих гуманоїдів) мають особливу здатність уникати перешкод, переступаючи або на них. Надійні двоногі роботи були розроблені лише в останні роки, і велика увага була зосереджена на цьому напрямі досліджень, щоб людиноподібні роботи мали найбільший потенціал стати промисловим інструментом майбутнього. Існує кілька видатних гуманоїдних роботів, таких як Atlas(рис. 1.6) [14].



Рисунок 1.6 Робот Atlas

Він був розроблений для пошуково-рятувальних завдань, переважно в ситуаціях, коли люди не можуть вижити. Він може ходити, залишаючи верхні кінцівки вільними, щоб піднімати, переносити й маніпулювати навколишнім середовищем, а також бігати, підніматися по сходах, говорити, підніматися з падіння та робити майже все, що зробила б справжня людина, щоб врятувати життя іншої людини. Atlas включає 28 ступенів свободи з гідравлічним приводом, стереокамери та лазерний далекомір (лідар), що дозволяє йому уникати перешкод, оцінювати місцевість та орієнтуватися. Новітнє покоління Atlas є більш людським, ніж будь-коли раніше.



Рисунок 1.7 Гуманоїдний робот Valkyrie

Ще один дуже відомий гуманоїдний робот — Valkyrie (рис. 1.7), який схожий на Atlas і нібито здатний виконувати завдання, еквівалентні завданням людини в небезпечному оточенні[15]. Окрім камер у його голові, у його тулуб інтегровані датчики гідролокатора, радара та лідару, а також є додаткові камери на колінах,

зап'ястях та ногах. Він призначений для переміщення серед сміття, обробки предметів, механізмів і навіть для водіння.

Ще один приклад – це робот Asimo(рис. 1.8). це багатофункціональний мобільний помічник[16]. Він був розроблений, щоб допомогти людям, яким не вистачає повної мобільності. Розробляється з 1980-х років.

Зараз Asimo може ходити по нерівних схилах і поверхнях, плавно обертатися, бігати, підніматися по сходах, тягнутися до предметів і хапатися за них. Він також має здатність розуміти прості голосові команди та реагувати на них, а також розпізнавати обличчя певної групи людей. Використовуючи свої сенсорні очі, він може відображати своє робоче середовище та реєструвати статичні об'єкти, а отже, він може уникати рухомих перешкод під час подорожі крізь навколишнє середовище.



Рисунок 1.8 Робот Asimo

Ромео також створений як особистий помічник і супутник[17]. Він може ходити, бачити довкілля в трьох вимірах, відкривати двері, підніматися по сходах, слухати і говорити, а також тягнутися до предметів на столі (рис. 1.9).

Робот має 37 ступені свободи, у тому числі 3 для хребта, 1 для кожної ноги і 2 для кожного ока. Інновації включають взаємодію людини і робота, рухомі очі, систему балансу тіла та управління силою.

Іншим гуманоїдним роботом є Nao (рис. 1.10) , який використовувався для дослідницьких і освітніх цілей[18]. Як і собака-робот AIBO, він використовується для розваг. Nao оснащений інерціальним вимірювальним блоком з акселерометром, гірометром та чотирма ультразвуковими датчиками та датчиками сили.



Рисунок 1.9 Робот Ромео

У академічних установах по всьому світу є багато інших гуманоїдних роботів (REEM-C, OceanOne, Titan, QRIO тощо). Онлайн-навчання, автономна адаптація руху, планування захоплення, екзоскелети, афективна взаємодія людини і робота та мовленнєвий зв'язок — це новітні напрямки досліджень і виклики в роботі з людиною. Дружні інтерфейси людини і робота, безпечна взаємодія людини і робота, а також вираження та сприйняття емоцій залишаються проблемою в цій галузі.

У академічних установах по всьому світу є багато інших гуманоїдних роботів (REEM-C, OceanOne, Titan, QRIO тощо). Онлайн-навчання, автономна адаптація

руху, планування захоплення, екзоскелети, афективна взаємодія людини і робота та мовленнєвий зв'язок — це новітні напрямки досліджень і виклики в роботі з людиною. Дружні інтерфейси людини і робота, безпечна взаємодія людини і робота, а також вираження та сприйняття емоцій залишаються проблемою в цій галузі.



Рисунок 1.10 Робот Nao

У академічних установах по всьому світу є багато інших гуманоїдних роботів (REEM-C, OceanOne, Titan, QRIO тощо). Онлайн-навчання, автономна адаптація руху, планування захоплення, екзоскелети, афективна взаємодія людини і робота та мовленнєвий зв'язок — це новітні напрямки досліджень і виклики в роботі з людиною. Дружні інтерфейси людини і робота, безпечна взаємодія людини і робота, а також вираження та сприйняття емоцій залишаються проблемою в цій галузі.

Гуманоїдні роботи використовуються в таких програмах, як особиста допомога, охорона здоров'я, розваги, автомобільна виробнича лінія, освіта та вітання гостей та відвідувачів. Очікується, що використання гуманоїдних роботів, розроблених за допомогою алгоритмів штучного інтелекту, збільшиться в небезпечних завданнях, таких як місії з дослідження космосу.

1.1.2.3 Триногі роботи

Ще один вид ходячих роботів це триногі роботи, які не дуже поширені через непарну кількість ніг. STRiDER є прикладом триногого робота (рис 1.11)[19].



Рисунок 1.11 3-D модель робота STRiDER

Він представляє просту кінематичну структуру, яка за своєю суттю є стабільною, як штатив для фотокамери, нею легко керувати, вона енергоефективна та мала вагу. Під час кроку дві ноги поводяться як опорні, а інша — як махова. Мета ніг полягає в тому, щоб виштовхнути центр ваги за межі опорних ніг, щоб почати крок. У той час як тіло робота падає вперед, махова нога природним чином розгойдується між двома опорними ногами і ловить падіння.

1.1.2.4 Чотири ноги роботи

Чотириногі (чотириногі) роботи. Коли потрібна підвищена безпека або можливість корисного навантаження, використовуються чотириногі або роботи з більшою кількістю ніг. У них є перевага в тому, що вони статично стабільні, коли не рухаються, але вони вимагають динамічного контролю при ходьбі, оскільки центр ваги робота має легко переміщатися під час ходи. Управління та координація ніг цих

великих роботів є, однак, більш складними. Ці системи вимагають високої швидкості обчислень. Двигуни та система накопичення енергії, необхідні для цих систем, дуже дорогі. Хорошим прикладом чотириноного робота є BigDog (рис. 1.12)[20].



Рисунок 1.12 Робот BigDog

BigDog може бігати зі швидкістю 6,5 км на годину, підніматися на 35 схилів і нести 150 кг. Але найбільш вражаюча особливість - це його динамічна ходьба. BigDog може оговтатися від ковзання і навіть від штовхання.

Ще одним прикладом 4-ногих роботів є робот AIBO (рис. 1.13), який спроектований у 1998 р., розважальний улюбленець, має операційну систему майже в режимі реального часу та нові сервоприводи, які забезпечують високий крутний момент, достатній для підтримки робота[21].

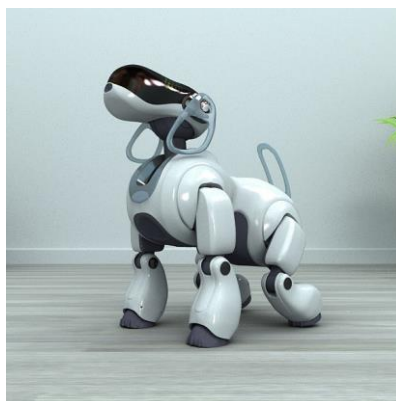


Рисунок 1.13 3-D модель робота AIBO

1.1.2.5 П'ятиногі роботи.

Такого роду роботи рідко розробляються через непарну кількість ніг. П'ятиногого робота, створеного за мотивами морської зірки, зображено на рисунку 1.14.

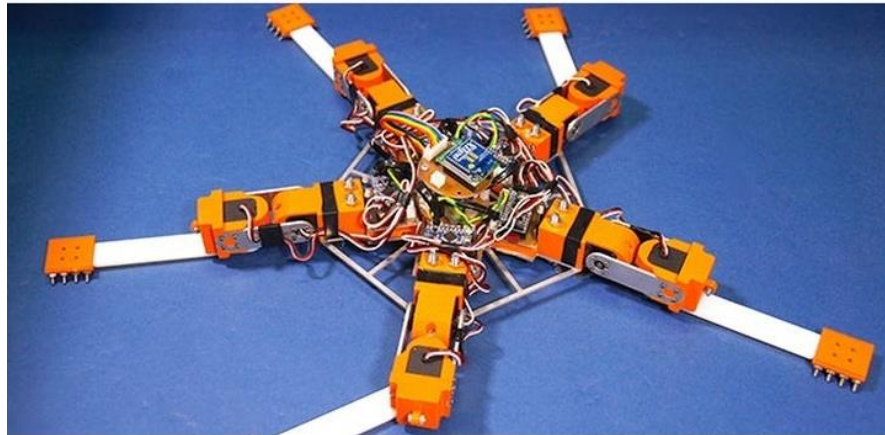


Рисунок 1.14 Прототип п'ятиногого робота

Такий робот було представлено в статті [22]. Однією з цілей статті є пошук оптимальної ходи, коли робот ходить. Метод проб і помилок використовувався для навчання шляхом взаємодії між роботом і робочим середовищем на основі політики винагороди та покарання.

1.1.2.6 Шестиногі (шестиногі) роботи.

Робот може бути статично стабільним на трьох або більше ногах, тому роботом з шістьма або більше ногами можна керувати за допомогою методів статичної ходьби, а не динамічної ходьби, таким чином зменшуючи складність керування[23].

Поширеною архітектурою для таких ходячих роботів є гексапод. Такі роботи були дуже популярні в мобільній робототехніці. Ходи гексапода, як правило, стабільні, навіть на злегка кам'янистій і нерівній місцевості. Існує кілька ходів гексапода, які можуть бути придатними в різних середовищах; наприклад, одна нога

за раз або чотириногі ходи. Якщо одна або дві ноги стають інвалідами, робот все ще може ходити.

1.1.2.7 Роботи з великою кількістю ніг (більше 6-ти)

Також є роботи в яких більше 6 ніг. Найбільш поширеними в цій категорії є восьминогі роботи. Їх надихають павуки, підводні ходунки та інші павукоподібні. Прикладом є робот Dante(рис. 1.15)[24].



Рисунок 1.15 Дослідник вулканів Dante

Він був розроблений з метою спускатися і досліджувати діючі вулканічні кратери. Його використовували в експедиції для дослідження гори Еребус в Антарктиді. Мета полягала в тому, щоб продемонструвати його можливості в реальній дослідницькій місії на пересіченій місцевості та виживання в холодному, вітряному, яскравому, суворому середовищі.

1.1.3 Гусеничні роботи

Ще один різновид типів пересування роботів це гусеничні роботи. Це тип роботів, який використовує протектори або гусеничні гусениці замість коліс. У конфігураціях коліс ми припускаємо, що колеса не можуть ковзати по поверхні. Інше можливе рішення для керування, назване заносом/ковзанням, може використовуватися для перенаправлення робота шляхом обертання коліс в одному напрямку на різних швидкостях або в протилежних напрямках.

Таким чином працює марсохід The Nanokhod rover, який зображено на рисунку 1.16. Гусеничні роботи мають набагато більшу площу контакту з землею, і цей факт відіграє важливу роль у покращенні їх маневреності на вільній поверхні в порівнянні зі звичайними колісними роботами[25].



Рисунок 1.16 The Nanokhod rover

Тим не менш, оскільки це велике ділянка контакту з землею, зміна напрямку робота зазвичай потребує заносу, і тому велика частина гусениці повинна ковзати по поверхні. Недоліком таких конфігурацій є також кермове керування з ковзанням. Через велику кількість заносів під час повороту, точний центр ваги робота важко

передбачити, а точна зміна положення та напрямку також може змінюватися через тертя ґрунту. Більше того, підхід до заносу/ковзання на місцевості з високим коефіцієнтом тертя може швидко подолати значення крутного моменту використовуваного приводу. Енергоефективність цього підходу є достатньо прийнятною на пухких поверхнях, але в іншому випадку дуже неефективно. Робот Soryu також є хорошим прикладом такого типу пересування (рис. 1.17).



Рисунок 1.17 Робот Soryu

1.1.4 Гібридні роботи

Це роботи, структура яких складається з комбінації будь-якого з вищеописаних типів. Наприклад, сегментований шарнірно-колісний пристрій. Гібридні рішення поєднують придатність коліс з адаптивністю ніг. Згідно з статтею Bruzzone1 і Quaglia [силка], можна виділити чотири категорії гібридних мобільних роботів:

- гібридні системи пересування ноги і колеса;
- гібридні системи пересування ніг і гусениці;
- гібридні системи пересування з застосуванням коліс і гусениці;
- колісно-коліїні з ногами гібридні системи пересування.

1.1.5 Літальні роботи

Роботи, які пересуваються у повітрі так звані безпілотні літальні роботи. Вони більш відомі як дрони - машина, яка виконує заздалегідь запрограмоване завдання з або без взаємодії з людиною і натхнення роботою літака. Найдосконаліші тепер можуть злітати і приземлятися абсолютно незалежно від дій своїх операторів. Спочатку вони в основному використовувалися у військових проектах, але вони швидко поширилися на інші програми, такі як наукові, сільськогосподарські, комерційні, рекреаційні, поліцейські та наглядові, постачання продуктів, розподіл і логістика, аерофотозйомка.

1.1.6 Підводні роботи

Роботи, які пересуваються по воді були однією з найдавніших цілей людини, так як дослідження дослідження океанів і підводних зон без них були недоступні. Будучи важливою галуззю мобільних роботів, система маніпуляторів підводних транспортних засобів є однією з найактуальніших тем дослідження на сьогодні. Для цього було створено багато пристроїв, включаючи роботизовані системи. OceanOne є прикладом робота-підводного човна (рис. 1.18).



Рисунок 1.18 Робот водолаз OceanOne

Це гуманоїдний робот, який досліджує морське дно. Він використовує найкращі з дистанційно керованих транспортних засобів і переваги гуманоїдних роботів, наприклад наявність роботизованої руки, за допомогою якої можна рятувати об'єкти, наче це була людина.

Існують і інші види роботів, яких важко класифікувати з точки зору їх руху.

1.1.7 Змієподібні роботи

Прикладом таких роботів є змієподібні роботи. Це роботи з високою артикуляцією, які можуть координувати свою внутрішню рівні свободи для виконання різноманітних можливостей пересування, таким чином розширення можливостей звичайних ніжних або колісних роботів (рис. 1.19). Основні переваги цих роботів полягають у тому, що вони універсальні, досягаючи поведінки, яка не обмежується лазінням, повзанням і плаванням.



Рисунок 1.19 Робот-змія прототип

1.1.8 Черв'якові роботи

Черв'якові роботи, які використовують перистальтику, той самий метод пересування, який використовують дощові черв'яки. Метод пересування особливо

ефективний в обмеженому просторі. Іншими перевагами є висока деформованість структури хробака та висока стабільність на нерівній місцевості, мобільність та у вузьких регіонах. Ці роботи можуть мати різні застосування в медицині, включаючи обстеження всього шлунково-кишкового тракту, а також застосування в пошуково-рятувальних середовищах. і військова розвідка.

1.1.9 Нанороботи

Нова технологія створює роботів, компоненти яких досягають нанометра. Ці роботи забезпечують точну взаємодію з нанорозмірними об'єктами.

Кооперативна робототехніка: це стосується скоординованого управління командами роботів.

1.1.9 Кооперативна наноробототика

Стосується застосування до нанороботів (роботів молекулярного рівня), з різницею в масштабі (малий розмір, великі числа) і можливостях (самовідтворення).

1.2 Огляд технологій і методів сприйняття роботів

Для автономного мобільного робота життєво важливо здобути знання про своє робоче середовище та про себе. Це досягається за допомогою датчиків і подальшого вилучення відповідної інформації з вимірювань цих датчиків. Використання датчиків дає змогу виконувати завдання щодо позиціонування та локалізації робота. Вони також використовуються для картографування та представлення. Крім того, вони дуже корисні в інших роботах, таких як розпізнавання об'єктів. Останні досягнення в області датчики та штучний інтелект використовуються в системах розпізнавання мовлення, які дуже важливі для відтворення людських можливостей.

Існує велика різноманітність датчиків, які можна використовувати в роботі для збору даних. Їх можна згрупувати в:

- пропріоцептивні датчики зчитують внутрішні значення робота, такі як швидкість двигуна, навантаження на колесо, кути суглобів, напруга акумулятора тощо. Екстероцептивні датчики отримують інформацію з середовища робота, таку як відстані, інтенсивність світла та амплітуда звуку.;
- пасивні датчики вимірюють енергію навколишнього середовища, яка надходить у датчик, наприклад, мікрофони, температурні датчики та камери із зарядним сполученням (ПЗС) або камери з комплементарним металооксидним напівпровідником. Активні датчики випромінюють енергію в навколишнє середовище, а потім вимірюють реакцію. Вони можуть мати справу з більш контрольованими взаємодіями з робочим середовищем, таким чином досягаючи більшої продуктивності, хоча вони можуть страждати від перешкод між їхнім власним і зовнішнім сигналом.

Важливо охарактеризувати роботу датчика за допомогою основних змінних, таких як динамічний діапазон, потужність, роздільна здатність, лінійність і пропускну здатність або частота, чутливість, помилка, точність, систематичні помилки, випадкові помилки, точність та інші.

Типи датчиків

Найпоширеніші датчики, які використовуються в робототехніці, такі:

- тактильні датчики: вони призначені для виявлення об'єктів на невеликій відстані з прямим контактом або без нього і використовуються для виявлення фізичного контакту або близькості. Зазвичай вони здатні виявляти сили і можуть показувати точне положення об'єкта, що дозволяє роботів контролювати положення і силу захоплення кінцевого ефектора. Тактильні датчики також можуть виявляти коливання тепла;
- датчики крутного моменту сили: робот використовує датчик крутного моменту, щоб знати, яку силу прикладає робот. За допомогою цього пристрою можна виконувати різні завдання робота, такі як збирання, ведення, навчання та обмеження сили;

- кодери: щоб знати положення та швидкість роботи робота. Існує велика різноманітність (наприклад, оптичні кодери, потенціометри, резольвери, індуктивні кодери, магнітні кодери, ємнісні кодери);
- інфрачервоні датчики: це датчики на основі світла;
- ультразвукові датчики: це датчики на основі звуку і використовуються як відстань. Ці датчики призначені для генерування високочастотних звукових хвиль і отримання відлуння, відбитого цілю;
- сонар: це можна використовувати в основному для виявлення об'єктів. Цей датчик забезпечує високу продуктивність на суші та у воді;
- активні маяки: допомагають роботів орієнтуватися. Існує два відмінні види систем маяків: трилатерація та тріангуляція;
- гкселерометри: для вимірювання прискорення, з якого можна отримати швидкість інтегруванням. Гуманоїдні роботи використовують акселерометри і.
- гіроскопи: це добре відомі та надійні датчики обертання, які вимірюють кутові швидкості та орієнтацію;
- лазерний далекомір: це пристрій, який використовує лазерний промінь для отримання високоточних вимірювань відстані. Відстань між датчиком і ціллю вимірюється шляхом обчислення швидкості світла та часу, необхідного для повернення випромінюваного світла до приймача;
- датчики на основі зору: вони обробляють дані будь-якої модальності та використовують електромагнітний спектр для створення зображення. Дві сучасні технології для створення датчиків зору – ПЗС і CMOS;
- датчики відстеження кольору: вони дозволяють виявляти та відстежувати колір в навколишньому середовищі;
- датчики контакту та наближення: для вимірювання сили контакту з навколишнім середовищем;
- датчики тиску;
- датчики глибини: вони використовуються для виявлення об'єктів, реконструкції сцени, 3-D огляду тощо. У датчику глибини завжди повинні бути присутніми два елементи: інфрачервоний (ІЧ) проектор та ІЧ-камера.

Застосування цих датчиків можна побачити, як гарний приклад, у місіях Mars Exploration Rover. Роботи використовують автономне пасивне стереобачення для створення локальної карти місцевості, яка буде використовуватися для навігації. Дві стереокамери були жорстко закріплені на щоглі камери, а не на рухомій голові, щоб уникнути збою. Стереозір – це пасивна технологія датчиків, тому для роботи датчику потрібно менше енергії, ніж активному датчику, який повинен видавати сигнал.

Датчики також можна розглядати як вікно системи керування роботами у світ, тому жоден мобільний робот не може працювати без цих пристроїв та їх програмного забезпечення. Поля недавнього розширення, такі як дрони та автоматизовані безпілотні автомобілі, неможливі без датчиків.

1.3 Система пізнання та управління роботів

Механічну структуру мобільного робота необхідно керувати для виконання завдань і досягнення поставлених цілей. Система управління включає в себе три різні основи: сприйняття, переробку і пізнання, а також дію. Система сприйняття дає інформацію про навколишнє середовище, про самого робота і про взаємозв'язок між роботом і середовищем. Ця інформація обробляється, потім відповідні команди надсилаються на виконавчі механізми, які переміщують механічну конструкцію. Після того, як оточення і напрямок, призначення або мета робота відомі, когнітивна архітектура робота повинна спланувати шлях, який робот повинен пройти для досягнення своїх цілей. Таким чином, когнітивний рівень робота — це частина прийняття рішень і виконання, яку робот використовує для досягнення цілей високого рівня. На основі інформації від датчиків і цілей робота система пізнання та управління повинна вирішити, як діяти і що робити для досягнення своїх цілей. Крім того, система управління відповідає за координацію всіх вхідних даних і планування руху робота, щоб він міг рухатися відповідно. Роботу може знадобитися «когнітивна» модель.

Когнітивні моделі мають на меті представляти робота, навколишнє середовище та спосіб, яким вони взаємодіють. Для відстеження об'єктів використовуються

комп'ютерний зір і розпізнавання образів. Алгоритми відображення використовуються для побудови карт середовища. Згодом планування руху та інші алгоритми штучного інтелекту можуть бути використані для визначення того, як робот повинен взаємодіяти. Наприклад, планувальник може визначити, як виконати завдання, не зіткнувшись з перешкодами, не перекинутися тощо.

У наступні роки штучний інтелект покликаний відігравати важливу роль в обробці всієї інформації, яку збирає робот, щоб віддавати накази роботі. Роботи представляють нелінійну динаміку. Нелінійні методи керування використовують знання та/або параметри системи, щоб відтворити її поведінку. Нелінійний контроль, оцінка та спостереження призводять до складних алгоритмів.

Однією з цілей управління є відстеження положення робота. Помилка відстеження визначається для кількісної оцінки ефективності контролю. Спосіб, яким ця помилка обчислюється та відстежується (частота зворотного зв'язку, виграш для пропорційних і похідних помилок, залишкова стійка частота помилок і так далі) породжує багато стратегій керування, які застосовуються до мобільних роботів. Залежно від проаналізованих властивостей (локальна стабільність, біфуркація фіксованих точок, фазові діаграми, ізокліни, атрактори тощо) та способу вирішення рівнянь нелінійної динаміки, стратегії керування можна класифікувати на:

- глобальне керування на основі лінеаризації: ці методи перетворюють нелінійну динаміку системи в еквівалентний лінійний простір станів. Контролери використовують зворотний зв'язок стану під час вирішення пов'язаної задачі оцінки стану. У свою чергу, глобальні методи можна розділити на підкласи на основі теорії диференціально плоских систем і алгебри Лі;
- приблизне управління на основі лінеаризації. У цих схемах рішення проблеми нелінійного керування досягаються за допомогою локальних лінійних моделей (отриманих за локальної рівноваги). Локальні лінійні моделі повинні забезпечувати стабільність контролера. Параметри локальних регуляторів повинні бути обрані для забезпечення стійкості контуру керування до зовнішніх збурень і для моделювання параметричної невизначеності;

- керування на основі теорії Ляпунова: ці методи намагаються мінімізувати функції Ляпунова, щоб забезпечити асимптотичну стабільність контуру керування.

Методики на основі Ляпунова мають два основних напрямки: метод лінеаризації і прямий метод Ляпунова. Перший забезпечує основу для використання лінійних методів керування. Він стверджує, що нелінійна система є локально стійкою, якщо всі власні значення її лінійної апроксимації знаходяться у відкритій лівій півплощині, і нестійка, якщо хоча б одне знаходиться у відкритій правій півплощині. Прямий метод Ляпунова спирається на фізичну властивість системи, повна енергія якої безперервно розсіюється, має в кінцевому підсумку опинитися в точці рівноваги. Однак не очевидно, як вибрати найкращу функцію для представлення кінетичної та потенційної енергії системи. Цілі розробки керування та обмеження вимірювань призводять до визначення станів системи, що часто керує розвитком функції Ляпунова.

Далі описані найвідоміші стратегії контролю.

- розраховані методи контролю крутного моменту: Розрахований момент визначається за допомогою другої похідної від положень, бажаних положень і матриці мас, виражених традиційним способом з явним виграшем для пропорційної та похідної помилок (зворотного зв'язку);
- надійні методи керування, ці методи подібні до обчислених методів керування крутним моментом, з додаванням надійної складової зворотного зв'язку, яка залежить від як завгодно малої позитивної константи;
- методи керування ковзним режимом - збільшення частоти контролера може бути використане для покращення стійкої похибки системи. У крайньому випадку, якщо проектний параметр E встановлено на нуль, контролеру потрібна нескінченна смуга пропускання приводу, і помилка стану зникає. Цей переривчастий контролер називається контролером ковзного режиму;
- адаптивні методи у порівнянні з попередніми методами, знання про точну динаміку робота розслаблені, і цей метод використовує припущення лінійних параметрів. Ці методи використовують оцінку умов зворотного зв'язку, таким

- чином зменшуючи вимоги до високого підсилення та високої частоти для компенсації невизначеності/збурення в динамічній моделі;
- методи нейронних мереж, які використовують наближення функцій. Перевага апроксимації функції полягає в тому, що невизначеність потрібно моделювати. NN може апроксимувати загальні нелінійні неперервні функції. Будь-яку безперервну функцію можна виразити за допомогою функцій активації та помилок функціональної реконструкції. Як функції активації можна використовувати різноманітні функції;
 - методи нечіткої логіки, теорія нечіткої логіки використовується для боротьби з неточністю та невизначеністю, властивими системам сприйняття. Він також використовує наближення функцій. Можна виділити три типи нечітких систем: нечіткі системи типу Мамдані, нечіткі системи типу II (це окремий випадок першого типу) і нечіткі системи Такагі-Сугено. Ці методи також використовують розслаблені знання про динаміку робота.
 - метод інваріантного різноманіття, за допомогою нього динамічне рівняння розбивається на його компоненти, так що кожна координата має свою власну функцію;
 - контроль точки нульового моменту - це концепція, пов'язана з керуванням і динамікою пересування на ногах, наприклад, для гуманоїдних роботів. Він визначає точку, навколо якої динамічна сила реакції між стопою і землею не створює жодного крутного моменту, тобто точку, де загальна горизонтальна сила інерції та сили тяжіння дорівнює нулю. Ця концепція передбачає, що пляма контакту є площинною і має достатньо тертя, щоб ноги не ковзали (див. Робот Asimo).

1.4 Навігація

Найважливішим аспектом у дизайні мобільного робота є навички навігації. Мета полягає в тому, щоб робот переміщався з одного місця в інше у відомому чи невідомому середовищі, беручи до уваги значення датчиків для досягнення бажаних

цілей. Це означає, що робот повинен покладатися на інші свої аспекти, такі як сприйняття (робот повинен використовувати свої датчики для отримання цінних даних), локалізація (робот повинен знати своє положення та конфігурацію), пізнання (робот повинен вирішити, що робити, щоб досягнення своїх цілей) і керування рухом (робот повинен розрахувати свої вхідні сили на приводи, щоб досягти бажаної траєкторії). У більшості випадків мобільний робот не може пройти прямий шлях від свого початкового положення до кінцевої мети, а це означає, що необхідно використовувати методи планування руху.

Навігація мобільного робота поділяється на такі завдання:

- створення моделі світу у вигляді карти;
- розрахунок траєкторії без зіткнень від вихідного положення до цільового положення.;
- рухаючись по розрахованій траєкторії, уникаючи зіткнення з перешкодами.

Важливо надати достатньо інформації про місцезнаходження робота, щоб він міг переміщатися. Тому методи локалізації є ключовими для процесу навігації. Крім того, для навігації мобільним роботом потрібні додаткові навички.

Перший з них - це планування траєкторії. З огляду на карту та об'єктивне місце розташування, це передбачає отримання траєкторії, за якою робот повинен рухатися, щоб досягти цільового місця. Планування траєкторії є дуже важливим питанням у робототехніці загалом, коли робот повинен вибирати, що робити в довгостроковій перспективі, щоб досягти своїх цілей.

Друга навичка — уникнення перешкод. Це відіграє важливу роль у плануванні траєкторії, щоб уникнути зіткнень. Дані від датчиків можуть модулювати траєкторію робота, щоб уникнути зіткнень. Розрахований рух робота є як функцією показань датчика робота, так і його цільового положення та розташування відносно цільового положення. Алгоритми уникнення перешкод покладаються на існування глобальної карти та на точному знанні роботом свого розташування відносно карти. Більш складні алгоритми будуть представлені пізніше, враховуючи останні дані датчиків, кінематику роботи та динаміку.

У навігації на основі зору робот оснащений місцевою картою та маршрутом, яким слід рухатися. Відповідна функція сенсорного зору на основі зору полягає в «самолокалізації». Робот реалізований серією зображень внутрішнього простору. Порівнюючи зображення з камери, зроблені під час навігації, з попередньо записаними зображеннями, робот може не знайти своє місцезнаходження.

Для того, щоб робот міг переміщатися успішно, він повинен визначити своє положення на робочому місці. Таким чином, локалізація разом із сприйняттям і керуванням рухом є ключовими проблемами в навігації роботів.

Локалізація тісно пов'язана з репрезентацією. Якби на робота була встановлена точна система GPS, проблема локалізації була б вирішена. Робот завжди знав, де він знаходиться. Але на даний момент ця система недоступна або недостатньо точна для роботи. У будь-якому випадку, локалізація має на увазі не тільки знання абсолютного положення робота на Землі, а й його відносне положення відносно цілі.

Свою роль відіграє і система управління. Якщо робот має намір досягти певного місця, йому потрібна модель середовища або карта, щоб він міг спланувати шлях для досягнення цілі. Це означає, що локалізація є широкою проблемою, яка включає не тільки визначення абсолютного положення робота в просторі, а й створення карти та визначення положення робота відносно карти. Тому датчики (система сприйняття) є основоположними у завданні локалізації.

Будь-яка неточність і неповнота датчика вплине на локалізацію робота. Крім того, шум датчика та накладення на нього зменшують кількість корисної інформації. Необхідно звести до мінімуму невизначеність і помилку. Вони повинні допомогти у відображенні робота та його середовища. Нарешті, саме за допомогою локалізації на карті робот намагається відновити своє положення та визначити, коли він досяг цільового місця.

Ключовою проблемою локалізації карти є репрезентація. Протягом багатьох років було розроблено багато методів представлення, які використовувалися при плануванні шляху. Методи повинні ідентифікувати та розрізняти постійні, статичні перешкоди та рухомі перешкоди.

Реальний світ динамічний, тому реальні перешкоди можуть рухатися. Оцінка вектора руху перехідних об'єктів досі залишається проблемою.

Ще однією проблемою є широкі відкриті простори, такі як автостоянки, поля та закриті атріуми, як-от конференц-центри. Вони задають труднощі через свою відносну рідкість. Класичний приклад включає оклюзію людськими натовпами. Також необхідно розглянути проблему злиття датчиків, оскільки це посилює вихідні сприйняття, які набагато виходять за межі показань будь-якого окремого датчика. Ідеальним сценарієм було б, щоб датчики робота разом із стратегією відображення негайно ідентифікували його конкретне місцезнаходження, однозначно і багаторазово.

Точне знання положення рухомої частинки є ключовим питанням у мобільних роботах. Шукаючи рішення, дослідники та інженери розробили різноманітні системи, датчики та методи позиціонування мобільних роботів.

Для позиціонування використовуються наступні методи та технології:

- одометрія;
- інерційна навігація;
- магнітні компаси;
- активні маяки;
- глобальні системи позиціонування;
- орієнтирна навігація;
- відповідність моделі.

Точність карти повинна відповідати точності, з якою працює робот. Точність карти також повинна відповідати точності та видам даних, які повертають датчики робота. І важливо пам'ятати, що складність представлення карти впливає на обчислювальну складність міркувань про відображення, локалізацію та навігацію. Існує багато технік створення зображення на карті. Деякі з них тісно пов'язані з алгоритмами планування шляху.

Представлення сітки зайнятості (квадродерева) або топологічний підхід є двома важливими прийомами для представлення карти. Карта безперервних значень також

є одним з методів декомпозиції середовища. Багато прийомів представлення карт використовуються в плануванні шляху.

Набір методів полягає в наступному:

- локалізація на основі імовірнісної карти;
- локалізація Маркова ;
- локалізація фільтра Калмана;
- локалізація Монте-Карло;
- навігація на основі орієнтирів;
- унікальна локалізація;
- системи маячків позиціонування;
- на основі маршруту локалізація;
- автономна побудова карти;
- метод стохастичної карти;
- циклічні середовища;
- динамічні середовища.

Планування шляху спрямоване на пошук найкращого шляху, щоб мобільний робот досяг мети без зіткнення, що дозволяє мобільному роботі переміщатися через перешкоди від початкової конфігурації до іншої конфігурації. Часовою еволюцією руху нехтують. Швидкості та прискорення не враховуються.

Більш повне дослідження з більш широкими цілями — це планування траєкторії. Планування траєкторії тягне за собою з'ясування введених сил (управління $u(t)$) для переміщення приводів так, щоб робот рухався за траєкторією $q(t)$, що дозволяє йому перейти від початкової конфігурації до кінцевої, уникаючи перешкод. Він враховує динаміку та фізичні характеристики робота для планування траєкторії.

Коротше кажучи, розраховується тимчасова еволюція руху, а також сили, необхідні для досягнення цього руху. Більшість методів планування шляху та траєкторії є спільними. Як планування шляху, так і планування траєкторії є частиною більш комплексної концепції: планування руху. Відстеження траєкторії та стеження за траєкторією також є важливою частиною планування руху. Їх також можна вважати частиною управління рухом. Протягом багатьох років виникло безліч

методологій, які намагаються вирішити планування руху, застосоване до мобільних роботів.

Існуючі алгоритми та методики діляться на чотири великі категорії:

- класичні методи;
- імовірнісні методи;
- евристичні планувальники;
- еволюційні алгоритми;
- «планувальники на основі датчиків».

Розрив між цими двома групами залежить від потужності комп'ютера чи здатності розв'язувати найвимогливіший алгоритм. З роками і з досягненням комп'ютерів багато офлайн-техніки перетворилися на онлайн. Основна мета цих методів — знайти рішення, тобто здійснений шлях. З часом вони були доповнені методами оптимізації, які прагнули мінімізувати відстань, яку подолав мобільний робот. Деякі з цих методів створили проблеми. Наприклад, розкладання осередку вимагало багато пам'яті для аналізу робочого простору і викликало високі обчислювальні складності. Однією з проблем методів штучного потенціального поля є існування локальних мінімумів у потенціальному полі, щоб планувальник міг потрапити в пастку локальних мінімумів.

Під час руху робота необхідно уникати зіткнень мобільного робота з перешкодами. Навігація робота пов'язана зі здатністю мобільного робота переміщатися по навколишньому середовищу (відомому чи невідомому), щоб досягти мети, не зачіпаючи жодних перешкод.

Рух робота від його поточного розташування до цілі включає обчислення траєкторії. Для цього процесу потрібна карта, місцезнаходження цілі та поточне місцезнаходження робота за допомогою датчиків або іншої системи розташування. Крім того, хороший планувальник руху повинен вміти виявляти зіткнення між роботом і перешкодами в робочому середовищі, щоб робот міг змінити свою траєкторію або зупинитися до того, як станеться зіткнення.

Алгоритми уникнення перешкод допомагають запобігти зіткненням. Вони передбачають виявлення перешкод і саме уникнення перешкод.

Алгоритми запобігання зіткненням можуть бути такими:

- на основі карт. Ці алгоритми залежать від геометричних моделей або топологічних карт середовища. Робот має модель навколишнього середовища. Знаючи своє поточне місцезнаходження в кожен момент, він може виявляти зіткнення, обчислюючи відстані. Крім того, існує багато методологій моделювання середовища. Ці методології є результатом алгоритми планування шляху та спосіб, яким вони представляють навколишнє середовище, тому вони в кінцевому підсумку визначають характеристики відповідного алгоритму уникнення перешкод. Методи обчислення відстані між поточним розташуванням робота та найближчою перешкодою є ключем до виявлення перешкоди, і їх можна згрупувати в чотири підходи: перетин простору-часу, інтерференція перешкод, багаторазове виявлення перешкод і параметризація траєкторії;
- безкартовий метод : взагалі не використовується явного представлення середовища. Роботи покладаються на сенсорні системи для спостереження за навколишнім середовищем. Гістограма векторного поля та підхід динамічного вікна — це два алгоритми, які добре працюють із 3-D та лазером сканера, щоб уникнути зіткнень. Відстані можна отримати безпосередньо від датчиків, щоб планувальник шляху міг врахувати їх, спочатку для виявлення перешкод, а потім для уникнення зіткнень. Датчики на основі дальності (ультразвукові та лазерні далекоміри) по суті, добре підходять для завдання виявлення перешкод.

Основні методи для уникнення перешкод це метод помилок, метод гістограми, динамічний віконний підхід, діаграма близькості, кривизни швидкості, потенційного поля,

В методі помилок основна концепція полягає в тому, щоб відстежити контур перешкод, знайдених на шляху робота, і обійти його. Існує ряд модифікацій і адаптацій методу помилок. Суть цього методу полягає в тому, що поведінка робота кожного разу зазвичай є функцією, яка враховує лише останні показання датчика. Це може призвести до небажаних, але запобіжних проблем у випадках, коли миттєві показання датчика робота не надають достатньо інформації, щоб уникнути зіткнень.

Методи гістограми векторного поля долають цей недолік, створюючи локальну карту робочого середовища навколо робота - гістограма векторного поля. Ця техніка використовує двовимірну сітку гістограми для моделювання середовища, яка спрощена до одного виміру, «полярної гістограми», побудованої навколо положення робота в певний момент. Сектори, введені в полярну гістограму, відображають «щільність полярних перешкод». Наведення робота контролюється шляхом вибору сектора з найменшою кількістю перешкод. Змодельована карта гістограми безперервно оновлюється за допомогою датчиків робота з даними, що стосуються відстані між роботом і перешкодами.

Динамічні віконний підхід - ключова ідея полягає в тому, щоб вибрати управління в просторі швидкостей робота. Траєкторія робота складається з «послідовності дуг кола». Дуги визначаються за допомогою вектора швидкості в якому перше значення виражає поступальну швидкість, а друге значення позначає швидкість обертання; обидві змінні відображають простір пошуку. Простір пошуку спрощено для створення динамічного вікна, який розглядає траєкторію, складену дугами окружності та визначену вектором швидкості. Динамічне вікно обмежує допустимі швидкості тими, які можуть бути досягнуті за короткий проміжок часу з огляду на обмежені прискорення робота.

Метод діаграми близькості використовує підхід «розділяй і володарюй». Метод розбиває робоче середовище на різні зони, щоб відобразити розташування перешкод. Спостереження доводять, що метод може успішно уникнути локальних мінімумів лише тоді, коли він повністю видимий для датчиків. Метод діаграми близькості використовує поведінкову парадигму «ситуаційної діяльності». Ця ідея використовує заздалегідь визначені групи станів умов, що складаються з різних проблем і відповідних їм дій. При запуску методу визначається поточний стан і виконується відповідна його дія.

Метод кривизни швидкості враховує динамічні обмеження транспортного засобу, що дозволяє йому швидко рухатися в щільному середовищі. Обмеження швидкості та прискорення робота та існування перешкод, змодельованих як кругові об'єкти, є

додається до простору швидкостей. Простір швидкостей складається з поступальних і обертальних швидкостей. Передбачається, що траєкторія робота пов'язана з дугами кіл. Швидкість вибирається відповідно до цільової функції, яка пов'язана з частиною простору швидкостей, яка створює фізичні обмеження робота та перешкоди.

Ще один з методів – потенційного поля. Мобільний робот розглядається як частинка, яка занурена в потенційне поле, створене ціллю та перешкодами, які нібито в робочому середовищі. Ціль створює привабливий потенціал, а кожна перешкода створює потенціал відштовхування. Рух робота інтерпретується як рух частинки в градієнтному векторному полі, створеному позитивними та негативними електричними частинками. Більше того, градієнти інтерпретуються як сили, які притягують позитивно заряджені частинки до негативної частинки, яка працює як мішень. Перешкоди мають бути позитивними зарядами, які створюють на робота сили відштовхування, утримуючи його.

Висновки до розділу

У цьому розділі було розглянуто досліджувану область. Визначено основні характеристики роботів, їх структурні елементи системи, такі як навігація, пересування, сприйняття роботів. Проаналізувавши дану область, можна зробити висновок, що на даному етапі розвитку робототехніки роботів довільної орієнтації недостатньо. Так як довільна орієнтація дозволяє роботам рухатись по будь-яким поверхням і ця перевага може бути використана в багатьох сферах. Так як в науковому напрямку, досліджувати різні об'єкти, до яких людині не можливо добратись. Також вони можуть бути використані при надзвичайних ситуаціях: техногенні катастрофи, катаклізми. Тому що вони можуть пересуватись як вертикально так і горизонтально, маючи переваги над рухом людини.

2 ОПИС МЕТОДИКИ РОЗРАХУНКУ ПАРАМЕТРІВ ГЕНЕРАТОРА РЕАКТИВНОЇ ТЯГИ ДЛЯ МОБІЛЬНОГО РОБОТА

Автоматизоване керування генератором реактивної тяги мобільного робота спрямоване на створювання реактивної тяги, яка однак не перевищує зусилля зчеплення мобільного робота з поверхнею переміщення за рахунок автоматичного регулювання сили визначеної тяги в залежності від міри кута нахилу робота до горизонту технологічного простору. Застосування генератора реактивної тяги забезпечує підвищення надійності утримання мобільного робота на поверхні переміщення довільної орієнтації у просторі.

Тут викладемо методику розрахунку параметрів генератора аеродинамічної піднімальної сили. Спочатку обчислюється швидкість u_2 газу на виході із сопла генератора тяги:

$$u_2 = \sqrt{\frac{2k}{k-1} \frac{P_1}{\rho_1} \left(1 - \frac{P_2}{P_1} \frac{\rho_1}{\rho_2}\right)}, \quad (2.1)$$

де: ρ_1 , P_1 – густина і тиск газу на вході у отвір;

$P_1 = (2 \dots 8) \text{ bar}$. Щільність ρ повітря при 1 (bar) дорівнює: $\rho = 1.29 \text{ кг/м}^3$;

u_2 , P_2 , ρ_2 – швидкість, тиск та густина газу на виході з отвору сопів генератора тяги; $P_2 = 1 \text{ bar}$ (це майже атмосферній тиск); густина газу $\rho_2 = 1.29 \text{ кг/м}^3$;

$k = C_p / C_v$ (для повітря $k = 1,4$). де: C_p – теплоємність одного моля газу при постійному тиску, Дж/моль; C_v – теплоємність одного моля газу при постійному об'ємі, Дж/моль.

Якщо згадати класичне співвідношення:

$$\frac{\rho_1}{\rho_2} = \frac{P_2}{P_1}, \quad (2.1a)$$

ТО ВИХОДИТЬ, ЩО

$$\rho_1 = \frac{P_2}{P_1} \rho_2 \quad (2.16)$$

Підставивши вираз (2.16) у формулу (2.1), отримується остаточно вираз:

$$u_2 = \sqrt{\frac{2k}{k-1} \frac{P_1}{\rho_1} \left(1 - \frac{P_2^2}{P_1^2}\right)} \quad (2.1в)$$

Оскільки $P_1 = (2 \dots 8) \text{ bar}$, а атмосферній тиск майже $P_2 = 1 \text{ bar} = \text{Const}$, то вираз в дужках завжди буде менше одиниці.

Для зростання швидкості ($u > 0$) необхідно, щоб сопло звужувалось ($F < 0$), де F площа перерізу отвору сопла на виході. Швидкість газу u зростатиме до тих пір, доки не досягне критичного значення $u_{кр}$, яке дорівнює швидкості звуку при даних параметрах газу, тобто:

$$u_{кр} = \sqrt{k \frac{P_2}{\rho_2}} = \sqrt{k \frac{P_1}{\rho_1} b^{\frac{k-1}{k}}}, \quad (2.2)$$

де $b = P_2 / P_1$.

Обчислення критичної швидкості газу з урахуванням тиску на вході сопел здійснюється за формулою

$$u_{кр} = \sqrt{\frac{P_1}{\rho_1} \frac{2k}{k+1}}. \quad (2.3)$$

Масу газу, що витікає через сопло за одиницю часу визначається як

$$M = \rho_2 u_2 F_2, \quad (2.4)$$

де F_2 – площа поперечного перетину сопла на виході газу, м²; $F_2 = \frac{\pi d^2}{4}$,
де: $d=0,001\text{м} \dots 0,004\text{м}$.

Після визначення маси M , обчислюється силу G_a протидії гравітаційному навантаженню мобільного робота, тобто аеродинамічну піднімальну силу:

$$G_a = M u_2 + (P_1 - P_2) F_2. \quad (2.5)$$

На практиці, якщо задати n отворів ($n = 10 \dots 100$) діаметром d ($d=0,001\text{м} \dots 0,004\text{м}$), то витрата маси M_c стисненого повітря та міру сили реактивної тяги G можна вирахувати згідно цієї формули:

$$M_c = M n \left(\frac{d}{d_o} \right)^2; \quad G = G_a n \left(\frac{d}{d_o} \right)^2, \quad (2.6)$$

де значення M і G_a вибирається з нижче наведених графіків рис. 2.1 та 2.2 залежно від тиску стікаючого газу для діаметру $d_o=0,003\text{м}$.

Практично пропорційно росту тиску витікання газу (після $2 \cdot 10^5$ Па) росте маса його витрати, про що свідчить графік рис. 2.1.

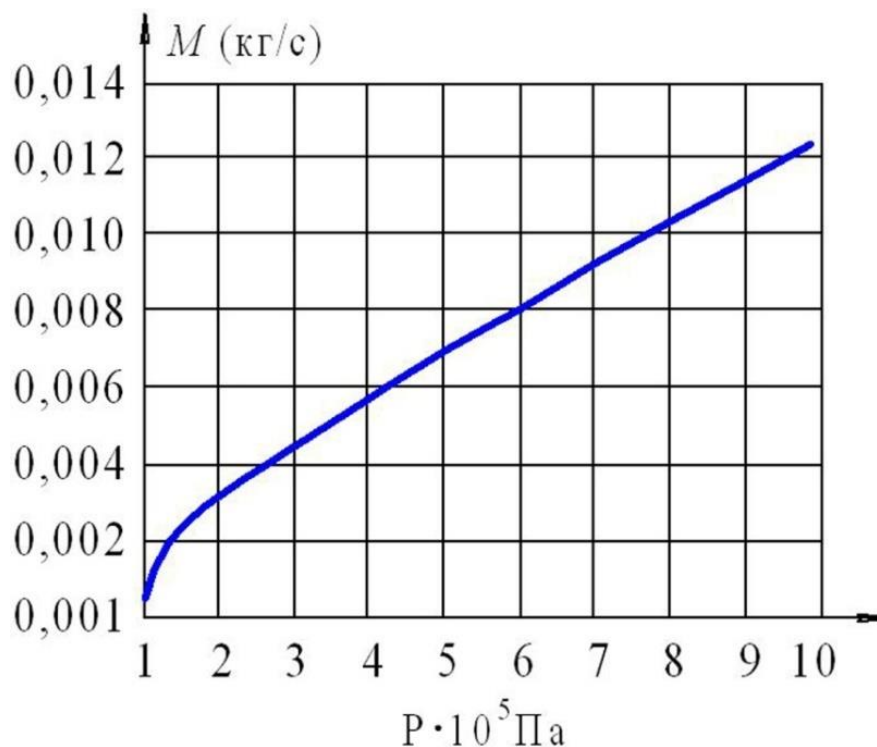


Рис. 2.1. Залежність маси витрат стислого газу від тиску

На графіках (додаток Б) зображено залежності сили реактивної тяги від тиску скікаючого газу: де крива G_1 ілюструє зміну сили тяги від швидкості витікання стисненого повітря, крива G_2 – від різниці тисків, G_a – відображає сумарну силу тяги, можна встановити силу реактивної тяги G в залежності від числа сопів та площин F_2 їх поперечного перетину, або діаметрів: $d = \sqrt{4F/\pi}$.

Загальна схема розрахунку, тобто що з якої формули витікає, представлено в додатку В.

Так, наприклад, нехай число сопів рівно $n=50$ з отворами діаметром $d=0,004$ (м) і тиском у камері $P_1 = 6 \cdot 10^5$ (Па). Тоді із графіка знаходимо $G_a = 5,2$ (Н) і сумарна сила реактивної тяги G складе: $G = 5,2 \cdot 50 \cdot (0,004/0,003)^2 = 462$ (Н).

Висновки до розділу

У даному розділі було наведено алгоритм розрахунку параметрів генератора реактивної тяги. Проаналізовано основні параметри, які потрібно для розрахунку, а саме тиск у камері, діаметр сопла, та кількість сопел.

Визначено необхідних список параметрів, серед них швидкість u_2 газу на виході із сопла генератора тяги, критичної швидкості газу з урахуванням тиску на вході сопел, F_2 – площа поперечного перетину сопла на виході газу, маса газу, що витікає через сопло за одиницю часу M , сила реактивної тяги G . Обчислення цих параметрів необхідне для роботи генератора реактивної тяги. У результаті було надано схему розрахунку формул та методику визначення потрібної сили реактивної тяги G . Схему функціонування і перетворення формул зображено в додатку Б і на основі цієї методики розроблено програму підрахунку, описаної в 4 розділі.

3 ОПИС РОБОТА

Модуль САЕ розрахунку параметрів розробляється для мобільного крокуючого робота [26]. Далі наведено опис об'єкту, для якого мною розроблений модуль САЕ. Він містить корпус 1 який має дві основні складові частини. Це є верхня й нижня платформи. З'єднання цих двох платформ відбувається за рахунок шпильок 2 та осями 3. На осі встановленні крокуючі механізми даного робота, так звані педипулятори, 4, які мають шестірню 5, а обидві пари крокуючого механізму оснащена трансмісією, яка включає в себе паразитного зубчастого колеса 6 і ведучого колеса 7, який приводяться в рух за допомогою двигуна 8 (рис. 3.1). Також, кожний із 4-рьох педипуляторів 4 укомплектований захватом 9 для зціплення з площиною руху і його приводом повороту 10 для гарантії нормального положення захвату 9 до площини руху. Тип захватів 9 може мати різну форму, яка залежить від топології і матеріалів площини, по якій виконує рух робот, це може бути механічний, електромагнітний, вакуумний або адгезійний.

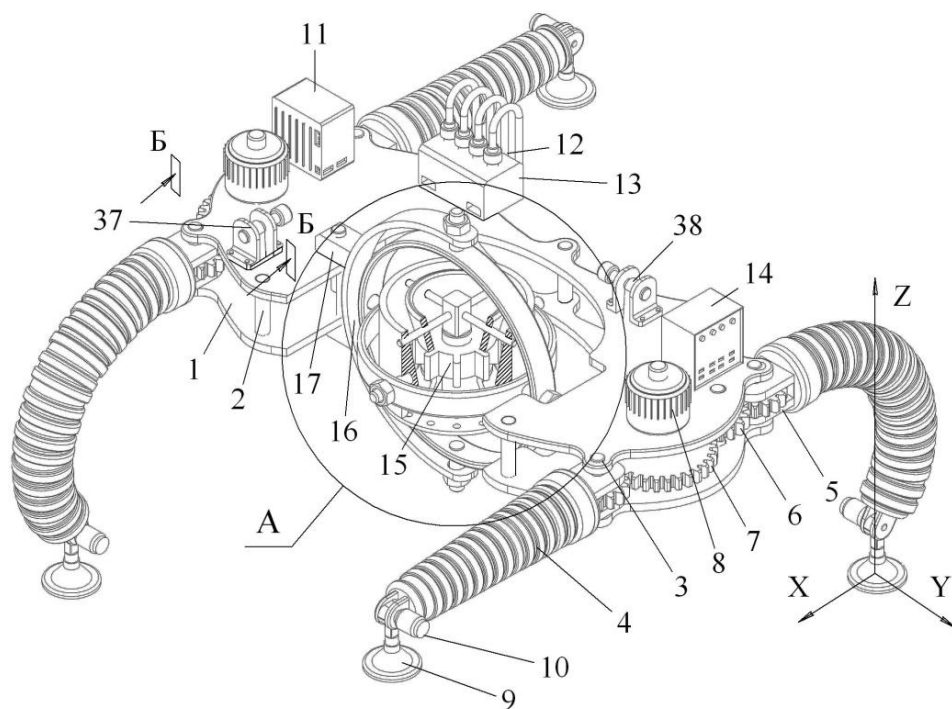


Рисунок 3.1. Крокуючий мобільний робот

На верхній платформі корпусу 1 розташований модуль 11, який виконує функцію електрозбереження мобільного крокуючого робота. Також на цій платформі знаходиться блок 12 гідравлічних або газових (пневматичних) розподільовачів та генератор тиску газу або рідини управління 13 для управління крокуючими механізмами 4, а також контролер 14, який виконує функцію керування роботом.

Робот укомплектований генератором реактивної (пневматичної) тяги 15, який розміщений на кардановому підвісі 16. Кронштейн 17 закріплює генератор 16 на корпусі 1. Також цей кронштейн 17 через отвори 18 (рис. 3.2. А) розміщено нерухомо на корпусі 1 мобільного робота. Кронштейн 17 встановлений таким способом, що центр маси (ваги) робота співпадає з центром карданового підвісу.

Скобу 19 нерухомо встановлено на кронштейні 17, в якій зафіксовано елементом 21 в осьовому напрямку на осях 20 встановлено зовнішнє кільце 22, яке має можливість обертатись на кут $0 \leq \varphi \leq 180^\circ$ навколо осі 20. В середині кільця 22 з спільним центром встановлено внутрішнє кільце 23 на осях 24, яке має також можливість обертатись на кут $0 \leq \gamma \leq 180^\circ$ навколо осі 24. Протилежній стороні на осях 25 кільце 23 розміщено корпус 26 генератора тяги з можливістю обертання на кут $0 \leq \psi \leq 180^\circ$ навколо осі 25.

За допомогою хрестовини 27 корпус 26 генератора тяги (рис 3.2. Б) міцно з'єднано внутрішнім корпусом 28 та сервоприводом 29 генератора тяги. Сервопривод 29 має такі елементи як лопатного ротора 30, його мотор 31 та автономного блока живлення 32. Також корпус 26 генератора тяги розміщено з зміщенням центру його маси відносно центру кардановому підвісу. Іншими словами, центри кільцець 22 і 23 та осі 25 мають зміщений центр мас. З спільним центром мас встановлені корпуси 26 і 28 створюють воронку в конічній формі 33 для забору повітря та схожу воронку 34 для вимушеного витеснення стислого повітря через сопла 35 та шайби 36, який герметично з'єднує корпуси 26 і 28.

Мобільний робот укомплектований датчиками 37 та 38 для визначення куту нахилу робота відносно горизонту, розташованих в двох перпендикулярних площинах XZ і YZ в декартовій системі координат XYZ. Всі з вище згаданих датчиках

зроблений у вигляді противаги 39, яка розташована нерухомо за допомогою важеля 40, втулки 41 та шпонки 42 на поворотному валу 43.

Поворотний вал розміщений таким чином, щоб мати можливість обертатись на підшипниках 44, кронштейнів 45, які зафіксовані на корпусі 1 робота. Один з кронштейнів 45 укомплектований енкодером (від англ. *encode* — перетворювати; сенсор для трансформації кута повороту вала в електричний сигнал), у який входить кінець вала 43. Датчики 37 та 38 з енкодером 46 з'єднано з декодером (пристроєм для розкодування й перетворення сигналу). Він приєднаний з блоком підсумовування 48 і регулятором швидкості 49 сервоприводу 29 генератора реактивної тяги.

Робот працює наступним чином. Робот крокує по поверхні будь якої орієнтації відносно обрїю в наслідок періодичного згину та розгину гнучких педіпуляторів 4 та їх обертання навколо вісі їх кріплення через трансмісію, що складається з зубчастого колеса 6 і ведучого колеса 7, постаченого двигуном 8. Вказаний періодичний та почерговий згин гнучких педіпуляторів 4 відбувається за рахунок створення генератором 13 тиску газу або рідини в каналах педіпуляторів та розподілення потоків тиску блоком 12 за командами контролера 14 керування роботом. При цьому робот утримується на поверхні переміщення захватами 9, що повертаються двигунами 10 до нормалі відносно поверхні руху. Власно комбінаторика зазначених тисків в каналах педіпуляторів робота і програма їхньої реалізації тут не розглядаються, тому що не є об'єктом захисту.

Під час переміщення мобільного робота по поверхні довільної орієнтації сила гравітації G , що діє на робот, дорівнює $G = (m_1 + m_2)g$, де: m_1 – маса робота, кг; m_2 – маса генератора тяги, кг; g – прискоріння вільного падіння, м/с². Оскільки Карданів підвіс має три ступені свободи, тобто можливість обертання на вказані вище кути φ, γ, ψ навколо відповідних осей, а генератор тяги 15, як зазначено вище, встановлено зі зміщенням h центру O_1 його ваги m_2 відносно центру «С» Карданового підвісу (тобто центру кілець 22 і 23), то під дією крутного $M_2 = m_2gh$ моменту генератор тяги 15 при нахилі робота відносно обрїю повертається до співпадіння його осі з напрямком дії сили гравітації $G = (m_1 + m_2)g$. Залежно від кута нахилу робота до обрїю

під дією сили гравітації противага 39 обертає поворотний вал 43, що призводить до вироблення пропорційної кількості сигналів енкодером 46, які після обробки декодером 47 та блоком підсумування 48 їх різниці, формують команду для регулятора швидкості 49, що поступає на сервопривод 29.

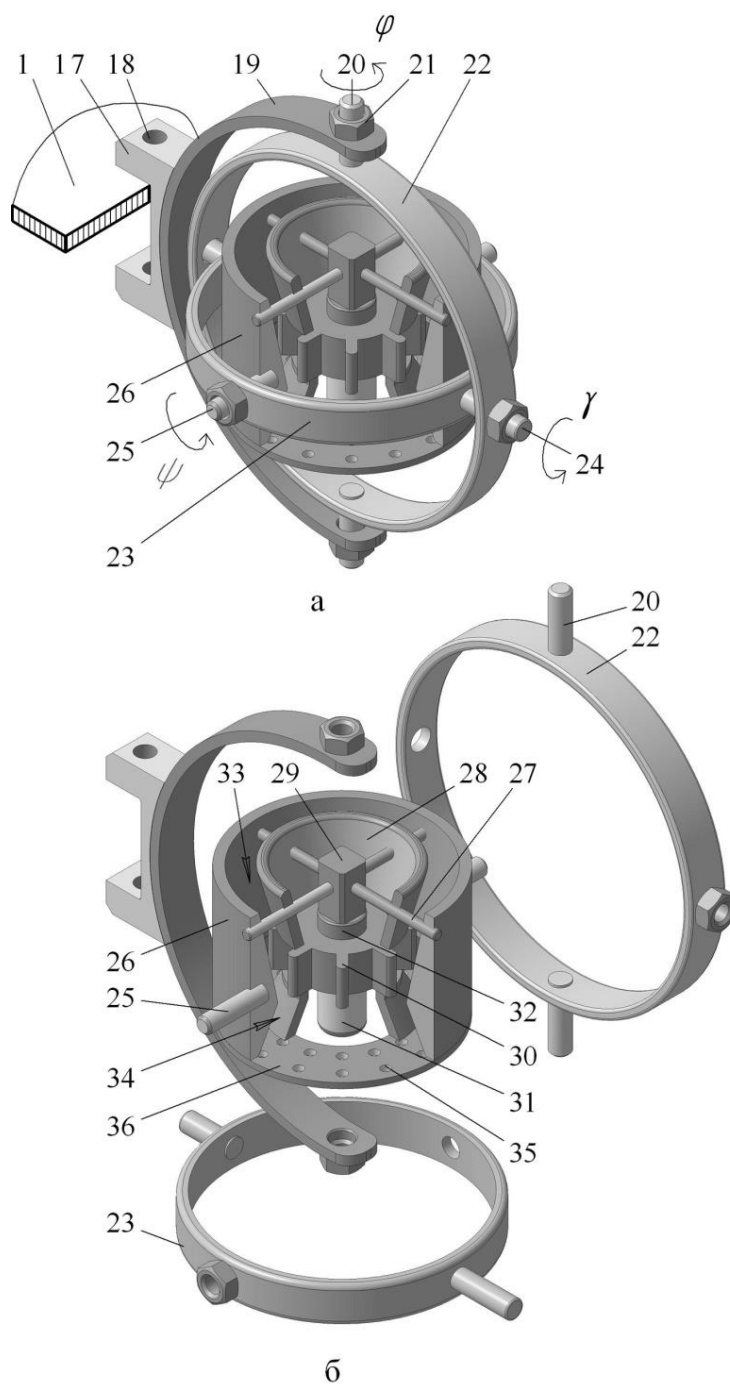


Рисунок 3.2. Карданів підвіс генератора аеродинамічної сили

Далі за сигналом контролера 14 включається сервопривод 29 двигуна 31 і лопатним ротором 30 нагнітається стисле повітря через сопла 35, утворюючи тим самим пневматичну реактивну тягу G_1 , що спрямована завжди протилежно потоку стислого повітря та напрямку дії сили гравітації G . Таким чином долається негативний вплив сили гравітації. Причому продуктивність нагнітання стислого повітря (а значить і сила реактивної тяги), визначається кутом нахилу робота до обрїю завдяки означеному вище зв'язку вимірників 37 і 38 кута нахилу та регулятора швидкості двигуна 31 через сервопривод 29.

Викладене пропорційне регулювання сили реактивної тяги залежно від кута нахилу робота до обрїю необхідно, щоб при певних кутах нахилу робота пневматична реактивна тяга G_1 за своєю величиною не перевищувала силу зчеплення захватів робота з поверхнею переміщення. Інакше кажучи, щоб робот не перетворився на літальний апарат, а генератор тяги тільки зменшував негативний вплив сили гравітації або долав вплив останньої, одночасно не перевищуючи силу зчеплення захватів робота, і навіть не допускаючи їх проковзування по поверхні переміщення. Ця задача вирішена розрахунком критичного кута нахилу робота до обрїю, коли настає момент часу включення генератора пневматичної тяги.

Таким чином, завдяки тому, що генератор пневматичної тяги встановлено на Кардановому підвісі забезпечується постійний напрямок осі генератора незалежно від орієнтації самого підвісу, тобто самого транспортного засобу у вигляді мобільного робота. Збереження напрямку осі генератора тяги, незалежно від орієнтації робота, дозволяє гарантувати постійний збіг ліній дії реактивної тяги (піднімальної сили) і діаметрично напрямленої їй гравітаційної сили. Це підвищує надійність втримання мобільного робота на вертикальних або будь якої орієнтації поверхнях його переміщення. Розміщення центру Карданового підвісу в центрі ваги робота, при одночасному зсуві центру ваги генератора тяги відносно центру Карданового підвісу на певну величину, створює постійно діючий крутний момент для повертання вісі генератора тяги до збігу ліній дії протилежних сил, а саме піднімальної й гравітаційної сили. Регулювання сили реактивної тяги залежно від кута нахилу робота до обрїю виключає перевищення вказаної тяги сил зчеплення робота з поверхнею

переміщення, що додатково підвищує надійність утримання робота на поверхнях будь якої орієнтації.

Для кращого розуміння запропонованих досліджень спочатку розглянемо технічне рішення мобільного робота з генератором реактивної пневматичної тяги (рис. 3.3).

Робот переміщається за допомогою крокуючих механізмів у вигляді гнучких педипулярів, на кінцях яких встановлені вакуумні захватні пристрої для утримання робота на поверхні довільної орієнтації у просторі. Виконання захоплень може бути різним, наприклад механічним чи електромагнітним, що у разі принципового значення немає. Головною відмінністю робота є установка на Кардановому підвісі генератора реактивної тяги з пневматичним компресором, який створює аеродинамічну силу R . Саме ця сила протидіє гравітаційному навантаженню $G = Mg$ (де M – маса робота; g – прискорення вільного падіння).

Генератор реактивної тяги R встановлений на Кардановому підвісі в системі координат XYZ з трьома ступенями свободи та кутами повороту. Це технічне рішення дозволяє за будь-якої орієнтації робота по відношенню до горизонту, забезпечувати збіг лінії дії реактивної тяги з лінією дії гравітаційного навантаження G , але при цьому зазначені сили завжди спрямовані протилежно один до одного. Реактивна тяга не повинна перевищувати зусилля зчеплення робота з поверхнею переміщення, щоб робот не перетворився на літальний апарат. Компенсація гравітаційного навантаження за допомогою генератора реактивної тяги забезпечує підвищення надійності утримання мобільного робота на поверхні довільної орієнтації під час виконання технологічних операцій. Гнучкі педипулятори робота рухаються сервоприводами з механічною редукцією, які управляються контролером. Крім того, робот оснащений блоком живлення та пневматичним блоком для управління компресором генератора тяги.

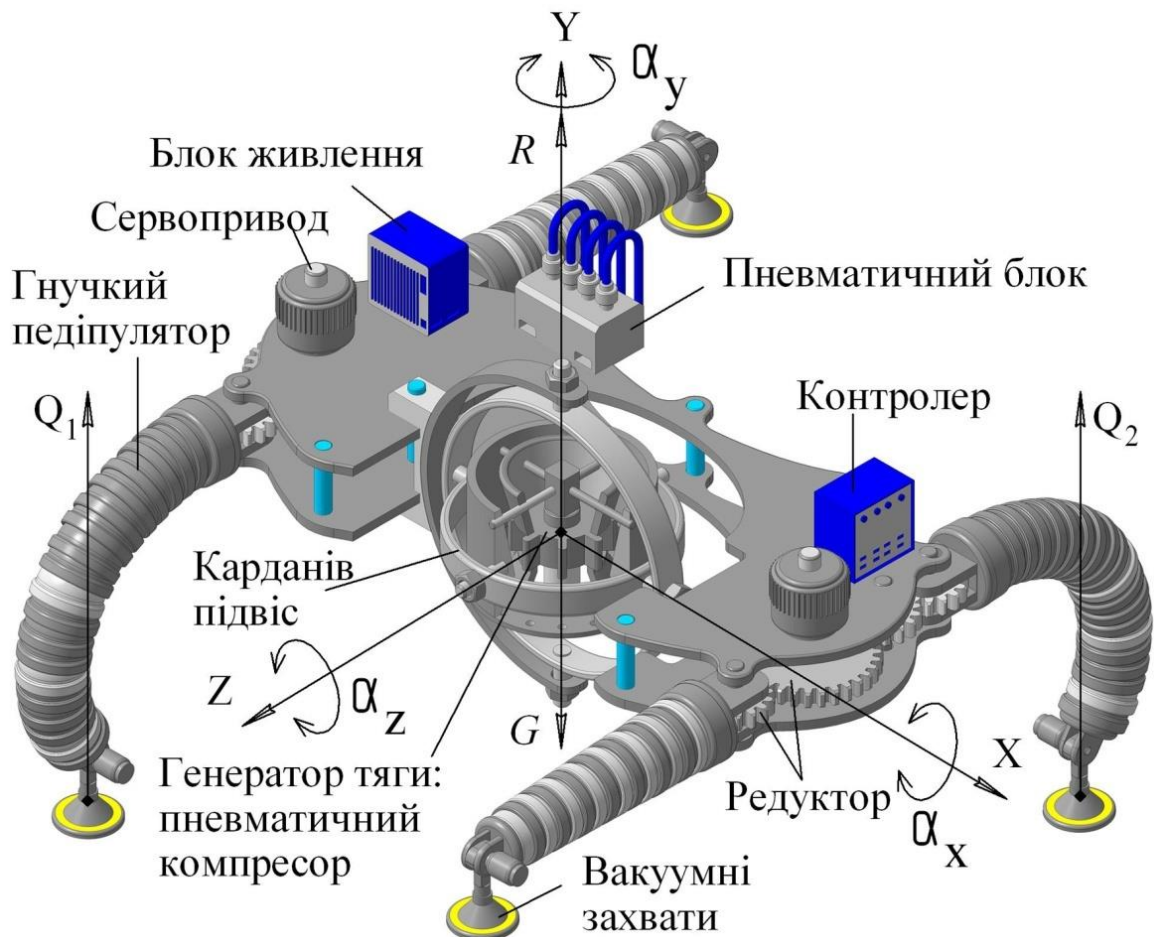


Рисунок 3.3. Мобільний робот із пневматичним генератором аеродинамічної сили

Висновок до розділу

У даному розділі було наведено структурну схему мобільного крокуючого робота, описано всі компоненти робота та їх розміщення і з'єднання. Описано механізм пересування робота та принцип роботи генератора реактивної аеродинамічної піднімальної сили. Розташування генератора на кардановому підвісі з трьома ступенями свободи забезпечує за будь-якої орієнтації робота відносно горизонту зберігати збіг лінії дії генератора та гравітаційного поля. Проте ці сили завжди протидіють одна одній, тому робот може утримуватись на поверхні з будь-якою орієнтацією.

4 РОЗРОБКА АЛГОРИТМІЧНОГО І ПРОГРАМНОГО ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ

4.1 Загальні відомості

Даний тип програмного забезпечення відноситься до САЕ – Computer Aided Engineering. Це застосування комп'ютерних технологій програмування для моделювання конструкцій з метою покращення продукції або для допомоги у вирішенні конструкторських проблем для різноманітного кола сфер промисловості. Це включає моделювання, перевірку та оптимізацію продуктів, процесів та виробничих інструментів.

Типовий процес САЕ складається з етапів попередньої обробки, вирішення та постобробки. На етапі попередньої обробки інженери моделюють геометрію (або уявлення системи) і фізичні властивості конструкції, а також середовище у вигляді прикладених навантажень або обмежень. Далі модель розв'язується з використанням відповідної математичної формулювання основної фізики. На етапі постобробки результати представлені інженеру для перегляду.

Програми САЕ розробки покривають широкий спектр інженерних дисциплін та процесів. Це включає в себе аналіз динаміки компонентів і вузлів системи; кінематика та динамічний аналіз механізмів; моделювання виробничих процесів, автоматизація обрахунків механічних подій.

Програми САЕ оптимізують час і знижують витрати на розробку продукту, а також покращення якості та довговічності продукту. Проекти можна оцінити й удосконалити за допомогою комп'ютерного моделювання, а не фізичного тестування прототипу, заощаджуючи гроші та час. При належній інтеграції в розробку продукту та виробництва САЕ може дозволити більш раннє вирішення проблем, що може значно знизити витрати, пов'язані з життєвим циклом продукту. Проекти можна оцінити й удосконалити за допомогою комп'ютерного моделювання, а не фізичного тестування прототипу, заощаджуючи гроші та час.

Використовуючи переваги інженерного моделювання, особливо в поєднанні з потужністю та швидкістю високопродуктивних хмарних обчислень, можна значно

скоротити вартість і час кожного циклу проектування, а також загальний процес розробки. Стандартний робочий процес CAE полягає в тому, щоб спочатку створити початковий проект, а потім імітувати геометрію CAD. Результати моделювання потім оцінюються та використовуються для покращення конструкції. Цей процес повторюється до тих пір, поки всі вимоги продукту не будуть задоволені та практично підтвержені. У разі будь-яких слабких місць або областей, де продуктивність цифрового прототипу не відповідає очікуванням, інженери та дизайнери можуть удосконалити модель САПР і перевірити наслідки їх зміни, випробувавши оновлений дизайн у новій симуляції. Цей процес сприяє швидшій розробці продукту, оскільки немає необхідності створювати фізичні прототипи на ранніх стадіях розробки

Для роботоздатності даного програмного забезпечення потрібно щоб воно задовольняло такі вимоги:

- ввід початкових параметрів;
- обчислення за заданим алгоритмом;
- відображення результатів обчислення;
- можливість перегляду схеми;
- додаткова інформація про розрахунки.

Моделювання за допомогою методів CAE займає максимум кілька годин у порівнянні з днями або, ймовірно, тижнями, які потребують створення фізичного прототипу. Оскільки перед початком серійного виробництва створити фізичний прототип продукту неминуче, моделювання може допомогти зменшити кількість цих прототипів. Плануючи інтегрувати методи моделювання в процес розробки продукту, важливо знати про середовище (сили, температури тощо), якому буде піддаватися продукт. Знання цих умов має вирішальне значення для правильного налаштування моделювання. Прогнозною цінністю будь-якого моделювання може бути лише точність виконаних граничних умов. До цього часу, окрім прогнозування факторів навколишнього середовища, інженерне моделювання само по собі було складним заходом, здебільшого зарезервованим для досвідчених інженерів та експертів із моделювання. Сучасні інструменти моделювання CAE, намагаються подолати ці

бар'єри, дозволяючи недосвідченим користувачам без глибоких знань про фізичні процеси та характеристики вирішувача отримувати глибокі результати моделювання.

Симулювати складну геометрію важко навіть на сучасних комп'ютерах, оскільки для продуктивності потрібні величезні обчислювальні потужності. Великі компанії зі складною IT-інфраструктурою використовують власні сервери для розміщення та проведення симуляцій. Однак зростання НРС (високопродуктивних обчислень) у хмарі тепер також дає невеликим компаніям, які зазвичай не можуть дозволити собі купувати та підтримувати необхідне обладнання, доступ до тих же інструментів і можливостей моделювання, які раніше були зарезервовані лише для вибраних декілька. Цей збій на ринку продуктів для моделювання дає можливість кожному моделювати продукти, які вони розробляють.

Основна мета CAE — тестувати, прогнозувати та покращувати надійність, продуктивність, енергоефективність та довговічність компонентів та вузлів, у кінцевому підсумку створюючи кращі продукти та зменшуючи кількість необхідних фізичних прототипів та час виходу на ринок. Потік рідини, масовий і тепловий транспорт, взаємодія рідини і твердого тіла, статичний або динамічний аналіз, аналіз напружень на компонентах і вузлах, спряжений теплопередача, провідність, конвекція, випромінювання та багато іншого можна перевірити для широкого спектру конструкцій за допомогою програмного забезпечення CAE.

Комп'ютерна інженерія (CAE) може використовуватися практично в будь-якій галузі, яка проектує продукт, що піддається впливу різних середовищ. Галузі промисловості, що використовують комп'ютерну техніку, включають, але не обмежуються ними, автомобільну, аерокосмічну, заводську техніку, електроніку, енергетику, споживчі товари та HVAC. Продукти варіюються від надзвичайно маленьких деталей до великих і складних конструкцій, таких як гоночні автомобілі, мости або навіть електростанції.

Перевірка конструктивної цілісності крана, що несе специфічне навантаження на дах, оцінка акустичного дизайну концертного залу або конвективного потоку всередині лампочки; все це приклади додатків, де моделювання може зробити величезну, іноді рятівну різницю.

4.2 Вибір середовища

Для того щоб мати змогу реалізувати всі вимоги даного програмного забезпечення потрібно проаналізувати і обрати найоптимальніший варіант.

Програмне забезпечення повинно мати бібліотеки для реалізації графічного інтерфейсу та при цьому оптимально виконувати розрахунки.

Серед варіантів розглядалось C#, Python та C++. Після проведення дослідження функцій кожної з мови вибір був зроблений на користь Python.

В якості мови програмуванням було обрано Python та його додаткові бібліотеки. Тестування і написання було виконано у програмному середовищі Pycharm.

Вибір мови програмування Python був обумовлений рядом факторів, які приносять свої привілеї у програмній реалізації.

Так як Python — це інтерпретована, об'єктно-орієнтована мова програмування високого рівня з динамічною семантикою та крос-платформеністю. Сучасні високорівневі вбудовані структури даних разом зі динамічною типізацією та динамічним зв'язуванням створює ідеальні умови його використання для розробки додатків і алгоритмічно-обрахункових програм, а також для використання в якості мови скриптів або для з'єднання вже створених елементів коду, які можуть бути написати на різноманітних мовах програмування.

В якості інструменту для реалізації віконного інтерфейсу було обрано бібліотеку Tkinter. Tkinter надає класи, які дозволяють відображати, позиціонувати і контроль віджетів. Віджети верхнього рівня – це Tk і Toplevel. Інші віджети: рамка, мітка, запис, текст, полотно, кнопка, радіокнопка, кнопка прапорця, масштаб, поле зі списком, смуга прокрутки, меню параметрів, спинбокс LabelFrame і PanedWindow.

Властивості віджетів задаються аргументами ключових слів. Аргументи ключових слів мають те саме ім'я, що й відповідний ресурс під Tk.

Для побудови віконного інтерфейсу, основним віджетом є *WINDOW*. Це основний елемент віджетів бібліотеки Tkinter. Створюється екземпляр класу Tk, який

ініціалізує Tk і створює пов'язаний з ним інтерпретатор Tcl. Він також створює вікно верхнього рівня, відоме як кореневе вікно, яке служить головним вікном програми (рис. 4.1).

Наступний рядок надає нашому вікну назву, який буде відображатись при відкритті програми. У даному випадку це 'Sofiya'.

Наступний рядок створює визначає розміри нашого вікна, так як вони будуть статичні, то необхідно щоб вони були задані в коді програми. Обрання статчного розміру, було обумовлене типом програмного забезпечення, немає ннеобхідності у зміні розміра вікна користувачем.

```

window = Tk()
window.title("Sofiya")
window.geometry('400x250')

```

Рисунок 4.1 Лістинг ініціалізації основного вікна програми

Далі нам потрібно наповнити вікно полями з назвами параметрів, та полями для вхідної інформації (рис. 4.2). Для цього нам потрібно створити текстовий рядок. Використовується віджет мітки *Label* і далі за допомогою аргументів відобразимо його у нашому вікні і визначимо стиль і формат тексту. Метод `grid()` використовується для визначення відносного макета (позиції) мітки у віджеті, що містить фрейм, подібно до того, як працюють таблиці в HTML.

Наступним кроком буде створення кнопки, яка відповідає за підрахунки потрібних параметрів генератора аеродинамічної піднімальної сили (рис. 4.3). Назва кнопки це «Підрахувати». Її нажаття відповідає за виклик функції обрахунку `def calc()`. Вона відображуватиметься внизу вхідних параметрів.

```

lbl = Label(window, text="Введіть число копів (n)", font=("Arial Bold", 12))
lbl.grid(column=0, row=0)
txt_n = Entry(window,width=10)
txt_n.grid(column=1, row=0)
lbl = Label(window, text="Введіть діаметр отворів в м (d)", font=("Arial Bold", 12))
lbl.grid(column=0, row=1)
txt_d = Entry(window,width=10)
txt_d.grid(column=1, row=1)
lbl = Label(window, text="Введіть тиск в камері в bar (P1)", font=("Arial Bold", 12))
lbl.grid(column=0, row=2)
txt_p = Entry(window,width=10)
txt_p.grid(column=1, row=2)

```

Рисунок 4.2 Лістинг наповнення вікна інформативними та ввідними полями

Для відображення зображень, а саме схеи використано бібліотеку Pillow. Ця бібліотека забезпечує широку підтримку форматів файлів, ефективне внутрішнє представлення та досить потужні можливості обробки зображень.

```

btn = Button(window, text="Підрахувати", command=calc)
btn.grid(column=0, row=3)

```

Рисунок 4.3 Лістинг створення кнопки підрахунку

В межах нашої програми використовується два її модулі:

- *Image*. Модуль також забезпечує ряд заводських функцій, включаючи функції для завантаження зображень з файлів і створення нових зображень;
- *ImageTk*. Модуль ImageTk містить підтримку для створення та зміни об'єктів Tkinter BitmapImage та PhotoImage із зображень PIL.

4.2 Інтерфейс програми

Для того щоб програма була ефективною не тільки для впевнених користувачів потрібно що її інтерфейс був інтуїтивно зрозумілий і простим. Для забезпечення простоти використанням під час розробки інтерфейс було враховано рекомендації User interface правил, а саме зрозумілий і легкочитаємий шрифт, фоновий колір

програми не мішає бачити важливу і потрібну інформацію. Також кнопки розташовано в видному місці і нічого не перешкоджає її нажаттю. Детальна блок схема графічного інтерфейсу у Додатку Е.

Після запуску програми перед користувачем виникне перше вікно.

Це головне вікно програми в якому вводять вхідні параметри для розрахунку.



Рисунок 4.4 Головне вікно програми

На рисунку 4.4 наведено скріншот головного вікна програми. Тут відображено вікно де є три поля для вводу вхідних параметрів. Для кращої зрозумілості в кожному рядку також вказані одиниці вимірювання. Поряд є поле для введення значення окремого параметру. Під час зчитування цих параметрів виконується перевірка на їх коректність. Так як кожне значення має свій діапазон можливих і реальних значень.

Параметри, які вводяться в інтерфейс, необхідні для обрахунку сили реактивної тяги. В таблиці 4.1 наведено пояснення потрібних параметрів для обрахунку та їх можливі значення.

Таблиця 4.1 Перелік параметрів

Назва параметру	Умове позначення	Діапазон значень	Одиниця вимірювання
Число сопів	n	10-100	Одиниця
Діаметр поперечного перетину сопла на виході газу	d	0,001 - 0,004	Метр
Тиск у камері	P_1	1-10	Бар

Після введення результатів приклад зображено на рисунку 4.5

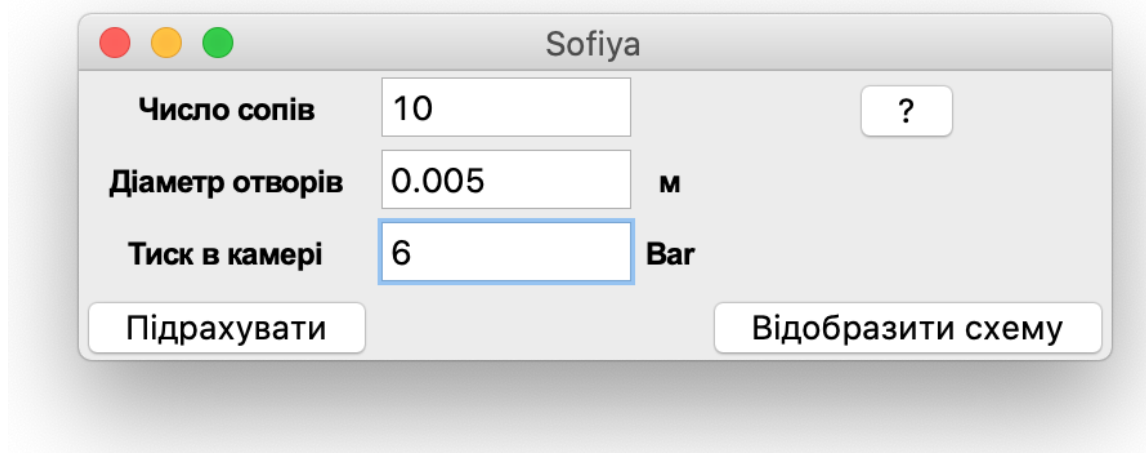


Рисунок 4.5 Вигляд віконного інтерфейсу при введенні параметрів

Також в програмі реалізовано перевірку значень на їх коректність.

Це виконано за допомогою блоків коду `try... except ...`, де відбувається перевірка значень на їх коректність, а саме чи введене значення є числом. Це має наступний алгоритм дій. Спочатку в блоці `try` пробується отримати значення `int` від введеного числа. При виникненні помилки в цій строці коду, ми переходимо до блоку `except` де відбувається оголошення вікна помилки. Створюється елемент класу `Window()` і оголошується атрибут `title` присвоюючи значення `'Error'`. Наступний крок це відображення тексту помилки у вікні. Вказується що задане значення не є числом і виводимо, що саме було введене. Приклад перевірки значень числа сопел, діаметру отворів, та тиску в камері зображено на рисунку 4.6

Наступний етап перевірки значень чи вони знаходяться у заданих межах. Тут також використано блок перевірки `try... except...`. В першій частині `try` я використовую умову `assert`. Це простий логічний вираз, який перевіряє, чи умова повертає істину, тобто перевіряє чи значення в заданих межах. Якщо так, то нічого не відбувається. Якщо ні, сценарій викликає помилку `AssertionError` з додатковим повідомленням і тоді переходить в блок `except`. Де відбувається ініціалізація вікна помилки, з заголовком `'Error'`. Та у вікна передаються аргумент `label` в якому знаходиться повідомлення помилки, наприклад, Діаметр отворів `{d}` не лежить в проміжку `[0.001 ... 0.004]`. Лістинг програмного коду на рисунку 4.7.

```

try:
    n = int(txt_n.get())
except:
    window = Tk()
    window.title("Error")
    lbl_res = Label(window, text=f"Число сопел не ціле або не є числом, ви ввели {txt_n.get()}", font=("Arial Bold", 16))
    lbl_res.grid(column=0, row=0)
    return

try:
    d = float(txt_d.get())
except:
    window = Tk()
    window.title("Error")
    lbl_res = Label(window, text=f"Діаметр отворів не є числом, ви ввели {txt_d.get()}", font=("Arial Bold", 16))
    lbl_res.grid(column=0, row=0)
    return

try:
    p = int(txt_p.get())
except:
    window = Tk()
    window.title("Error")
    lbl_res = Label(window, text=f"Тиск в камері не ціле або не є числом, ви ввели {txt_p.get()}",
                    font=("Arial Bold", 16))
    lbl_res.grid(column=0, row=0)
    return

```

Рисунок 4.6 Лістинг коду перевірки числових значень

Тобто якщо під час введення не правильного значення в поле параметрів користувача буде проінформовано про це текстом внизу, як це зображено на рисунку 4.8.

Після виправлення значень за потреби і якщо вони проходять перевірку далі натискається кнопка підрахувати. Під час нажаття цієї кнопки, викликається функція обрахунку значень (рис 4.9). Спочатку відбувається ініціалізація вікна з результатами з заголовком Sofiya. У самому вікні додається заголовок «Результати» і відбувається промалювання цих елементів. Наступний крок це обрахунок значення аеродинамічної піднімальної сили. Згідно формули нам потрібно взяти значення G_a помножити його на кількість сопел та діаметр отворів поділених на 0.003 взятих у квадрат. Після обрахунку цього показника наступний це оголошення змінної тиску газу P_1 та ρ – щільності повітря та густину газу на вході у отвір ρ_1 . Також ініціалізується значення P_2 , ρ_2 – швидкість, тиск та густина газу на виході з отвору сопів генератора тяги (Додаток Д).

```

try:
    assert n >= 10 and n <= 100
except:
    window = Tk()
    window.title("Error")
    lbl_res = Label(window, text=f"Число сопів {n} не лежить в проміжку [10 ... 100]", font=("Arial Bold", 16))
    lbl_res.grid(column=0, row=0)
    return

try:
    assert d >= 0.001 and d <= 0.004
except:
    window = Tk()
    window.title("Error")
    lbl_res = Label(window, text=f"Діаметр отворів {d} не лежить в проміжку [0.001 ... 0.004]", font=("Arial Bold", 16))
    lbl_res.grid(column=0, row=0)
    return

try:
    assert p >= 2 and p <= 8
except:
    window = Tk()
    window.title("Error")
    lbl_res = Label(window, text=f"Тиск в камері {p} не лежить в проміжку [2 ... 8]", font=("Arial Bold", 16))
    lbl_res.grid(column=0, row=0)
    return

```

Рисунок 4.7 Лістинг програмного коду перевірки значень у заданих межах

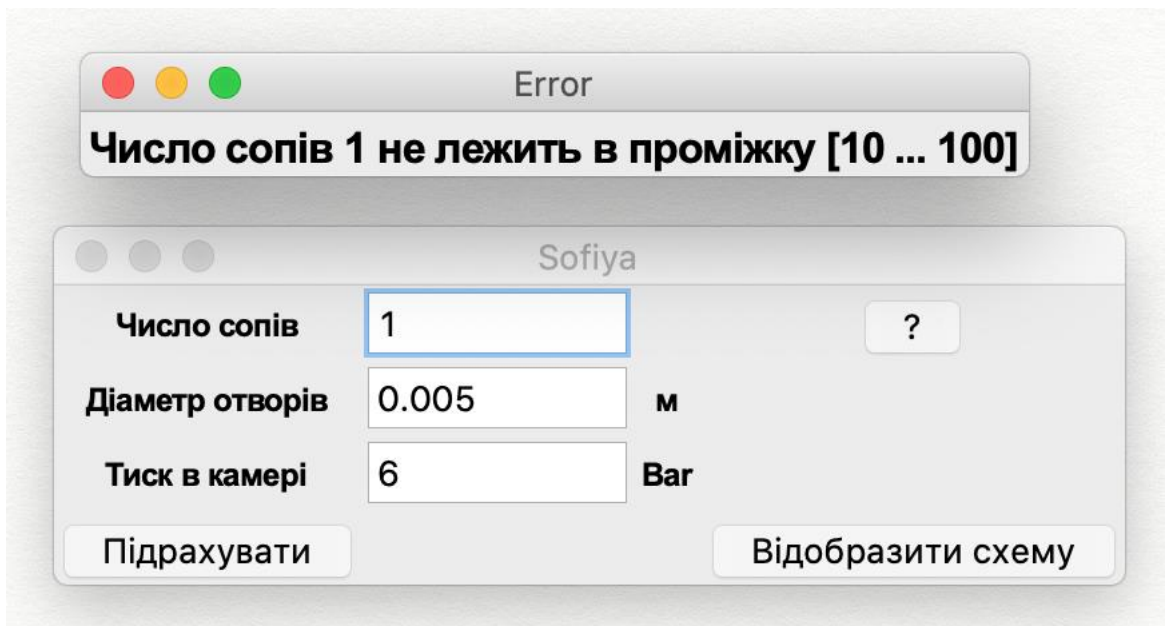


Рисунок 4.8 Головне вікно програми з відображенням помилки

Наступний крок це обчислення швидкості u_2 газу на виході із сопла генератора тяги. Для цієї калькуляції використовуються змінні, які були визначенні та обраховані вище. Обчислюється критична швидкість газу з урахуванням тиску на вході сопел $u_{кр}$. В обрахунку використовуються змінні, які оголошені вище.

Також обраховую значення площі поперечного перетину сопла F_2 .

```

window = Tk()
window.title("Sofiya")
lbl_res = Label(window, text=f"Результати", font=("Arial Bold", 16))
lbl_res.grid(column=0, row=0)

g = Ga[p]*n*((d/0.003)**2)

P1 = np.array(list(range(2,8)))
ro = 1.29
ro1 = np.array([round(x*ro, 2) for x in P1])
P2 = 1
ro2 = 1.29
k = 1.4

u2 = np.sqrt(
    ((2*k / (k-1)) * (P1 / ro1)) *
    (1 - ((P2/P1) * (ro1/ro2)))
)[p]

ukr = np.sqrt((P1/ro1)*(2*k/(k+1)))[p]
F2 = (np.pi*(d**2))/4

```

Рисунок 4.9 Реалізація алгоритму обрахунку програми

Після виконання обрахунку на вікні з'являються результати виконання алгоритму (рис. 4.10).

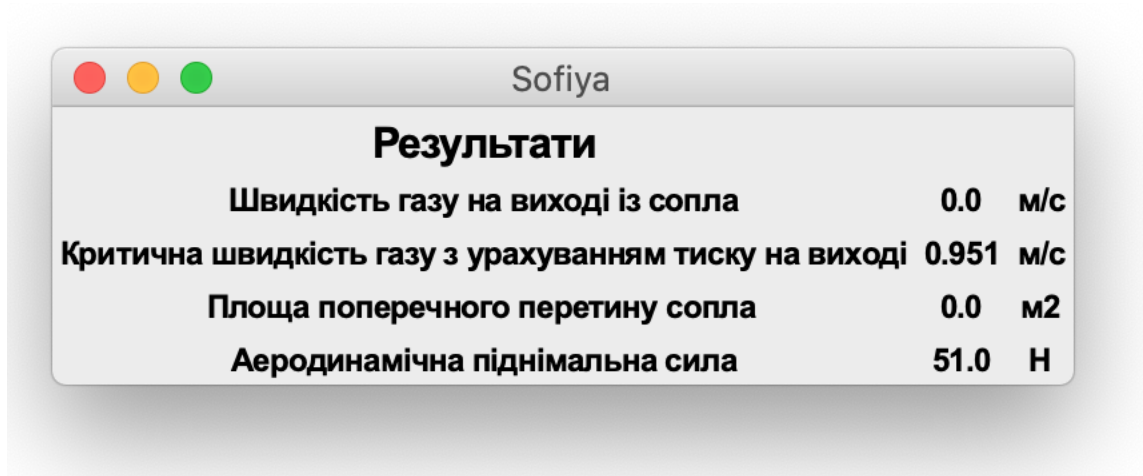


Рисунок 4.10 Вивід результатів до форм

Вивід результатів до вікна реалізовано наступним чином у вікно оголошене раніше у блоці обрахунку результатів, передається потрібні атрибути результатів (рис 4.11). На першому місці у нас Label, тобто текст з визначенням яку метрику виводимо у вікно результатів. Наприклад, «Швидкість газу на виході із сопла». За допомогою методу grid() визначається позиція тексту, який виводиться. Перший результат має позицію row =1 а наступні в інкрементуючому порядку +1. Всі назви результатів знаходяться в columns = 0. А самі значення результату - columns = 1. Це зроблено для того, щоб не було зміщення і насування один чи інших значень, тобто це розмітка вікна і присвоєння кожному аргументу конкретне місце його розташування.

Також в програмі є додаткова функція, це перегляд схеми. Це відбувається при нажаті кнопки «Відобразити схему». Після нажаття кнопки спливає вікно з схемою.

Це реалізовано окремою функцією def show_schema(), яка не приймає ніяких аргументів, і на виході буде окреме вікно (рис. 4.12).

У функції спочатку виконано створення вікна з класу Toplevel() та надається заголовок вікна «Schema». Наступним кроком підвантажується фотографія схеми в змінну image2. Передається цю змінну в клас Label атрибутом image та за допомогою методу pack() задається, що розмір вікна має бути такий же як і розмір картинки. Для того щоб вікно відобразилось у нашому інтерфейсі використано функцію mainloop().

```

lbl_res = Label(window, text=f"Швидкість газу на виході із сопла", font=("Arial Bold", 12))
lbl_res.grid(column=0, row=1)
lbl_res = Label(window, text=f"{round(u2,3)}", font=("Arial Bold", 12))
lbl_res.grid(column=1, row=1)

lbl_res.grid(column=2, row=1)

lbl_res = Label(window, text=f"Критична швидкість газу з урахуванням тиску на виході", font=("Arial Bold", 12))
lbl_res.grid(column=0, row=2)
lbl_res = Label(window, text=f"{round(ukr,3)}", font=("Arial Bold", 12))
lbl_res.grid(column=1, row=2)
lbl_res = Label(window, text=f"м/с", font=("Arial Bold", 12))
lbl_res.grid(column=2, row=2)

lbl_res = Label(window, text=f"Площа поперечного перетину сопла", font=("Arial Bold", 12))
lbl_res.grid(column=0, row=3)
lbl_res = Label(window, text=f"{round(F2,3)}", font=("Arial Bold", 12))
lbl_res.grid(column=1, row=3)
lbl_res = Label(window, text=f"м2", font=("Arial Bold", 12))
lbl_res.grid(column=2, row=3)

lbl_res = Label(window, text=f"Аеродинамічна піднімальна сила", font=("Arial Bold", 12))
lbl_res.grid(column=0, row=4)
lbl_res = Label(window, text=f"{round(g,3)}", font=("Arial Bold", 12))
lbl_res.grid(column=1, row=4)
lbl_res = Label(window, text=f"Н", font=("Arial Bold", 12))
lbl_res.grid(column=2, row=4)

window.mainloop()

```

Рисунок 4.11 Лістинг коду виводу результатів

Реалізація цього процесу відбувається через нажаття кнопки та виклик функції `def show_schema()`. Після цього на екрані з'явиться нове вікно з відображенням схеми (рис. 4.13).

```

def show_schema():
    win = Toplevel()
    win.title('Schema')
    image2 = PhotoImage(file="shema.png")
    image_label = Label(win, image=image2)
    image_label.pack()
    win.mainloop()

```

Рисунок 4.12 Лістинг коду відображення схеми

Також додатковою функцією є інформаційне вікно (Додаток Г). На цьому вікні знаходиться додаткова інформація про програму, дається визначення її та її застосування. Також наведено формули за якими проводяться розрахунки.

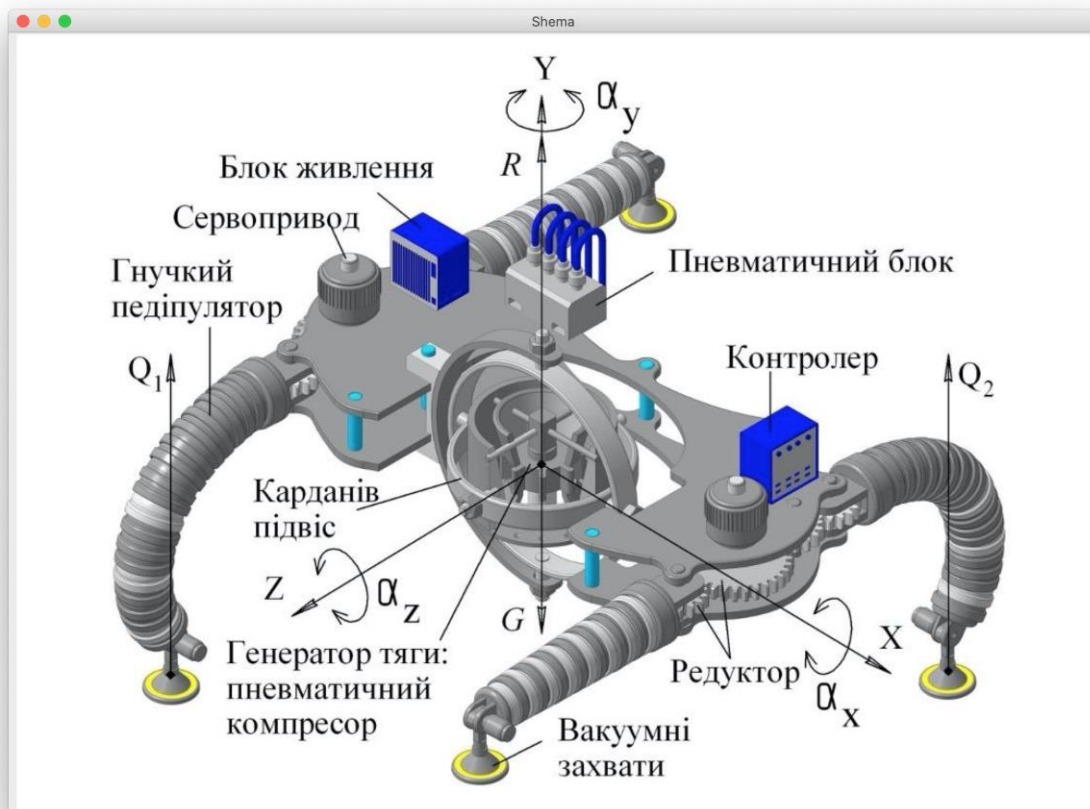


Рисунок 4.13 Вікно відображення схеми

Це реалізовано за допомогою функції `def show_question()` (рис 4.14). Перший крок це ініціалізація об'єкту вікна класу `Toplevel()`. Клас `Toplevel` використовується, для того щоб відображувати зображення у вікні. Наступне, надається заголовок вікна «Question» для визначеного вище об'єкту. Створюється об'єкт картинки і завантажується інформаційне табло. Далі виконується метод `pack()` для того щоб вікно і зображення мало однаковий розмір. Викликається функцію `mainloop()`, яка відображує вікно на екрані.

```
def show_question():
    win = Toplevel()
    win.title('Question')
    image2 = PhotoImage(file="question.png")
    image_label = Label(win, image=image2)
    image_label.pack()
    win.mainloop()
```

Рисунок 4.14 Лістинг функції інформаційного вікна

Висновок до розділу

У даному розділі було основні компоненти модуля. В якості технологічних інструментів було обрано програмне середовище PyCharm для написання програмного забезпечення. Також було проаналізовано декілька варіантів мов програмування для заданої задачі, та в результаті в якості мови програмування було обрано Python.

Також було продемонстровано графічний інтерфейс програмного забезпечення. Додаток має декілька функцій, основна з яких це автоматизація розрахунку параметрів генератора реактивної тяги для мобільного робота та вивід результатів. Задля зручності користування було розроблено дві додаткові функції. Перше виконує відображення схеми робота в окремому вікні. Друга функція це методичка з наведенням основних формул та методів розрахунків. Задля коректної роботи програмного забезпечення було реалізовано перевірку значень. Перевірка відбувається в два етапи. Перший етап це перевірка чи введені значення є числами, якщо якийсь з значень не є числовим користувачу виводиться інформація про помилки з вказанням у якому значенні не коректно введене число. Другий етап контролю, це перевірка чи задані числа попадають в діапазон значень. При некоректному введенні також буде проінформований користувач додатковим вікном з вказанням на помилку.

5 РОЗРОБКА СТАРТАП ПРОЕКТУ

5.1 Опис ідеї проекту

Мобільна робототехніка – це галузь промисловості, орієнтована на рішення, яка швидко розвивається в теперішній час, об'єднуючи інженерні науки та інформаційні технології з такими дисциплінами, як когнітивні науки, штучний інтелект та багато інших. Саме ця міждисциплінарна взаємодія дозволила опанувати складність, властиву мобільним роботів. Мобільні роботи здатні самостійно пересуватися і виконувати певні дії. По суті, крім своєї мобільності, вони здатні функціонувати автономно, не вимагаючи втручання людини. Існує загальна відмінність між напівавтономними та повністю автономними пристроями, заснованими на джерелі живлення робота; зовнішній джерело живлення, наприклад зарядна станція, обмежує автономність.

Робототехніка в цілому і мобільна робототехніка зокрема активно продовжують свою еволюцію протягом наступних років. Когнітивна архітектура, штучний інтелект, мовленнєва комунікація та емоційна взаємодія людини та робота будуть все більше включатися в роботів, які розроблені для багатьох застосувань, таких як військова оборона та безпека, спостереження, небезпечна робота та переміщення в небезпечних місцях, освоєння космосу. Також багато економічних змін зробили революцію у світі автомобільного сектора, логістики та розподілу, дослідження океану та домашнього господарства. Мобільна робототехніка буде застосовуватися з більшим і більшим впливом на харчову промисловість, переробку харчових продуктів, а також додатки для вибору та розміщення, а також роботи в мережі та спільної роботи. Технологічні напрямки продовжать свій розвиток.

Технологічні інновації, такі як розмовні навички, дрони доставки, автономні автомобілі без водія та розумні фабрики, на яких працюють роботизовані співробітники, вже мають глибокий вплив на те, як функціонують галузі. Очікується широке впровадження передових мобільних технологій та нових платформ і систем.

Очікується, що мобільна робототехніка буде стимулювати ринок протягом наступних років, і що платформи з відкритим кодом разом із зниженням цін на датчики, як очікується, підвищать попит на вітчизняні мобільні роботи, такі як пилососи та газонокосарки.

Хоча сфера мобільної робототехніки в даний час знаходиться на відносно ранній стадії розвитку, прототипи і навіть деякі серійні продукти починають зустрічатися в широкому діапазоні секторів. Мобільна робототехніка також знайшла свій шлях у повсякденному побутовому застосуванні з винаходом мобільних пилососів, які здатні функціонувати майже повністю автономно. Інновації в області штучного інтелекту та їх застосування мають значно підвищити актуальність і використання незалежних мобільних роботів у майбутньому.

Особливу увагу займають мобільні роботи довільної орієнтації. Тому що в них дуже великий спектр застосувань. Це спричинено їхньою автономністю і можливістю автономно добиратись довільно орієнтовані поверхні в технологічному просторі. Це можуть бути місця з екстремальними умовами, в яких людині ніяк не можна дістатись і безпечно пересуватись, при одночасному подоланні гравітаційного навантаження. В таблиці 5.1 представлено основну ідею проекту.

Таблиця 5.1. Опис ідеї стартап-проекту

Зміст ідеї	Напрямки застосування	Вигоди для користувача
Новий спосіб противази гравітаційної сили на мобільного робота	Використання кваліфікованими інженерами при побудові мобільних роботів	Мають змогу робити обрахунки в зручному інтерфейсі за допомогою комп'ютера

Тепер я проаналізувала економічно-технічні переваги запропонованого рішення зі вже існуючими. В якості аналогів-конкурентів обрано системи Boston Dynamics та Robotics (таблиця 5.2).

Таблиця 5.2 Визначення сильних, слабких та нейтральних характеристик ідеї

проекту

№	Технікоеконімічні характеристики ідеї	Продукція конкурентів			W (слабка сторона)	N (нейтральна сторона)	S (сильна сторона)
		Мій проєкт	Robotics	Boston Dynamics			
1	Сучасність графічного інтерфейсу	+	+	+		+	
2	Легкість у користуванні	+	-	+			Простота в використанні інтуїтивно зрозумілий інтерфейс
3	Швидкість роботи	+	+	+			Обрахунки проводяться дуже швидко
4	Можливість перегляду схеми	+	-	+		+	Є можливість користувачу завантажувати схему
5	Попередження про помилку	+	-	-			Користувачу виводиться інформація про некоректні значення

Дана таблиця приводить сильні, нейтральні та слабкі сторони та властивостей проекту та визначає його конкурентну спроможність. Підбивши підсумки даної інформації можна зробити висновок що даний стартап проєкт має прерогативи в порівнянні з аналогами.

5.2 Технологічний аудит ідеї проекту

Зробимо аудит технологій з допомогою яких можна реалізувати концепцію проекту (таблиця 5.3).

Таблиця 5.3 Технології здійснення ідеї проекту

№	Ідея проекту	Технології її реалізації	Наявність технологій	Доступність технологій
1	Розробка програмного модуля для розрахунків параметрів модуля генератора піднімальної аеродинамічної сили	Використання мови програмування Python	Наявна технологія. Open Source	Вільна
		Використання інструмента Windows Forms	Наявна. Має велику кількість готових програмних рішень	Вільна
		Використання мови програмування C#	Наявна. Має велике ком'юніті	Вільна
Обрана технологія реалізації проекту: Python				

Переглянувши можливі варіанти реалізації було обрано мову програмування Python. Мова програмування C# та Windows Forms не підходить для даного проекту, так як Windows Forms має обмеженість у напрямку кросплатформеності. А так як для проекту мультиплатформеність буде великим плюсом. А Python дає можливість писати програмне забезпечення, яке можна використовувати на різних платформах.

5.3 Аналіз ринкових можливостей запуску стартап-проекту

Проведемо аналіз ринкових можливостей та загроз які можуть виникнути під час ринкового впровадження (таблиця 5.4).

Таблиця 5.4. Попередня характеристика потенційного ринку стартап проекту

№	Показники стану ринку	Характеристика
1	Кількість головних учасників, од	4
2	Загальний обсяг реалізації, грн./ум.од	5600 в рік
3	Динаміка ринку	Стрімко зростає
4	Наявність обмежень	Немає
5	Специфічні вимоги	Немає
6	Середня рентабельності в галузі або по ринку, %	100%

Спираючись на даний аналіз можна зробити висновок, що дана ідея проекту є актуальною для ринку і перспективною.

Зазначимо потенційних клієнтів даного стартап проекту (табл. 5.5.)

Таблиця 5.5. Характеристика потенційних клієнтів стартап проекту

№	Потреба, що формує ринок	Цільова аудиторія(цільові сегменти ринку)	Відмінності у поведінці різних потенційних цільових груп клієнтів	Вимоги споживачів до товару
1	Наявність програмного модуля	Цільовою аудиторією даного	Обидві групи є однаково	Основним вимога є

для розрахунків параметрів модуля генератора піднімальної аеродинамічної сили	проекту є інженери та студенти, які бажають автоматизувати процес обрахунку та швидко отримати результат	зацікавлені у використанні даного програмного забезпечення	вміння користуватись комп'ютером та знання робототехніки
---	--	--	--

Проаналізувавши потенційних клієнтів даної ідеї проекту, можна зробити висновок що є однозначно зацікавлені персони, які будуть користуватись цією системою. Це є Інженери та студенти, які навчаються на спеціальностях пов'язаних з робототехнікою.

Так як будь-який проект може мати і свої ринкові загрози у випадку його реалізації. Тому проведемо аналіз цих загроз (табл. 5.6).

Таблиця 5.6 Фактори загроз

№	Фактор	Зміст загрози	Можлива реакція компанії
1	Уповільнення роботи програмного забезпечення	Якщо програмний модуль не буде навантажений одночасно великою кількістю вхідних даних, то він працюватиме безвідмовно. Проте при великому навантаженні можливі затримки в розрахунках.	Розробка каналу підтримки і моніторингу навантаження та розробка паралельних потоків обробки інформації
2	Оновлення платформи на якій проводяться розрахунки	Так як зараз активно розробляються нові платформи на яких працюють комп'ютери, можливі їх нововведення, які	Робота над покращенням роботи модуля, згідно нових вимог операційних систем

		конфліктують з програмним забезпеченням.	
--	--	--	--

Пропри можливі загрози при входженні товару на ринок, існують нові точки росту, які розглянемо в таблиці нижче (табл. 5.7).

Таблиця 5.7 Фактори можливостей

№	Фактор	Зміст можливостей	Можлива реакція компанії
1	Автоматизація калькуляцій параметрів модуля	Під час використання даного програмного забезпечення, скорочується час проведення обрахунків і при цьому не втрачається точність	Зростання точності обрахунків і зменшення негативного впливу людського фактору
2	Можливість перегляду схеми	Даний модуль надає можливість перегляду схеми	Модуль дає можливість тримати необхідні дані під рукою

Розглянувши фактори загроз та можливостей, можемо розглядати конкурентів на ринку, тому тепер розглянемо ступеневий аналіз конкуренції на ринку (таблиця 5.8). Та проводиться аналіз конкуренцію в галузі за Портером (таблиця 5.9).

Таблиця 5.8 Ступеневий аналіз конкуренції на ринку

№	Особливості конкурентного середовища	Прояв характеристики	Вплив на діяльність підприємства

1	Тип конкуренції	Олігополія	Потрібно впроваджувати нові можливості, щоб тримати конкурентоспроможність продукту
2	За галузевою ознакою	Внутрішньо-галузева	Потрібно моніторити тенденції розвитку галузі робототехніки, щоб завжди відповідати вимогам ринку
3	За рівнем конкурентної боротьби	Національна	Не велика кількість конкурентів
4	Конкуренція за видами товарів	Кожнокуренція між схожими видами товарів	Внесення додаткової функціональності, яка відмінна від конкурентів
5	За характером конкурентних переваг	Відношення ціна-якості	Продаж модуля за адекватною ціною при наданому функціоналу
6	За інтенсивністю	Марочна	В даному продукті будуть характерні ознаки, які відрізняються від аналогів конкурентів

Таблиця 5.9 Аналіз конкуренції в галузі за М. Портером

Складові	Прямі конкуренти в галузі	Потенційні конкуренти	Постачальники	Клієнти	Товаро замітники
----------	---------------------------	-----------------------	---------------	---------	------------------

	Robotics, Boston Dynamics	Інші дистриб'ютори	Немає	Інженери і студенти	Відсутні
Висновки	Необхідно розробити функціонал, який не буде мати аналогів в конкурентів а також зробити зручний і інтуїтивно зрозумілий інтерфейс	Існує можливість виникнення нових конкурентів, так як даний ринок відносно новий і швидко розвивається.	Немає	Побажання кожної групи клієнтів мають бути враховані та реалізовані	Відсутні

Беручи до уваги інформацію зібраній вище, остаточно можна зробити висновок що конкуренція для даного проекту існує. Проте запропонований проект має значні переваги над конкурентами. І тому якщо працювати над задоволенням потреб користувача, даний проект має можливість підвищити свої продажі. Наведемо таблицю в якій описано і обґрунтовано фактори конкурентоспроможності (табл. 5.10).

Таблиця 5.10 Обґрунтування факторів конкурентоспроможності

№	Фактор конкурентоспроможності	Обґрунтування
1	Автоматизація процесу обрахунку параметрів	За допомогою автоматизації зменшується час обрахунку потрібних параметрів

2	Можливість перегляду схеми	На відмінну від конкурентів програмне забезпечення надає можливість перегляду схеми
---	----------------------------	---

Далі проведемо порівняльний аналіз сильних і слабких сторін нашої системи (табл. 5.11).

Таблиця 5.11 Порівняльний аналіз сильних та слабких сторін системи

№	Фактор конкурентоспроможності	Бали 1-20	Рейтинг товарів-конкурентів у порівнянні з новою системою							
			-3	-2	-1	0	1	2	3	
1	Автоматизація процесу обрахунку параметрів	13			+					
2	Можливість перегляду схеми	15	+							

Проведемо SWOT аналіз нашого проекту. Згідно методології ми визначимо Strong (сильні) сторони проекту, Weak (слабкі) сторони, нові Opportunities (можливості) та Troubles (загрози) (табл. 5.12).

Таблиця 5.12. SWOT-аналіз стартап-проекту

<p>Сильні сторони (S)</p> <ul style="list-style-type: none"> – автоматизація процесу обрахунку параметрів; – зручний інтерфейс; 	<p>Слабкі сторони (W)</p> <ul style="list-style-type: none"> – вартість розробки; – вартість підтримки і удосконалення проекту.
---	---

– можливість перегляду схеми.	
<p>Можливості (О)</p> <ul style="list-style-type: none"> – збагачення функціоналу новими функціями; – удосконалення роботи програмного забезпечення. 	<p>Загрози (Т)</p> <ul style="list-style-type: none"> – потреба у фінансуванні; – поява нових конкурентів.

Після проведення SWOT-аналізу базуючись на отриманій інформації, робимо висновок що потрібно підкріплювати сильні сторони враховуючи ринкові можливості. Далі наведемо знайдені альтернативні можливості, які дадуть змогу вивести проект на ринок за оптимальний час реалізації(табл. 5.13).

Таблиця 5.13 Альтернативи ринкового впровадження стартап-проекту

№	Альтернатива (орієнтовний комплекс заходів) ринкової поведінки	Ймовірність отримання ресурсів	Терміни реалізації
1	Інтернет реклама	Середня	1-2 місяці
2	Реалізація тріал підписки на продукт	Низька	2 тижні
3	Презентація продукту на спеціалізованих конференціях	Висока	1 місяць

В результаті проведеного аналізу, можна зробити висновок що найоптимальніший варіант впровадження це виступи на спеціалізованих конференціях. Тому що імовірність отримання ресурсу і терміни реалізації найоптимальніші.

5.4 Розроблення ринкової стратегії проекту

Перший етап розроблення ринкової стратегії проекту це обрати цільових і потенційних клієнтів проекту. Було проведено аналіз і визначено таких (табл. 5.14)

Таблиця 5.14 Вибір цільових груп потенційних споживачів

№	Опис профілю цільової групи потенційних клієнтів	Готовність споживачів сприйняти продукт	Орієнтовний попит в межах цільової групи (сегменту)	Інтенсивність конкуренції в сегменті	Простота входу у сегмент
1	Професія: інженери; Напрямок роботи: робототехніка; Заробіток: від 10 000 грн; Інші демографічні характеристики: не важливі	Визначається фінансуванням інженера на його роботі.	1 ліцензія	Середня	Висока

2	Професія: студент; Напрямок навчання: робототехніка; Заробіток: від 1500 грн; Інші демографічні характеристики: не важливі	Даний продукт будуть використовувати для оптимізації процесу власного навчання	1 студенська ліцензія	Середня	Висока
---	--	---	--------------------------	---------	--------

Обрані цільові групи: це інженери, які працюють в сфері роботехніки; студенти, які навчаються на роботехнічних спеціальностях.

Наступним кроком буде вибір стратегія масового маркетингу (таблиця 5.15).

Таблиця 5.15 Визначення базової стратегії розвитку

Обрана альтернатива розвитку проекту	Стратегія охоплення ринку	Ключові конкурентоспроможні позиції відповідно до обраної альтернативи	Базова стратегія розвитку
Розширення функціоналу програмного забезпечення, якого немає у конкурентів	Таргетована реклама на інтернет ресурсах, побудова реферальної програми	Зменшення можливості заміни продукту; лояльність клієнтів; впізнаваність бренду;	Стратегія диференційова ної маркетингово ї політики

Наступним кроком визначимо свою стратегії конкурентної поведінки (табл. 5.16).

Таблиця 5.16 Визначення базової стратегії конкурентної поведінки

Чи є проект «першопрохідцем» на ринку	Чи буде компанія шукати нових споживачів, або забирати існуючих у конкурентів?	Чи буде компанія копіювати основні характеристики товару конкурента, які?	Стратегія конкурентної поведінки
Ні, так вже розроблено аналоги-конкуренти	Мета компанії це нарощення клієнтської бази різними методами, це і заманювання нових клієнтів, а також перерманювання клієнтів конкурентів	В компанії є суміжні можливості, проте даний проект має більш розширений функціонал	Стратегія заняття конкурентної ніші

Наступний етап заключається у визначенні стратегії позиціонування (табл. 5.17)

Таблиця 5.17 Визначення стратегії позиціонування

№	Вимоги до товару цільової аудиторії	Базова стратегія розвитку	Ключові конкурентоспроможні позиції власного стартаппроекту	Вибір асоціацій, які мають сформувати комплексну позицію власного проекту

1	Точність обчислень	Стратегія диференціації	Висока точність розрахунків	Надійність, швидкість
2	Широкий функціонал	Стратегія диференціації	Додаткові функції, відображення схеми	Зручність, актуальність
3	Зручний інтерфейс	Стратегія диференціації	Налаштування інтерфейсу, щоб він був інтуїтивно зрозумілий навіть не досвіченим користувачам	Клієнто-орієнтованість

У результаті я обрала для даного проекту для базової стратегії розвитку - стратегію диференціації, а в якості стратегії конкурентної поведінки – стратегію зайняття конкурентної ніші.

5.5 Розроблення маркетингової програми стартап-проекту

Визначимо ключові переваги нашого товару для клієнтів (табл. 5.18)

Таблиця 5.18 Визначення ключових переваг концепції потенційного товару

№	Потреба	Вигода, яку пропонує товар	Ключові переваги перед конкурентами (існуючі або такі, що потрібно створити)

1	Автоматичні розрахунки параметрів генератора аеродинамічної піднімальної сили	Запропонований товар пропонує високу точність та швидкодію обрахунків	Товари-аналоги мають меншу швидкодію та точність
2	Можливість перегляду схеми	Це надає користувачу тримати потрібну інформацію під рукою	Конкуренти не надають такої можливості

Наведемо опис 3-ьох рівнів товару (табл. 5.19).

Таблиця 5.19. Опис трьох рівнів моделі товару

Рівні товару	Сутність та складові		
1. Товар за задумом	Автоматичні розрахунки параметрів генератора аеродинамічної піднімальної сили		
2. Товар у реальному виконанні	Властивості/характеристики	М/Нм	Вр/Тх/Тл/Е/Ор
	Зручність та простота	М	Е
	Забезпечення швидкодії та точності	М	Тл
	Вартість	М	Вр
	Якість: відповідна нормам програмного забезпечення		

	Пакування: немає
	Марка: Sofiya
3. Товар із підкріпленням	До продажу: Програмне забезпечення для забезпечення автоматичних обрахунків параметрів генератора аеродинамічної піднімальної сили
	Після продажу: користувацька підтримка та покращення і вдосконалення продукту
За рахунок чого потенційний товар буде захищено від копіювання: авторським правом	

Визначимо порядок цін для даного товару (табл. 5. 20)

Таблиця 5.20 Визначення меж встановлення ціни

Рівень цін на товари-замінники	Рівень цін на товари-аналоги	Рівень доходів цільової групи споживачів	Верхня та нижня межі встановлення ціни на товар/послугу
Немає інформації	приблизно 15 тис. грн.	Від 15 тисяч грн.	5-10 тисч грн.

Далі розглядається систему збуту та реалізації товару (табл. 5.21).

Таблиця 5.21 Формування системи збуту

Специфіка закупівельної поведінки цільових клієнтів	Функції збуту, які має виконувати постачальник товару	Глибина каналу збуту	Оптимальна система збуту

Клієнту для отримання продукту, потрібно завантажити додаток, і там здійснити покупку ліцензії	Продаж ліцензії електронним шляхом	Нульовий	Звичайна (традиційна)
--	------------------------------------	----------	-----------------------

Завершальним етапом є затвердження концепції маркетингових комунікацій (табл. 5.22)

Таблиця 5.22 Концепція маркетингових комунікацій

№	Специфіка поведінки цільових клієнтів	Канали комунікацій, якими користуються цільові клієнти	Ключові позиції, обрані для позиціонування	Завдання рекламного повідомлення	Концепція рекламного звернення
1	Отримання додатку і його функціональності	Електронна пошта/ телефон	Надійність та унікальність	Донести до клієнта весь функціонал, привілеї використання додатку	Оригінальна та творча

2	Технічна/клієнтська підтримка додатку		Клієнто-орієнтованість	Донести до клієнта, що ми підтримаємо і завжди підемо на зустріч	
---	---------------------------------------	--	------------------------	--	--

В результаті даної розробки стартап-проекту було створено ринкову програму, що включає в себе визначення ключових переваг визначення меж встановлення ціни, опис трьохрівневої моделі товару, концепції потенційного товару, формування системи збуту та концепцію маркетингових комунікацій

Висновок до розділу

У п'ятому розділі було описано ідея стартап проекту, та проведено технологічний аудит ідеї. Визначено що роботи довільної орієнтації в теперішній час популярний і перспективний напрямок. Це обумовлено новизною даного напрямку та стрімким розвитком, так як робототехніка дуже затребувана на ланий момент.

На основі аналізу визначено, що наявні конкуренти на ринку не пропонують повного спектру функцій, які розроблено у даній роботі. А саме, дл зручності користування було реалізовано додаткові інформаційні вікна, такі як відображення схеми та відображення методики обрахунків. Також у програмного забезпеченні реалізована перевірка значень, що запобігає неправильним результатам. Проведено дослідження можливості запуску даного продукту на ринок та дослідження існуючої конкуренції. Зроблено SWOT аналіз стартап проекту, на якому визначені сильні, слабкі сторони, загрози та нові можливості які пропонує продукт. До сильних сторін продукту відносяться автоматизація обрахунків, відображення схеми, та зручний інтерфейс. Слабкі сторони - вартість розробки, підтримки та удосконалення

продукту. Серед можливостей продукту відзначенні такі як покращення продукту новими функціями та покращення роботи програмного забезпечення. Серед загроз визначено потреба у фінансуванні та поява конкурентів. В завершення було продумано маркетингову програму даного продукту.

ВИСНОВОК

В результаті роботи над магістерською дисертацією було розроблено та реалізовано програмне забезпечення модуля розрахунку параметрів крокуючого робота з генератором аеродинамічної піднімальної сили.

На першому етапі даної роботи було проведено ретроспективний аналіз існуючих рішень та видів роботів. Розглянуто основні структурні системи роботів, а саме пересування роботів, навігація, та системи сприйняття та обробки інформації. Визначено що існують різні типи пересування роботів. Перший тип, це стаціонарні роботи, які не мають елементів переміщення. Наступний клас це наземні роботи, в яких є два основні елементи для пересування: колеса і ноги. Також ще існують інші менш популярні види пересування роботів, такі як: гусеничні, гібридні, змієподібні, черв'якові та нанороботи. Система сприйняття роботів реалізована за допомогою різних типів датчиків. Основні з яких це тактильні, датчики крутного моменту та кодери/декодери та інфрачервоні датчики.

На другому етапі був розроблений алгоритм обрахунку параметрів для генератора аеродинамічної піднімальної сили та наведено формули за якими проводяться розрахунки.

Наступний етап – це структурний опис мобільного крокуючого робота. Тут було описано розміщення генератора реактивної тяги. Генератор буде розташований на кардановому підвісі з 3-ьома ступеннями свободи, що дозволить при будь-якій орієнтації робота збігатись лінії дії сили гравітації та реактивної сили, при чому вони завжди будуть протилежно направлено одна відносно одної. Такий підхід дозволить роботу триматись поверхні не залежно від її орієнтації. Також описано механізм руху робота.

На четвертому етапі розроблено програмне забезпечення, яке автоматизує обрахунок параметрів генератора аеродинамічної тяги для мобільного робота. Також додаток має додаткові функції, які полегшують роботу користувачів, такі як перегляд схеми та додаткову інформацію про програму.

Маркетингове дослідження стартап проекту даного товару обґрунтувало потребу даного товару та його актуальність. Визначено що роботи довільної орієнтації на тепершній момент перспективний напрямок, в вже якому існує невелика кількість конкурентів. Також визначено базову стратегію розвитку, яка полягає у розширенні функціоналу програмного забезпечення, якого немає у конкурентів, для побудови впізнаваності бренду обрано таргетована реклама на інтернет ресурсах, побудова реферальної програми. Було розроблено стратегію конкуренції на ринку. Основна мета це нарощення клієнтської бази різними методами, це і заманювання нових клієнтів, а також перерманювання клієнтів конкурентів. В якості ключових переваг розроблюваного товару автоматичні розрахунки параметрів генератора аеродинамічної піднімальної сили та можливість перегляду схеми.

ПЕРЕЛІК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Bajracharya M, Maimone MW, and Helmick D. Autonomy for mars rovers: past, present, and future. *Computer*. 2008. 44–50 с. DOI: 10.1109/МС. 2008.479.
2. Lingshuai M, Yang L, and Haitao G . A new type of small underwater robot for small scale ocean observation. *The 6th Annual IEEE International conference on cyber technology in automation, control and intelligent systems* наук.-техн. конф. (Тайху, Китай, 19–22 липня 2016 р.). Тайхе, 2016. С. 9–10.
3. Khatib O. Ocean one: a robotic avatar for oceanic discovery. *IEEE Robotics & Automation Magazine*. 2016. P. 1–10. DOI: 10.1109/MRA.2016.2613281.
4. Carlos B, Antonio, Alberto A survey on different control techniques for grasping. In: Carbone G (ed.) *Grasping in robotics*, London: Springer, Mechanisms and Machine Science, 2013. 223-246 с.
5. Laney D and Hong D. Three-dimensional kinematic analysis of the actuated spoke wheeled robot. *Proceedings of the IDETC/CIE*, Пенсильванія, США, 10–13 вересня 2006, 1–7 с.
6. Lafaye J, Gouaillier D, and Wieber PB. Linear model predictive control of the locomotion of Pepper, a humanoid robot with omnidirectional wheels. *IEEE-RAS International conference on humanoid robots*, Мадрид, Іспанія, 18–20 Жовтня 2014, . 336–341 с. DOI: 10.1109/HUMA-NOIDS.2014.7041381.
7. Kim H and Kim BK. Online minimum-energy trajectory planning and control on a straight-line path for three-wheeled omnidirectional mobile robots. *IEEE T Ind Electron*, 2014, с 10-14.
8. Poczter SL and Jankovic LM. The google car: driving toward a better future. *Journal of Business Case Studie*, 2014, с 1-5.
9. Xu H, Zhao G, Tan D, et al. Asymmetrical prototype of a five-wheeled robot and maneuver analysis. *Third International Conference*, наук.-техн. конф. (Шанхай, Китай, 10–12 Жовтня 2010). Шанхай, С - 488–498.
10. Estier T, Piguet R, Eichhorn. Shrimp, a rover architecture for long range Martian mission. *Proceedings 6th ESA Workshop on Advanced Space Technologies for*

- Robotics and Automation ASTRA 2000*, наук.-техн. конф. (Нордвейк, Нідерланди, 5–7 грудня 2000). Нордвейк, С – 12-24.
11. Hirose S, Yoneda K, Arai K Design of prismatic quadruped walking vehicle TITAN VI. *Fifth International conference on advanced robotics. 'Robots in Unstructured Environments'*, наук.-техн. конф. (Піза, Італія, 19–22 Червня 1991), Піза, РР. 723–728,
 12. Zeglin GJ. Uniroo: a one legged dynamic hopping robot. *Master's Thesis, Massachusetts Institute of Technology*, 1991.
 13. Chestnutt J, Lau M, Cheung G, Footstep planning for the Honda ASIMO humanoid. *Proceedings of the IEEE international conference on robotics and automation*, 2005, РР. 629–634. DOI: 10.1109/ROBOT.2005.1570188.
 14. Feng S, Xinjilefu X, Atkeson CG, Optimization based controller design and implementation for the Atlas robot in the DARPA Robotics Challenge Finals. *IEEE-RAS 15th International Conference on Humanoid Robots (Humanoids)*, наук.-техн. конф. (Сеул, Корея), Сеул, 3–5 Жовтня 2015, РР. 1028–1035
 15. Long X, Wonsick M, Dimitrov V, Task-oriented planning algorithm for humanoid robots based on a foot repositionable inverse kinematics engine. *IEEE-RAS 16th International Conference on Humanoid Robots (Humanoids)*, наук.-техн. конф. (Канкун, Мексика), Канкун, 15–17 Жовтня 2016, РР. 1114–1120. IEEE. DOI: 10.1109/HUMANOIDS.2016.7803410.
 16. Chestnutt J, Michel P, Kuffner J Locomotion among dynamic obstacles for the Honda ASIMO. *IEEE/RSJ International conference on intelligent robots and systems*, наук.-техн. конф. (Сан Дієго, США) Сан Дієго, 29 Жовтня–2 Листопада 2007, РР. 2572–2573. DOI: 10.1109/IROS.2007.4399431.
 17. Claudio G, Spindler F, and Chaumette F. *Vision-based manipulation with the humanoid robot Romeo. IEEE-RAS 16th International Conference on Humanoid Robots (Humanoids)*, наук.-техн. конф. (Канкун, Мексика), Канкун, 15–17 Листопада 2016, pp. 286–293. DOI: 10.1109/HUMANOIDS.2016.7803290.
 18. Mao X, He H, and Li W. Path finding for a NAO humanoid robot by fusing visual and proximity sensors. *12th World Congress on Intelligent Control and Automation*

- (WCICA), наук.-техн. конф. (Гуйлінь, Китай), Гуйлінь, 12–15 Червня 2016, РР. 2574–2579, DOI: 10.1109/WCICA.2016.7578365.
19. Heaston J, Hong D, Morazzani I, STriDER: self-excited tripedal dynamic experimental robot. *IEEE International Conference on Robotics and Automation*, наук.-техн. конф. (Рим, Італія), Рим, 10–14 Квітня 2007, рр. 2776–2777. DOI: 10.1109/ROBOT.2007.363891.
20. Raibert M, Blankespoor K, Nelson G, et al. Bigdog, the rough-terrain quadruped robot. *Proceedings of the 17th World Congress The International Federation of Automatic Control*, наук.-техн. конф. (Сеул, Корея), Сеул, 6–11 Липень 2008. DOI: 10.3182/20080706-5-KR-1001.01833.
21. Quinlan MJ, Chalup SK, and Middleton RH. Techniques for improving vision and locomotion on the Sony AIBO robot. *Proceedings of the 2003 Australasian conference on robotics and automation*, наук.-техн. конф. (Брисбен, Австралія), Брисбен, 1–3 Грудня 2003.
22. Besari ARA, Zamri R, Prabuwno AS, et al. The study on optimal gait for five-legged robot with reinforcement learning. *Lect Notes Artif Int. Bunysk.* 5928, 2014, С. 1170–1175. DOI: 10.1007/978-3-642-10817-4_114.
23. Barreto JP, Trigo A, Menezes FED-the free body diagram method. Kinematic and dynamic modeling of a six leg robot. *5th International workshop on advanced motion control*, наук.-техн. конф. (Коїмбра, Португалія), Коїмбра, 29 Червня–1 Липня 1998, рр. 423–428. IEEE. DOI: 10.1109/AMC.1998.743574.
24. Bares JR and Wettergreen DS. Dante II: technical description, results, and lessons learned. *Int J Robot Res*, 1999; С. 621–649. DOI: 10.1177/02783649922066475.
25. Schiele A, Romstedt J, Lee C NanoKhod exploration rover - a rugged rover suited for small, low-cost, planetary lander mission. *IEEE Robot Autom Mag*, 2008; С. 96–107. DOI: 10.1109/MRA.2008.917888.
26. Поліщук М.М., Кузнецов Ю.М. Крокуючий мобільний робот: патент № 121432 Україна: МПК В62D57/032.; № а201807976; заявл. 18.07.2018. опубл. 25.05.2020, Бюл. № 2. с. 4.