

НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ УКРАЇНИ
«КИЇВСЬКИЙ ПОЛІТЕХНІЧНИЙ ІНСТИТУТ
імені ІГОРЯ СІКОРСЬКОГО»
НАВЧАЛЬНО-НАУКОВИЙ МЕХАНІКО-МАШИНОБУДІВНИЙ ІНСТИТУТ
КАФЕДРА ПРИКЛАДНОЇ ГІДРОАЕРОМЕХАНІКИ І МЕХАНОТРОНІКИ

«На правах рукопису»
УДК 629.7.03-111

До захисту допущено:

В.о.завідувача кафедри ПГМ
Олег ЛЕВЧЕНКО
“ ” 2024 р.

Магістерська дисертація
на здобуття ступеня магістра

за освітньо-професійною програмою «Автоматизовані та роботизовані механічні системи»

зі спеціальності 131 «Прикладна механіка»

на тему: Модернізація комплексу для запуску дрона

Виконав : студент 2 курсу, групи МА-21мп
(шифр групи)

Трачов Михайло Олексійович _____
(прізвище, ім'я, по батькові) (підпис)

Науковий керівник Коваль Олексій Дмитрович _____
(посада, науковий ступінь, вчене звання, прізвище та ініціали) (підпис)

Консультант _____
(назва розділу) (науковий ступінь, вчене звання, , прізвище, ініціали) (підпис)

Рецензент _____
(посада, науковий ступінь, вчене звання, науковий ступінь, прізвище та ініціали) (підпис)

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

Студент _____
(підпис)

Київ – 2024 рік

«Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»
Навчально-науковий механіко-машинобудівний інститут
Кафедра прикладної гідроаеромеханіки і механотроніки

Рівень вищої освіти – другий (магістерський)

Спеціальність – 131 «Прикладна механіка»

Освітньо-професійна програма «Автоматизовані та роботизовані механічні системи»

ЗАТВЕРДЖУЮ

В.о. завідувача кафедри

Олександр ЛУГОВСЬКИЙ

(підпис)

“ _____ ” _____ 2023 р.

ЗАВДАННЯ
на магістерську дисертацію студенту

(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема дисертації Модернізація комплексу для запуску дрона _____

науковий керівник дисертації _____ ,
(прізвище, ім'я, по батькові, науковий ступінь, вчене звання)

затверджені наказом по університету від «03» листопада 2023 р. №5127-с

2. Термін подання студентом дисертації Коваль Олексій Дмитрович _____

3. Об'єкт дослідження Комплексу для запуску дрона _____

4. Вихідні дані Комплексу для запуску дрона, дрони середньої категорії _____

5. Перелік завдань, які потрібно розробити Аналіз наявних систем, модифікація системи, розробки правил безпечної експлуатації та обслуговування об'єкту, Розробка стартапу _____

6. Орієнтовний перелік графічного (ілюстративного) матеріалу _____

7. Орієнтовний перелік публікацій _____

8. Консультанти розділів дисертації

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	завдання прийняв
Технологія машинобудування	Кореньков В.М., к.т.н., доцент кафедри ТМ		

9. Дата видачі завдання _____

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва етапів виконання дипломного проекту	Термін виконання етапів проекту	Примітка
1	Отримання завдання до дипломного проектування	20.10.2023-23.10.2023	Виконано
2	Розробка проекту	26.10.2023-12.01.2024	Виконано
3	Проходження практики	10.09.2023-26.10.2023	Виконано
4	Робота над проектом та виконання креслень	20.12.2023-13.01.2024	Виконано
5	Оформлення дипломного проекту	20.12.2023-13.01.2024	Виконано
6	Доопрацювання проекту		
7	Захист дипломного проекту		

Є

Студент

_____ (підпис)

Керівник

_____ (підпис)

Михайло ТРАЧОВ

_____ (Власне ім'я, ПРІЗВИЩЕ)

Олексій КОВАЛЬ

_____ (Власне ім'я, ПРІЗВИЩЕ)

Пояснювальна записка до дипломного проєкту

на тему: Модернізація комплексу для запуску дрона

Київ – 2024 року

АНОТАЦІЯ

Стартові установки для безпілотних літальних апаратів (БПЛА) представляють собою важливий аспект їх функціонування та використання. Вони забезпечують оптимальний та безпечний процес запуску, що має ключове значення для ефективного використання БПЛА в різних галузях. Розрізняють декілька типів стартових установок:

Стаціонарні стартові платформи: Використовуються на підготовлених майданчиках для зльоту та посадки. Ці установки забезпечують стабільність та безпеку, ідеально підходять для великих БПЛА та військових операцій.

Мобільні стартові установки: Переносні та можуть бути розгорнуті на різних теренах. Швидко створюють платформу для запуску у віддалених місцях. Це важливо для комерційної та дослідницької доставки місії.

Авіаційні системи запуску: Використовуються для важких та великих БПЛА. Розміщуються на спеціалізованих літаках або кораблях, надаючи можливість для запуску у важкодоступних місцях.

Технології горизонтального старту/посадки: Уникнути потреби в спеціалізованих стартових установках. Дозволяють взлітати та приземлятися на горизонтальних поверхнях.

Значення стартових установок:

Стартові установки ефективність та можливості БПЛА в різних умовах. Їхні технічні характеристики виконують ключову роль у визначенні ефективності та безпеки запуску, що впливає на успішність місії та робить безпілотну більш доступною та ефективною авіацію.

Вплив на безпеку та надійність:

Стабільність та безпеку під час старту є критичними для уникнення аварій та пошкоджень. Правильно підготовлена та функціональна стартова установка забезпечує безпечний старт та надійність апарату.

Роль у плануванні місії:

Стартові установки враховуються при плануванні місії БПЛА, визначаючи стратегії використання апарату, маршрутизацію та ефективність місії залежно від характеристик стартової платформи.

ANNOTATION

Launchers for unmanned aerial vehicles (UAVs) represent an important aspect of their operation and use. They ensure an optimal and safe start-up process, which is key to the effective use of BPLA in various industries. There are several types of starters:

Stationary launch platforms: Used on prepared platforms for take-off and landing. These installations provide stability and security, ideal for large UAVs and military operations.

Mobile launchers: Portable and can be deployed on different terrains. Quickly build a platform to launch in remote locations. This is essential for commercial and research mission delivery.

Aviation launch systems: Used for heavy and large UAVs. Placed on specialized aircraft or ships, providing the opportunity to launch in hard-to-reach places.

Horizontal launch/landing technologies: Avoid the need for specialized launchers. Allow to take off and land on horizontal surfaces.

The value of the starting settings:

Baseline performance and capability of UAV in various conditions. Their technical characteristics provide a key role in determining the efficiency and safety of the launch, which affects the success and makes the unmanned mission more accessible and effective.

Impact on safety and reliability:

Stability and safety during launch are critical to avoid accidents and damage. A properly prepared and functional starting device ensures a safe start and reliability of the device.

Role in mission planning:

Launchers are taken into account when planning a UAV mission, determining strategies for the use of the device, routing and mission efficiency depending on the characteristics of the launch platform.

ЗМІСТ

ВСТУП	9
Основні завдання роботи	10
РОЗДІЛ 1. АНАЛІЗ ІСНУЮЧИХ ВАРІАНТІВ КАТАПУЛЬТ ДЛЯ ЗАПУСКУ БПЛА.	11
1.1. Стартова катапульта для безпілотних літальних апаратів	11
1.1.1. Розробка та тестування пускової установки на основі банджі-корду	11
1.1.2. Катапульта для LSU-02	12
1.1.3. Дизайн пускової планери.....	13
1.1.4. Конструкція пускової установки	14
1.2.1. Пневматична пускова установка LD	21
1.2.2. Спосіб запуску	22
Висновок:.....	25
РОЗДІЛ 2. РОБОТА НАД МОДИФІКАЦІЄЮ ПУСКОВОЇ УСТАНОВКИ ...	26
2.1. Опис предмета дослідження	26
2.2. Принцип роботи пневматичної системи	28
2.3. Розрахунках робочого циклу пневматичної системи	30
2.4. Розроблена методика визначення коефіцієнтів витрати.....	34
Висновок:.....	38
РОЗДІЛ 3. БЕЗПЕЧНА ЕКСПЛУАТАЦІЯ ТА ОБСЛУГОВУВАННЯ ОБ'ЄКТА	39
3.1. Вимоги щодо модифікації (реконструкції та модернізації) обладнання під тиском.....	39
3.2. Вимоги щодо матеріалів та виробів.....	41
3.3. Безпечна експлуатація	41
3.4. Організація технічної служби.....	42
3.5. Усунення несправностей.....	43
Висновок:.....	45
РОЗДІЛ 4. РОЗРОБЛЕННЯ СТАРТАП-ПРОЕКТУ	46
4.1. Описання проекту	46
4.2. Технологічний аудит ідеї проекту	47
4.3. Розрахунок ринку для запуску проекту	48
4.3.1. Аналіз попиту	49
4.3.2. Визначення основних клієнтів	49
4.3.3. Аналіз ринкового середовища	50

4.3.4. Аналіз пропозиції.....	51
4.3.5. Детальний аналіз конкуренції в галузі.....	52
4.3.6. Аналіз конкурентних факторів.....	52
4.3.7. Складання SWOT-аналізу	53
4.3.8. Як найбезпечніше заходити на ринок	53
4.4. Подання на вивчення ринкової стратегії проекту	54
4.4.1. Яку правильно обрати стратегію для входження на ринок Оцінка трьох груп.....	54
4.4.2. Визначення основної стратегії розвитку.	55
4.4.3. Вибір стратегії на основі конкуренції.	55
4.5. Розробка маркетингової програми для стартового проекту	56
4.5.1. Початковий етап	56
4.5.2. Визначення граничної суми	56
4.5.3. Визначення найкращого способу надання послуги	57
4.5.4. Концепція маркетингової комунікації	57
Висновок:.....	58
ВИСНОВОК ЗА РЕЗУЛЬТАТАМИ ПРОВЕДЕНОЇ РОБИТИ.....	59
Список використаних джерел.....	60

		Трачов М.О.			МД.МА8214.01.00.00 ПЗ	Лист
		Коваль О.Д.				
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		8

ВСТУП

Стартові установки для безпілотних літальних апаратів (БПЛА) виконують ключову роль у їхньому ефективному функціонуванні та мають різні типи в залежності від умов та завдань.

Одні з основних переваг стаціонарних установок полягають у їхній надійності та стабільності. Ці платформи розгортаються на спеціально підготовлених майданчиках, що дозволяє запускати апарати в контрольованих умовах. Стаціонарні системи зазвичай використовуються у військових операціях або у великих літальних апаратах, де необхідна велика стійкість та безпека під час старту. Однак, стаціонарні установки можуть бути менш гнучкими порівняно з мобільними, оскільки вони обмежені своєю фіксованою локацією. Це може створювати обмеження для запуску в умовах, де відсутні спеціально підготовлені майданчики. В комерційній сфері стаціонарні стартові установки можуть бути використані для стабільних та регулярних місій доставки товарів у визначених місцях, де забезпечена інфраструктура для старту.

Мобільні стартові установки для безпілотних літальних апаратів відіграють важливу роль у їх функціонуванні. Ці системи надають гнучкість та швидкість реагування на різні ситуації, дозволяючи запускати апарати в різноманітних умовах. Вони адаптивні до різних теренів, забезпечуючи запуск БПЛА навіть у важкодоступних місцях. Ця гнучкість особливо корисна в непередбачуваних умовах, наприклад, під час катастроф або воєнних дій. Швидке розгортання є однією з ключових переваг таких систем. Здатність швидко встановлювати мобільні установки на віддалених майданчиках робить їх ідеальними для оперативних місій та в екстрених ситуаціях. У комерційній сфері, такі мобільні установки можуть бути використані для швидкої доставки товарів або надання послуг у важкодоступних місцях. Мобільні установки можуть бути оснащені різноманітними системами, такими як живлення та зв'язок, що робить їх універсальними та придатними до використання в різних умовах.

Технології горизонтального старту/посадки створюють потреби в спеціалізованих стартових установках, дозволяючи взлітати та приземлятися на горизонтальних поверхнях.

Ці установки ефективні та можливі БПЛА в різних умовах. Вони є критичними для безпечного та успішного запуску, а їх різноманітність дозволяє адаптувати БПЛА до різних завдань та середовищ.

		Трачов М.О.			МД.МА8214.01.00.00 ПЗ	Лист
		Коваль О.Д.				
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		9

Основні завдання роботи

Метою даної роботи є модифікація пневматичної системи керування та приводу пускової установки. Для досягнення цієї мети було розглянуто варіанти різних типів комплексів для вибору підходящого.

В рамках роботи треба розглянути цикл роботи керування та приводу. Для визначення параметрів які можна покращити. Також був створений стенд для визначення часу роботи системи та змін тиску в системі приводу в холостій частині пускового циліндра.

Проведення теоретичних та практичних досліджень систем, а також після виконання цих пунктів необхідно розробити стартап.

		Трачов М.О.			МД.МА8214.01.00.00 ПЗ	Лист
		Коваль О.Д.				
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		10

РОЗДІЛ 1. АНАЛІЗ ІСНУЮЧИХ ВАРІАНТІВ КАТАПУЛЬТ ДЛЯ ЗАПУСКУ БПЛА.

1.1. Стартова катапульта для безпілотних літальних апаратів

Стартова катапульта для безпілотних літальних апаратів (БПЛА) використовується для прискорення БПЛА при польоті до швидкості, необхідної для відокремлення, використовуючи енергію пристроїв, які не є частиною БПЛА. Її функції включають автономний запуск БПЛА, просту конструкцію, компактні розміри та низьку масу в транспортному розміщенні. Катапульта також має бути легкою в обслуговуванні, швидко розгортатися для запуску і забезпечувати стабільність під час запуску БПЛА[34].

Вона може бути встановлена на транспортному засобі або причепі з необхідною прохідністю й маневреністю. Для зльоту невеликих і середніх літних апаратів типу літака часто використовуються катапультні пристрої, які втратили швидкий і ефективний зліт таких апаратів із сильною установкою невеликої потужності[34].

Важливо, щоб конструкція катапульти гарантувала надійний запуск літального апарату зі сталими параметрами кожного разу. Це покращує ефективність запуску та унікальне пошкодження вартісного обладнання. Для досягнення цієї мети необхідно мінімізувати ймовірність відмов, враховуючи зовнішні умови, включаючи погодні умови, і людський фактор[34].

Катапульти можуть бути іншими типами: пружинні, резинові, порохові, пневматичні, гідравлічні.

1.1.1. Розробка та тестування пускової установки на основі банджі-корду

LSU-02 є одним з безпілотних літальних апаратів (БПЛА), розроблених LAPAN. Має хорошу витривалість і дальність польоту, тобто може літати чотири години і до 200 км. Однак БПЛА потрібен хороший і довга злітно-посадкова смуга для зльоту та посадки. У реальних місіях, іноді важко знайти відповідну злітно-посадкову смугу. Тому метод для необхідний зліт без ЗПС, а саме з використанням пускової установки. Два найбільш часто використовуваними пусковими системами є пневматична пускова установка та банджі шнуровий пусковий пристрій. Однак, виходячи з нашого досвіду використання програми

		Трачов М.О.			МД.МА8214.01.00.00 ПЗ	Лист
		Коваль О.Д.				
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		11

запуску для пневматична пускова установка LSU-03 вважається менш практичною через свою складну і важку конструкцію. Щоб LSU-02 міг виконувати місії у віддалених районах потрібна простіша та легка пускова установка. Тому було обрано пускову установку на шнурі банджі. Початковий вимога до пускової установки полягає в тому, щоб пускова установка могла штовхати LSU02 з максимальною злітною масою 15 кг, розміщену на підставці вагою 7 кг (загальна маса 22 кг) і досягти стартової швидкості 15,2 м/с в кінці стартової доріжки. Результат моделювання показує, що пусковій установці потрібен час 0,28 с досягти швидкості 15,2 м/с. При цьому БПЛА проходить шлях за 0,28 с становить 2,55 м. Це мінімальна ефективна довжина, необхідна для запуску. Справжня пускова установка була побудована з ефективною довжиною 2,7 м. Пуска була випробуваний для запуску LSU-02 зі злітною масою БПЛА 14,4 кг і маса люльки 7,5 кг (загальна 21,9 кг). Його вдалося успішно запустити LSU-02 за 0,27 с із ходом по пусковій рейці 2,5 м[34].

1.1.2. Катапульта для LSU-02

LAPAN (тепер BRIN) має кілька типів безпілотних літальних апаратів, які називаються LAPAN surveillance UAV (LSU). LSU можна використовувати для багатьох застосувань, таких як аерофотозйомка для сільського господарства, картографування та ліквідації наслідків стихійних лих, а також для морського спостереження. Для використання засобів боротьби зі стихійними лихами, наприклад, LSU мають можливість фотографувати вулкани. LSU-01 має досвід зйомки вулкана Мерапі, але має обмеження по дальності польоту і витривалості. Коли вулкан знаходиться в стані тривоги, людям заборонено наближатися до вулкана на певну відстань. Тому нам потрібно розробити БПЛА з більшою витривалістю та дальністю польоту. LSU-02 – це БПЛА, який може літати до чотирьох годин із дальністю до 200 км. Крім того, якщо потрібен БПЛА, який може літати ще далі, у нас є LSU-03, який може літати до 340 км. Однак цей БПЛА важкий (30 кг) для мобільного транспортування та потребує довшої злітно-посадкової смуги, тому LSU-02 є кращим[34].

Для успішного зльоту та посадки LSU-02 потрібна відповідна злітно-посадкова смуга. Однак у багатьох місцях, таких як гірські, лісові та морські спостереження, важко знайти довгу та якісну злітно-посадкову смугу, яку можна було б використовувати для зльоту та посадки LSU-02. Для LSU-02 у таких місцях

		Трачов М.О.			МД.МА8214.01.00.00 ПЗ	Лист
		Коваль О.Д.				
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		12

дуже стане в нагоді полегшена система запуску та посадки, тому потрібна пускова установка та система підняття парашута. Ця стаття присвячена розробці пускової установки для LSU-02, а також її тестуванню[3427].

1.1.3. Дизайн пускової планери

Конструкція пускової системи повинна враховувати кількість персоналу, необхідного для роботи, повинна бути легкою, мати компактне місце для зберігання та її можна якомога швидше зібрати для запуску БПЛА. Кількість операторів відображає практичність пускової установки та витрати на персонал. Потрібна легка і невелика пускова установка, особливо для використання на кораблях та інших невеликих територіях. Крім того, це також спрощує та прискорює мобільність пускової установки. Компактне зберігання також полегшить мобільність у віддалені та важкодоступні місця. Крім того, легкість і швидкість складання пускової установки також необхідні для військових цілей і боротьби зі стихійними лихами. Крім того, необхідне легке обслуговування. Наявність запчастин (легко і швидко) дуже допомагає в обслуговуванні. Коли БПЛА знаходиться на пусковій установці, потрібна система, яка є безпечною, надійною та простою в експлуатації. Потрібна безпечна система, щоб БПЛА ніколи не раптово катапультивався та створював небезпеку для операторів. З цієї причини існує потреба в системах безпеки та СОП. Крім того, система і її компоненти повинні бути надійними, враховуючи складність доставки запчастин в робочу зону. Простота експлуатації також важлива для зменшення людської помилки[1934].

Існує п'ять систем пускових пристроїв (LD), які зазвичай використовуються для запуску БПЛА: пневматичні, гідравлічні, системи банджі-корду, системи кінетичної енергії та системи ракетного зльоту. Також існують інші системи, такі як електромагнітний LD та пружинний привод LD. Серед них найчастіше використовуються пневматичні та банджі-кордові LD. Пневматичний LD може виробляти більше потужності та підходить для запуску більших БПЛА. Однак, виходячи з нашого досвіду проектування та експлуатації пускової установки для БПЛА LSU-03, використання пускової установки з пневматичною системою вважається менш практичним. Окрім міцної та важкої конструкції, ми також повинні мати трубу, наповнену повітрям під високим тиском. Тому для LSU-02 необхідно сконструювати інший пусковий пристрій, більш простий і легкий.

		Трачов М.О.			МД.МА8214.01.00.00 ПЗ	Лист
		Коваль О.Д.				
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		13

Враховуючи простий у використанні сценарій, було обрано пускову установку банджі[34].

Початкові вимоги до конструкції пускової установки банджі-корду адаптовані до БПЛА, який буде запущено. Вимоги до конструкції пускової установки стосуються специфікації БПЛА LSU-02. Крім того, оскільки підставка буде використовуватися для утримання БПЛА, пускова установка повинна створювати силу для штовхання як БПЛА, так і підставки вздовж напрямної пускової установки. Максимальна злітна маса LSU-02 становить 15 кг, а необхідна злітна швидкість 15,2 м/с. Маса люльки складе 7 кг[3433].

1.1.4. Конструкція пускової установки

Основними частинами пускової установки банджі-корду є пускова планка (основна частина пускової установки, з якої запускається БПЛА), підставка (куди БПЛА ковзає до кінця пускової установки), набір еластичного шнура банджі (для підтягування люльки, ролик (для підтримки шнура банджі) і фіксатор (для утримання шнура). Ми заснували нашу конструкцію пускової установки на конструкції, з незначними модифікаціями, тобто ми використовуємо лише один ролик замість двох роликів (переднього та торцевого)[34].

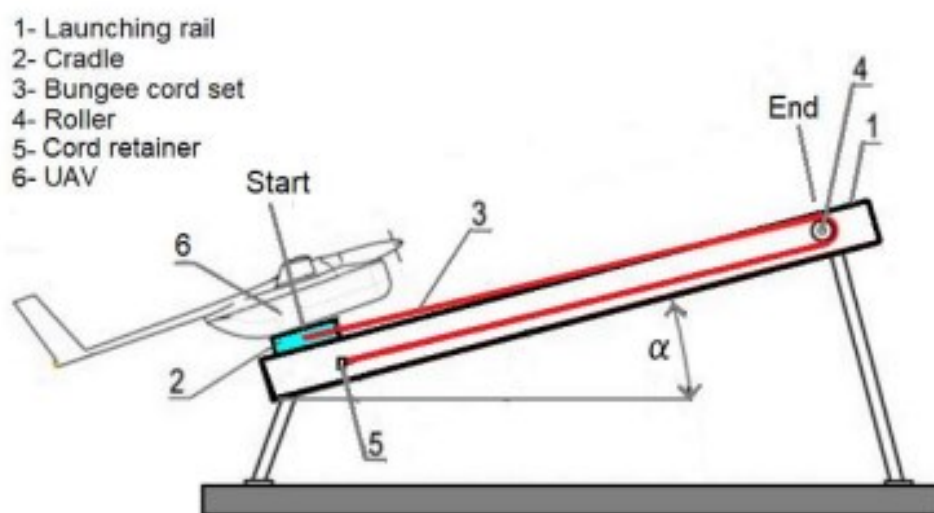


Рис. 1.1. Конструкція пускової установки[34].

Банджі-шнур прив'язується одним кінцем до фіксатора, а іншим – до люльки. Шнур банджі зазнає максимального натягу, коли люльку витягнути та зав'язати у вихідному положенні. Коли лямка люльки відпущена, люлька разом з БПЛА буде ковзати вздовж пускової установки. Люлька зупиняється на кінці пускової установки, і БПЛА буде звільнено, а потім полетить з тягою від гвинтів.

Відстань від початкової до кінцевої позиції є ефективною довжиною пускової установки. Положення фіксатора можна регулювати вперед і назад, щоб регулювати натяг шнура банджі. Натяг регулюється відповідно до маси БПЛА + люльки[34].

БПЛА ковзає по пусковій рейці за допомогою сил від натягу шнура банджі та тяги двигуна БПЛА. Швидкість БПЛА при досягненні кінця пускової установки, тобто стартова швидкість, має відповідати швидкості зльоту БПЛА[34].

Сили, які діють на пускову установку, показані на рис. 1.2. Математичну модель пускової системи можна виразити наступним чином [34].

$$m\vec{a} = \vec{F}_e + m\vec{g} + \vec{F}_\mu + \vec{R}_x + \vec{R}_z + \vec{T} + \vec{N} \quad (1)$$

де m — маса БПЛА та люльки, a — прискорення, F_e — сила банджі-троса, g — гравітаційна сила, F_μ — сила тертя ковзання, R_z — підйомна сила БПЛА, R_x — сила опору, T_{is} БПЛА рушійна сила, а N — нормальна сила.

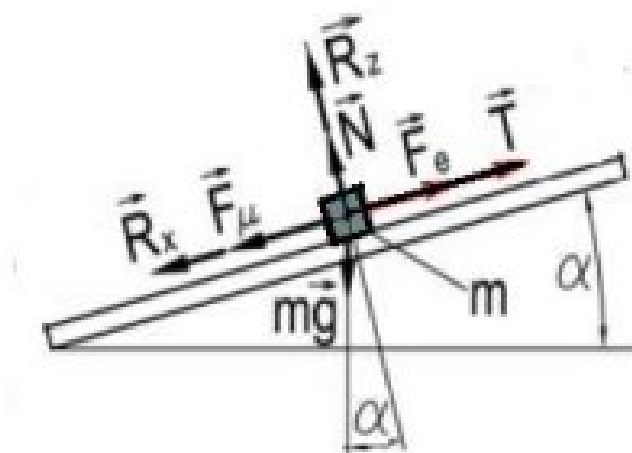


Рис. 1.2. Сили, що діють на пускову установку[34].

Посилання припускає та чисельно показує, що силою опору БПЛА та підйомною силою можна знехтувати, оскільки їх значення дуже малі. Інші припущення використовуються для спрощення моделі, як показано нижче[34].

- Маса мотузки та ролика дорівнює нехтують, оскільки вони малі порівняно з

маса БПЛА і люльки.

- Напрямок сил банджі-шнура та Тяга БПЛА компланарна площині пускової установки.
- Сила тертя мотузки та валика становить знехтуваний.
- Жорсткість банджі-шнура постійна.
- Сила натягування шнура банджі є лінійною подовження.
- Рушійна сила БПЛА постійна.

Посилання надає рішення математичної моделі для розрахунку відстані, швидкості та прискорення БПЛА на пусковій установці наступним чином[34].

$$x(t) = \left[x_0 + \frac{T+n_r}{q_r} - \frac{mg}{q_r} (\mu \cos \alpha + \sin \alpha) - b \right] \cos \sqrt{\frac{q_r}{m}} t + \frac{mg}{q_r} (\mu \cos \alpha + \sin \alpha) + b - \frac{T+n_r}{q_r} \quad (2)$$

$$\dot{x}(t) = - \left[x_0 + \frac{T+n_r}{q_r} - \frac{mg}{q_r} (\mu \cos \alpha + \sin \alpha) - b \right] \sqrt{\frac{q_r}{m}} \sin \sqrt{\frac{q_r}{m}} t \quad (3)$$

$$\ddot{x}(t) = - \left[x_0 + \frac{T+n_r}{q_r} - \frac{mg}{q_r} (\mu \cos \alpha + \sin \alpha) - b \right] \frac{q_r}{m} \cos \sqrt{\frac{q_r}{m}} t \quad (4)$$

де x_0 — довжина шнура банджі, b — довжина шнура банджі в нерозтягнутому стані, T — тяга двигуна, n_r — зсув шнура банджі, q_r — жорсткість шнура банджі, m — маса БПЛА+люльки, μ — коефіцієнт кінетичного тертя, α — рейка для запуску кут підйому, t — час. $x(t)$ — це довжина шнура банджі відносно часу. $\dot{x}(t)$ і $\ddot{x}(t)$ — це швидкість і прискорення БПЛА на пусковому пристрої відносно часу відповідно. Відстань польоту БПЛА d визначається наступним чином. Відстань використовується для визначення ефективної довжини пускової установки[34].

$$d = x_0 - x(t) \quad (5)$$

		Трачов М.О.			МД.МА8214.01.00.00 ПЗ	Лист
		Коваль О.Д.				
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		16

Жорсткість шнура банджі вимірюється на основі початкової довжини шнура банджі, а потім його натягують з різними кроками довжини. Сила на одиницю довжини приросту вимірюється як жорсткість банджі-тросу (Н/м). Результат вимірювання показано на рис. 1.3[34].

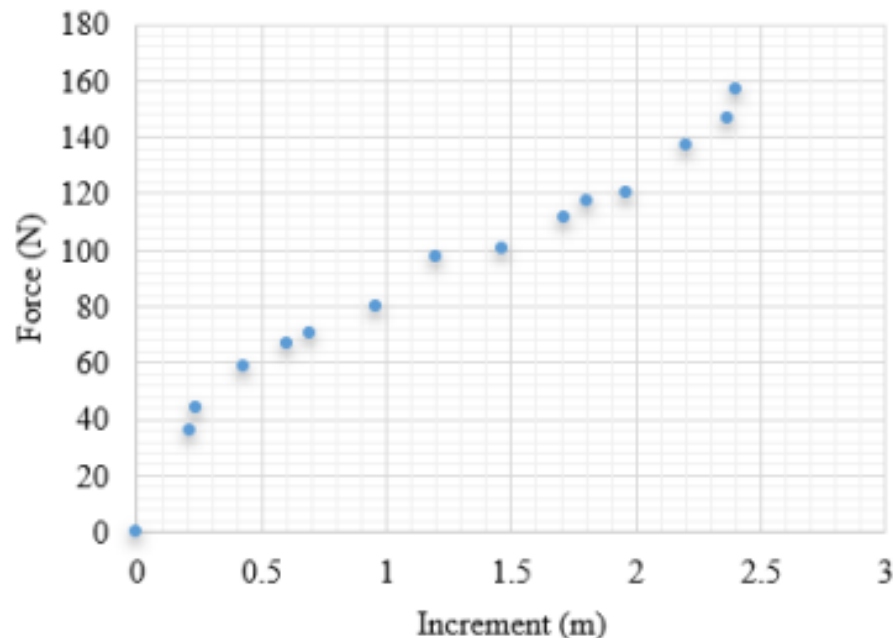


Рис. 1.3. Вимірювання жорсткості шнура банджі[34].

Банджі шнури зазвичай мають лінійну жорсткість, коли вони розтягнуті на 20% до 80% від початкової довжини, хоча ця характеристика залежить від якості банджі шнурів. У цьому тесті довжина шнура банджі становить 2,4 м без натягу, тому кроки 20% і 80% довжини становлять 0,48 м і 1,92 м відповідно. З рисунка 1.3 видно, що перші та останні дані демонструють нелінійність. Якщо перші та останні дані опущені, ми маємо лінійну регресію (рис. 1.4), яка представляє рівняння[34]

$$y = 44.57x + 38.00 \quad (6)$$

Отже, для кожного шнура банджі ми маємо жорсткість $q_r = 44,57$ Н/м і зсув $n_r = 38$ Н. Загалом 12 використовуваних шнурів банджі, ми маємо $q_r = 535$ Н/м і $n_r = 456$ Н[34].

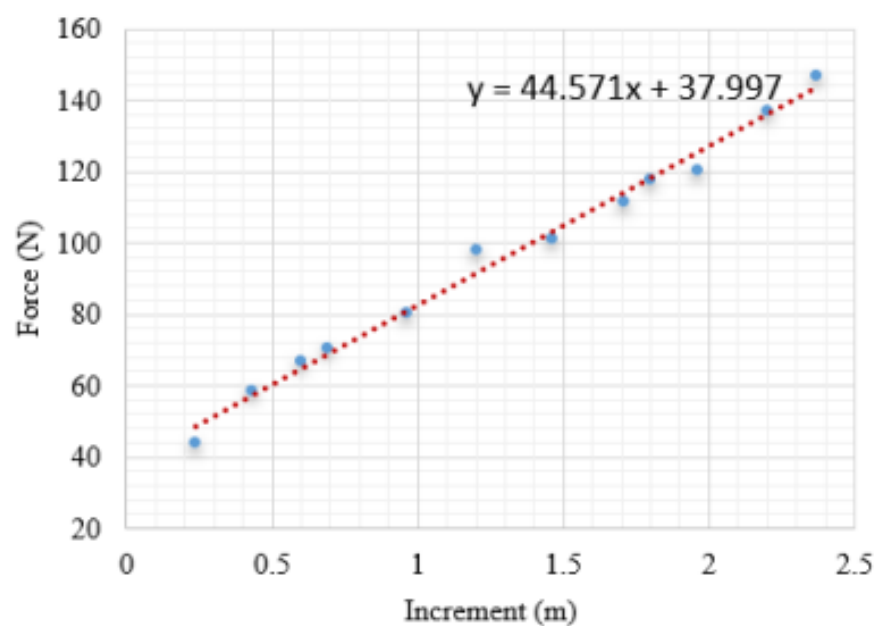


Рис. 1.4. Лінійна регресія жорсткості шнура банджі[34].



Рис. 1.5. Вимірювання жорсткості шнура банджі[34].

Використовуючи рівняння (2)-(5), ми можемо моделювати прискорення, швидкість і відстань польоту БПЛА на пусковій установці. Параметри БПЛА та пускової установки, що використовуються в моделюванні, наведені в таблиці 1.1

		Трачов М.О.			МД.МА8214.01.00.00 ПЗ	Лист
		Коваль О.Д.				
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		18

Прискорення, швидкість і відстань польоту БПЛА показано на рис. 1.6, 1.7 і 1.8 відповідно. На рисю 1.6 показано залежність прискорення БПЛА на пусковій установці від часу. Видно, що банджі-шнур надає БПЛА прискорення 7,6 G на старті, а потім зменшується. Прискорення з часом збільшить швидкість БПЛА (рис. 1.7)[34].

Таблиця 1.1 Параметри БПЛА та пускової установки[34].

No.	Parameter	Symbol	Value	Unit
	- UAV maximum takeoff mass		15	kg
	- Cradle mass		7	kg
1	UAV+Cradle mass	m	22	kg
2	Bungee cord stiffness	q_r	535	N/m
3	Bungee cord offset	n_r	456	N
4	Bungee cord length	x_0	4.75	m
5	Bungee cord length un-stretched	b	2.4	m
6	Gravity acceleration	g	9.789	m/s ²
7	Launcher elevation angle	α	8	Deg
8	Kinetic friction coefficient	μ	0.096	-
9	Engine thrust	T	48.9	N

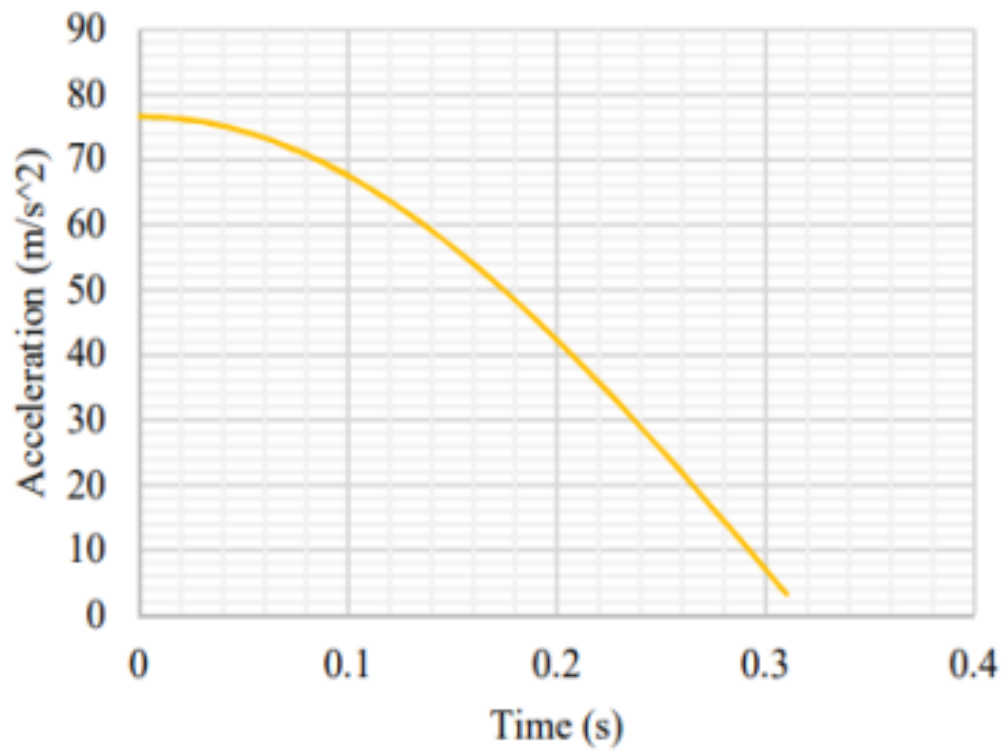


Рис. 1.6. Залежність прискорення БПЛА від часу[34].

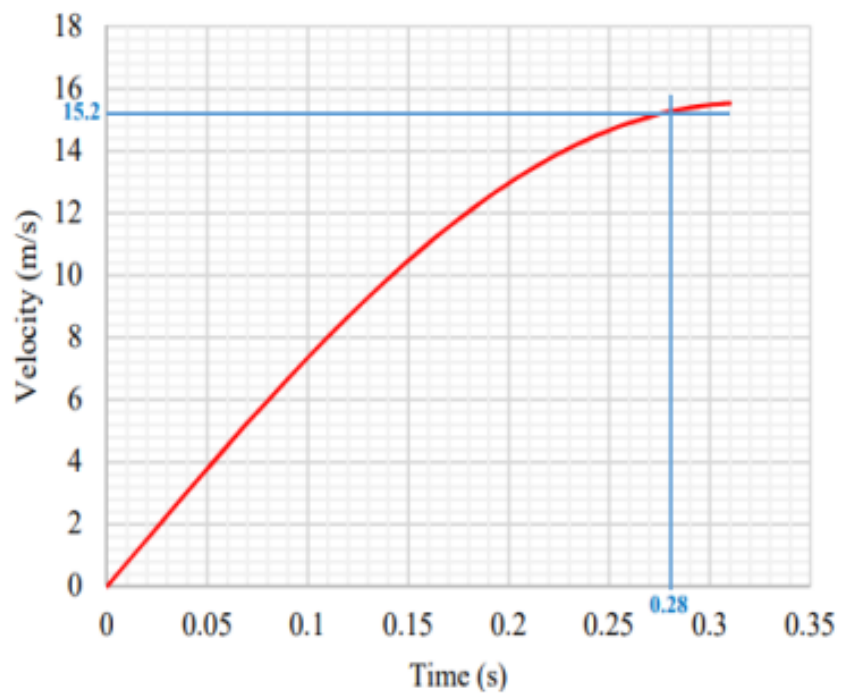


Рис. 1.7. Залежність швидкості БПЛА від часу[34].

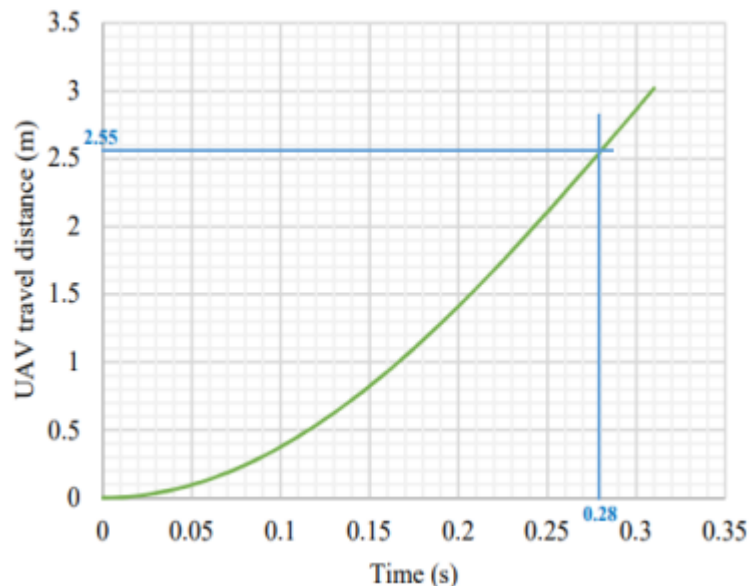


Рис. 1.8. Залежність відстані подорожі БПЛА від часу[34].

Згідно з вимогою, швидкість БПЛА на кінці пускової установки повинна становити 15,2 м/с. З рис. 1.7 видно, що для досягнення цієї швидкості БПЛА потрібно 0,28 с. При цьому за 0,28 с БПЛА пролітає 2,55 м (див. рис. 1.8). Дистанція подорожі - це мінімальна відстань, необхідна БПЛА для досягнення швидкості зльоту. Отже, пускова установка повинна мати мінімальну ефективну довжину 2,55 м, щоб виконати вимогу. Справжня пускова установка була побудована з ефективною довжиною 2,7 м[34].

1.2.1. Пневматична пускова установка LD

Система запуску PL-40. У цьому дослідженні LD — це пневматична катапульта PL-4013, розроблена естонською компанією Eli. Згідно з даними випробувань, наданими Eli, PL-40 може запускати БПЛА вагою 45 кг із максимальною швидкістю запуску 15,9 м/с і БПЛА вагою 10 кг із максимальною швидкістю 26,1 м/с. Максимальні швидкості PL-40 для різних мас БПЛА наведені в довідці. PL-40 LD для експерименту показаний на рисунку 1.9. Система живлення LD включає повітряний насос, повітряний резервуар і пневматичний клапан, зібраний в один модуль. Пускова рейка виготовлена з екструзії алюмінієвого сплаву, інтегрована з пневматичним циліндром. А саме внутрішній простір пускової рейки, яка використовується як пневматичний циліндр. Основним матеріалом човника є алюмінієвий сплав, що забезпечує легкість. А кабель з'єднує човник з поршнем пневмоциліндра. БПЛА закріплений на човнику,

а кут між рейкою та землею становить 11° [35].



Рис. 1.9 PL-40 LD[35].

1.2.2. Спосіб запуску

Для запуску PL-40 в якості системи живлення використовується стиснене повітря високого тиску. Ми можемо вибрати відповідний тиск у баку відповідно до різних мас БПЛА та швидкості зльоту. На рис. 1.10 показано три часові кроки під час процесу запуску. Перший крок полягає в тому, щоб перевести човник у початкове положення для запуску та покласти манекен на човник. Потім повітряний резервуар заряджається до відповідного значення тиску. Коли клапан відкрито, стиснене повітря під високим тиском випускається з бака через клапан у циліндр, щоб штовхати поршень. Згодом поршень безпосередньо тягне човник вперед із позитивним змінним прискоренням a_1 через трос. Другий часовий крок вибирається, коли човник щойно переходить у положення шківів. У цей момент тягова сила човника змінила б напрямок, щоб уповільнити човник із негативним змінним прискоренням a_2 . Третій часовий крок вибирається, коли швидкість човника сповільнюється, і манекен починає відділятися від човника через інерцію. У цьому дослідженні фактичний БПЛА замінюється манекеном для досягнення мети повторного тестування. Передня тяга човника може фіксувати передню частину манекена, а задня тяга підтримує задню частину манекена. Поки стиснене повітря в P_{tis} випускається через клапан, поршень циліндра починає рухатися. Потім човник тягне за допомогою троса, з'єднаного з поршнем. Як показано на

рис. 1.11, діаграма вільного тіла човника ілюструє координату зовнішньої сили (F_s , N_A , N_B , F_A , F_B , F_d) і центр ваги (M_{andms}). M — це маса манекена, а вони — маса човника. Початкова система координат встановлена в центрі заднього колеса А. Манекен і центр тяжіння човника знаходяться над колесом А у напрямку y , як показано в таблиці 1.2. Перш ніж F досягти критичної сили, яка може змусити човник почати обертатися, нижня рейка діє на нормальна сила N_A і N_B у напрямку $+y$ на колеса А і В. Загальна нормальна сила $2N_A$ і $2N_{Bare}$ дорівнює вазі, отриманій із загальної маси M_{andm} у напрямку $+y$. Коли F перевищує критичну силу, човник починає обертатися проти годинникової стрілки і рухатися вперед. Щоб урівноважити обертання човника, верхня рейка створює нормальну силу N_B у напрямку $-y$ на колесо В. Сила тертя F_A і F є від'ємною, оскільки вони знаходяться в напрямку $-x$. Коли човник рухається вперед, манекен страждає від сили опору F_d [35].

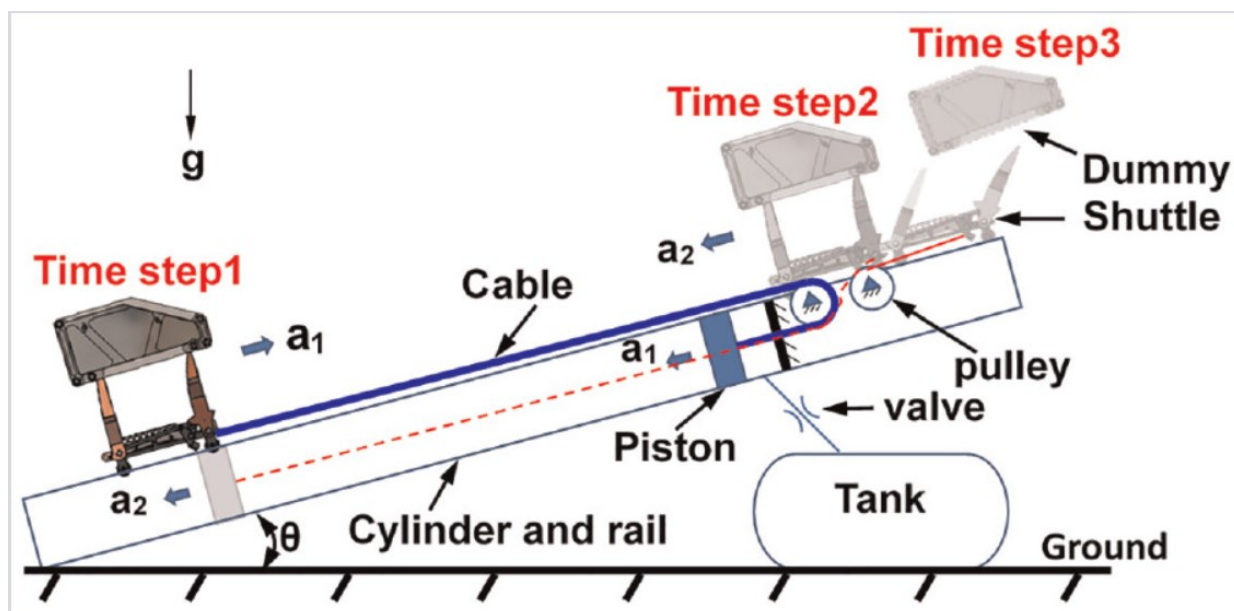


Рис. 1.10 Принципова схема пускового пристрою і положення в три моменти часу[35].

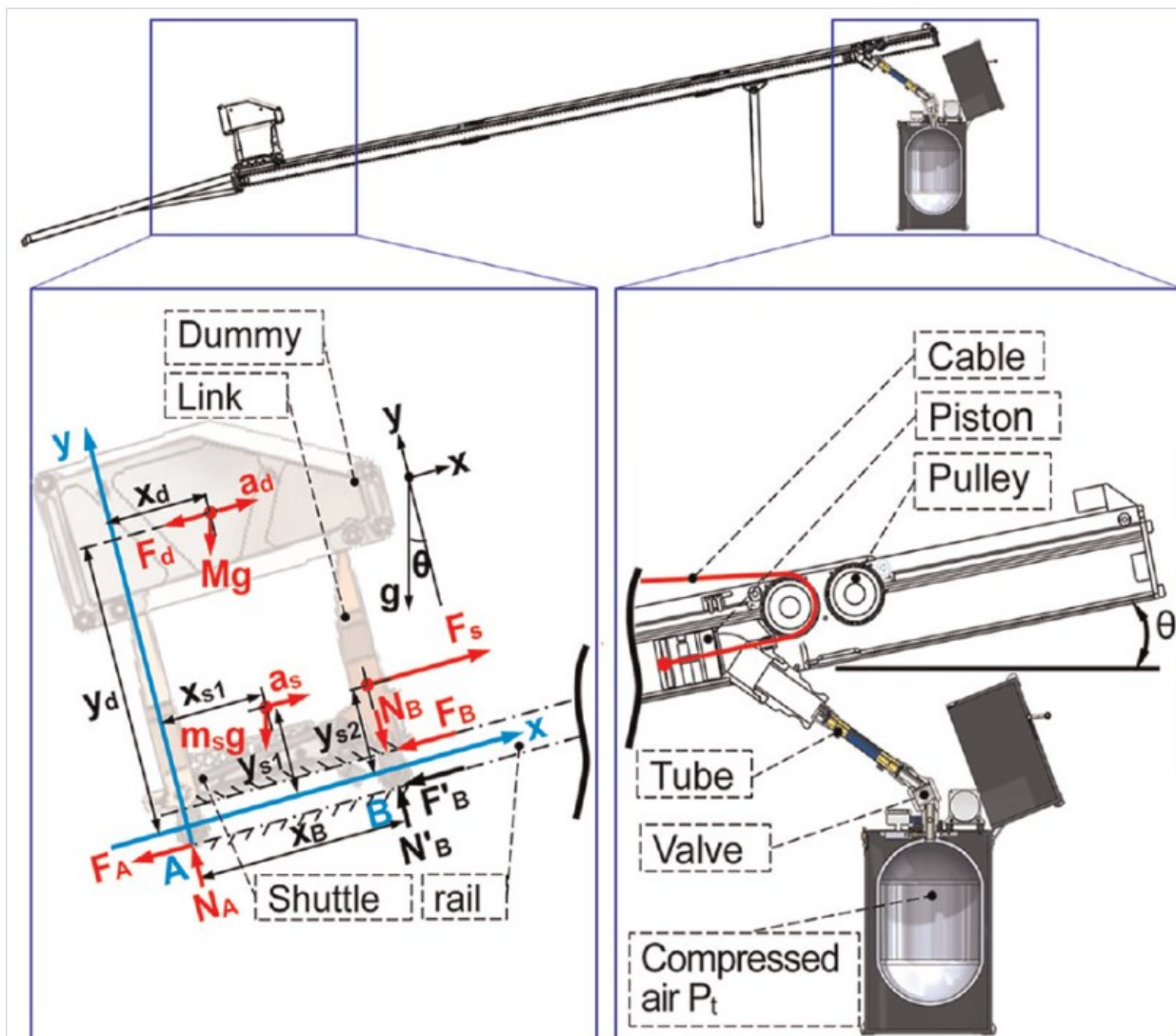


Рис. 1.11. Реалістична структура LD[35].

Таблиця 1. Маса і координата човника і манекена[35].

Name	Mass (kg)	x (mm)	y (mm)	z (mm)
m_s	1.32	x_{s1} (125)	y_{s1} (50)	0
Wheel A	N.A.	0	0	0
Wheel B	N.A.	x_B (200)	0	0
F_s	N.A.	x_B (200)	y_{s2} (60)	0
M	10	x_d (68)	y_d (264)	0

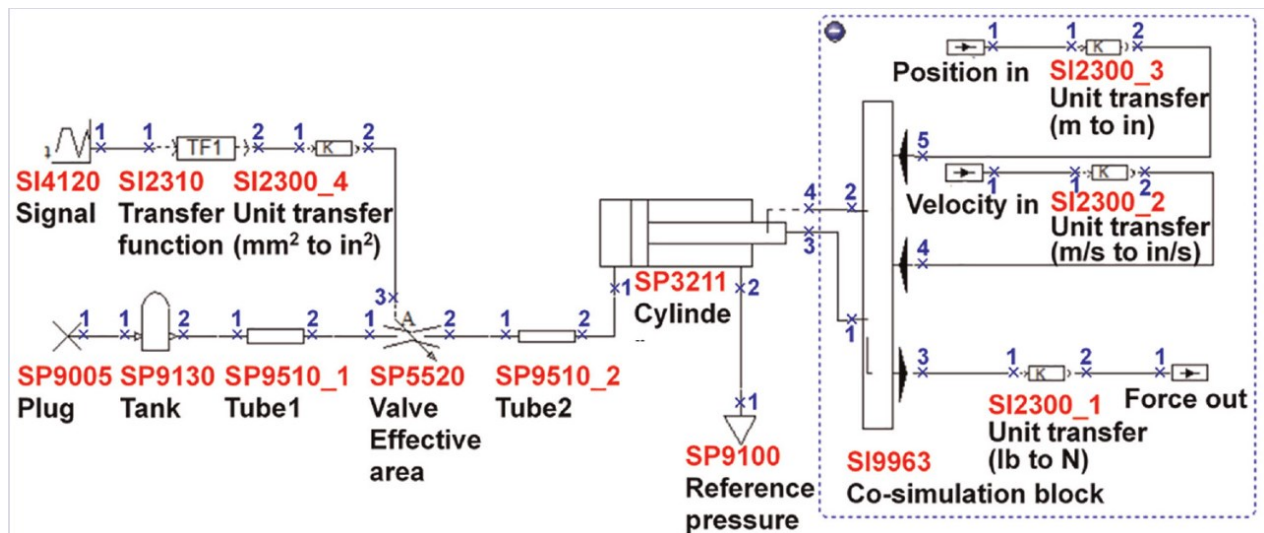


Рис. 1.12. Схема моделі[35].

Висновок:

Пневматичне рішення виявляється вигідним у звітному плані, оскільки з часом вартість кожного запуску поступово зменшується. Зростання кількості запусків призводить до накопичення економії витрат, що є важливим фактором при оцінці його конкурентоспроможності.

Для повноцінного порівняння витрат на пневматичний запуск порівняно з іншими системами важливо враховувати загальні річні витрати для кожного підходу. Такий аналіз дозволяє зрозуміти не лише витрати на придбання та технічне обслуговування, а й врахувати експлуатаційні витрати, що є ключовим фактором у прийнятті обґрунтованого рішення.

За результатами цього розділу можна переходити до наступного для проведення ряду досліджень та розрахунків.

РОЗДІЛ 2. РОБОТА НАД МОДИФІКАЦІЄЮ ПУСКОВОЇ УСТАНОВКИ

Багато безпілотних літальних апаратів (БПЛА) через свою вагу та габарити, а також великі навантаження на крило потребують допомоги під час процесу зльоту. Злітні пристрої БПЛА авіаційного типу називаються пусковими катапультами. Застосування катапульти також підвищує експлуатаційні можливості БПЛА та усуває необхідність використання злітно-посадкових смуг аеропорту для їх зльоту. Завдяки своїм експлуатаційним якостям найбільшого поширення набули пневматичні пускові установки. Кондратюк та Ган показали, що за потужністю та злітною ефективністю, а також за експлуатаційними показниками найбільше застосування отримали пневматичні пускові установки.

2.1. Опис предмета дослідження

Процес роботи пневматичного пускового пристрою стартера полягає в розгоні візка стартера, який має кінематичний зв'язок з поршнем через сталевий трос. Цей поршень розташований у циліндрі стартера і рухається внаслідок розширення стисненого повітря, що накопичене в пневмобаці. Система приводу каретки стартера є замкнутою, включаючи пусковий поршень, сталевий трос, пусковий візок і сталевий трос. Кінець поршня з'єднаний з візком стартера сталевим тросом. Сила, яка виникає на пусковому поршні, пропорційна тиску стисненого повітря та площі активної поверхні поршня. Це зусилля передається безпосередньо на візок стартера через роликову та тросову систему. Важливою роллю в системі є кульовий кран, який відкриває або закриває потік повітря між пусковим циліндром і пневмобаком. Об'єм повітря в пневмобаці та витрата повітря через пневмовузли і трубопроводи визначають швидкість руху пускової рами пускової установки під час запуску.

Візок стартера виконує ключову роль основного шасі для безпілотного літального апарату (БПЛА) під час прискорення по траєкторії пускової установки. Енергія, доступна для злітної дії пневматичної пускової установки, визначається енергією стисненого повітря, яке зберігається в основному резервуарі, після врахування втрат, що виникають внаслідок зовнішніх і внутрішніх витоків у системі пускової установки. Зовнішні витоки, які призводять до значного зниження тиску повітря в системі пускової установки, включають технологічні

		Трачов М.О.			МД.МА8214.01.00.00 ПЗ	Лист
		Коваль О.Д.				
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		26

зазори в проходах сталевго тросу в механізмі приводу візка стартера. Отже, втрати енергії стисненого повітря прямо залежать від періоду роботи тригерної системи, яка контролює швидкість відкриття кульового крана у приводі пускової машини пускової установки. Відпускання візка відбувається після завершення циклу роботи тригерної системи, а саме після повного відкриття кульового крана в системі приводу візка. Чим більше часу необхідно для відкриття кульового крана, тим більше втрат тиску в пневмосистемі пускової установки. Отже, чим швидше відбувається відкриття кульового крана, тим ефективніше використовується накопичене повітря для руху візка стартера, і, відповідно, злітна енергія стає більш ефективною.

Найважливішим модулем пускової установки, який визначає кінцеву енергію пуску та відповідає за необхідну швидкість пуску безпілотного літального апарату (БПЛА), є його пневматична спускова система. Ця система контролює цикл відкриття кульового крана рушійної установки в системі. Основна викликаюча проблема полягає в виборі параметрів потоку пневмоагрегатів пускової системи (моторів, приводів, клапанів, трубопроводів і т.д.), які забезпечать максимально короткий час відкриття кульового крана приводу візка стартера. Збільшення діаметра пускового циліндра пускової установки ускладнює проблему швидкодії спрацьовування ударно-спускового механізму. Тригерна система повинна забезпечити максимально швидкий повний потік робочого середовища через кульовий кран з балону стисненого повітря до пускового циліндра. Оскільки час відкриття та закриття великих пневматичних клапанів може бути тривалим, для пневматичних пускових установок застосовують спеціальні конструкції, розроблені для оптимізації цих процесів. При виборі пневматичних установок важливо враховувати конструкційні дані, що гарантують адекватну функціональність пневматичної системи.

Отже, виникає необхідність в аналітичному описі циклу роботи пневматичної системи керування та приводу пускової установки і вивченні впливу параметрів потоку на час її роботи. Для визначення властивостей потоку пневматичного вузла необхідно розуміти його характеристики потоку.

Існують два основні підходи до моделювання характеристик потоку пневматичних вузлів. Перший використовує моделі у формі системи диференціальних або інтегральних рівнянь, побудованих на основі принципів механіки стисливої рідини, таких як рівняння Нав'є–Стокса. Другий підхід

		Трачов М.О.			МД.МА8214.01.00.00 ПЗ	Лист
		Коваль О.Д.				
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		27

використовує моделі характеристик потоку, що пов'язують перепад тиску з об'ємним потоком через елемент. В пневматичі застосовуються різноманітні моделі, такі як модель Сен-Венана–Ванцеля, модель потоку через отвори, модель Мятлюка та Автушки, модель Вельке, модель течії через трубопроводи та об'ємні моделі течії.

2.2. Принцип роботи пневматичної системи

Схема фірмової пневматичної спускової системи пускової установки зображена на рис. 2.1.

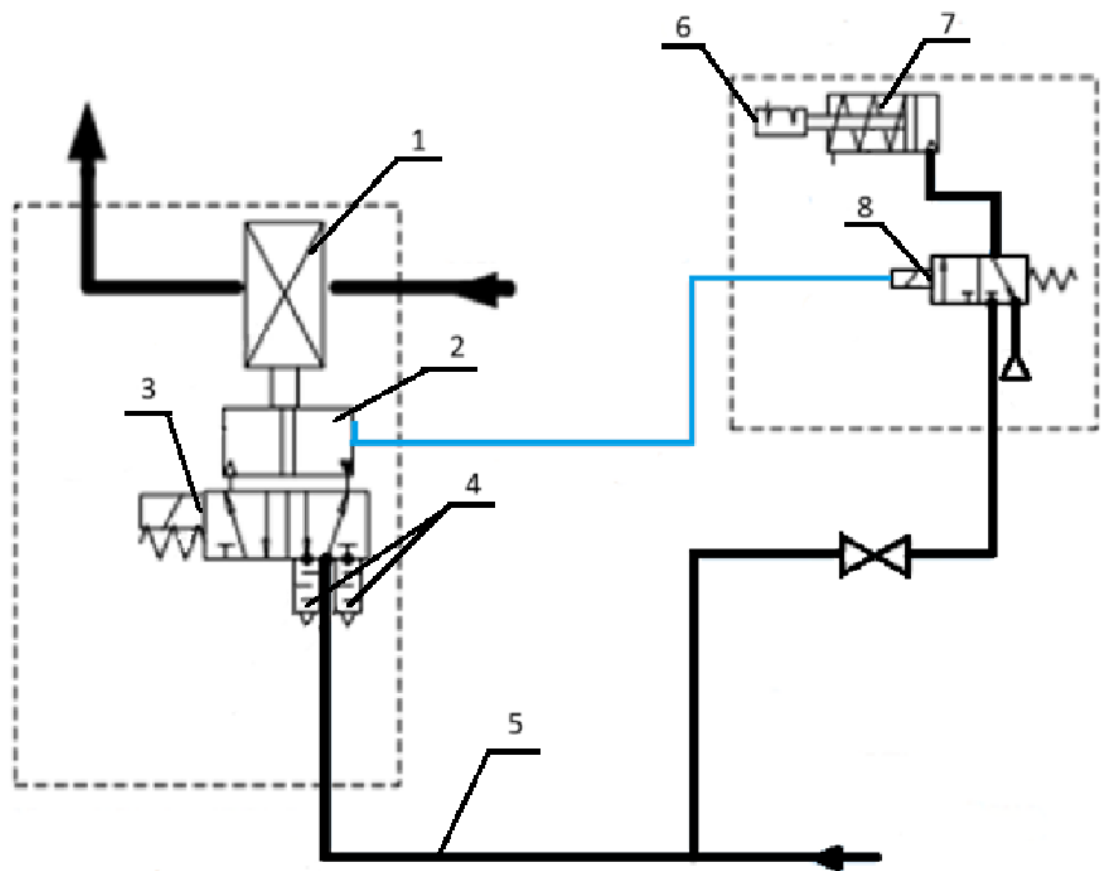


Рис. 2.1. Схема системи пневматичного керування і приводу пускової труби:
1—головний кульовий кран, 2—привід човника (привід головного кульового крана), 3—5/2 клапан, 4—глушник, 5—шнур живлення, 6 —замок розблокування каретки стартера, 7—пневмопривід простої дії, 8—клапан 3/2.

Тригерна система управління кульовим краном системи приводу візка стартера включає елементи, такі як кульовий кран VL 140F, човниковий привід AT 551 UT для контролю відкриття кульового крана та золотниковий кран 5/2 для нагнітання стисненого повітря. Процес управління спусковою системою

здійснюється за допомогою пневматичної системи. Клапан 5/2 відкриває шлях для тиску до робочої камери човникового приводу, що призводить до відкриття кульового крана. Стиснене повітря потрапляє через кульовий кран у глуху частину пускового циліндра. Після повного відкриття кульового крана, пневматичний привід, керований клапаном 3/2, розблоковує замок візка. Злітна енергія, що подається з пускової труби, значно залежить від втрат тиску в рушійній установці під час наповнення пускового циліндра. Для даної тригерної системи розроблена методика вибору параметрів потоку пневматичних компонентів, яка дозволяє досягти найкоротшого часу роботи.

Принцип роботи пневматичної системи випуску, яка представлена на рис. 2.2., описується наступним чином. Після подачі керуючого сигналу на колектор 5/2 повітря (блакитного кольору) через канал управління направляється в колектор на золотник управління. Під впливом тиску стисненого повітря повзун колектора переміщується вліво/вправо, узгоджуючи своє положення, як показано на рис. 2.2. Відповідні канали колектора з'єднують магістраль стисненого повітря із зовнішніми камерами приводу човника та внутрішньою камерою човникового механізму. На початковому етапі тиск у зовнішніх камерах приводу човника дорівнює атмосферному тиску, а тиск у внутрішній камері дорівнює тиску в магістралі стисненого повітря. Стиснене повітря подається до зовнішніх камер циліндра повороту через відповідний колекторний канал (блакитного кольору). У зовнішніх камерах човникового приводу тиск починає зростати. Повітря виходить в атмосферу через відповідний розподільний канал із внутрішньої камери приводу човника, де тиск знижується. Під впливом сили, що виникає внаслідок різниці тиску в камерах приводу човника, поршні рухаються всередину, подолуючи опору (опір складається з сили, яка протидіє тиску в порожній камері, і моменту інерції маси рухомих частин, таких як кулька кульового крана, палець приводу кульки та вал з шліцем приводу човника). Кулька кульового крана VL 140 F, яка механічно з'єднана з валом човникового приводу, обертається в сторону відкриття. Рух приводу повороту обмежений упорними гвинтами в діапазоні 0–90 градусів.

		Трачов М.О.			МД.МА8214.01.00.00 ПЗ	Лист
		Коваль О.Д.				
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		29

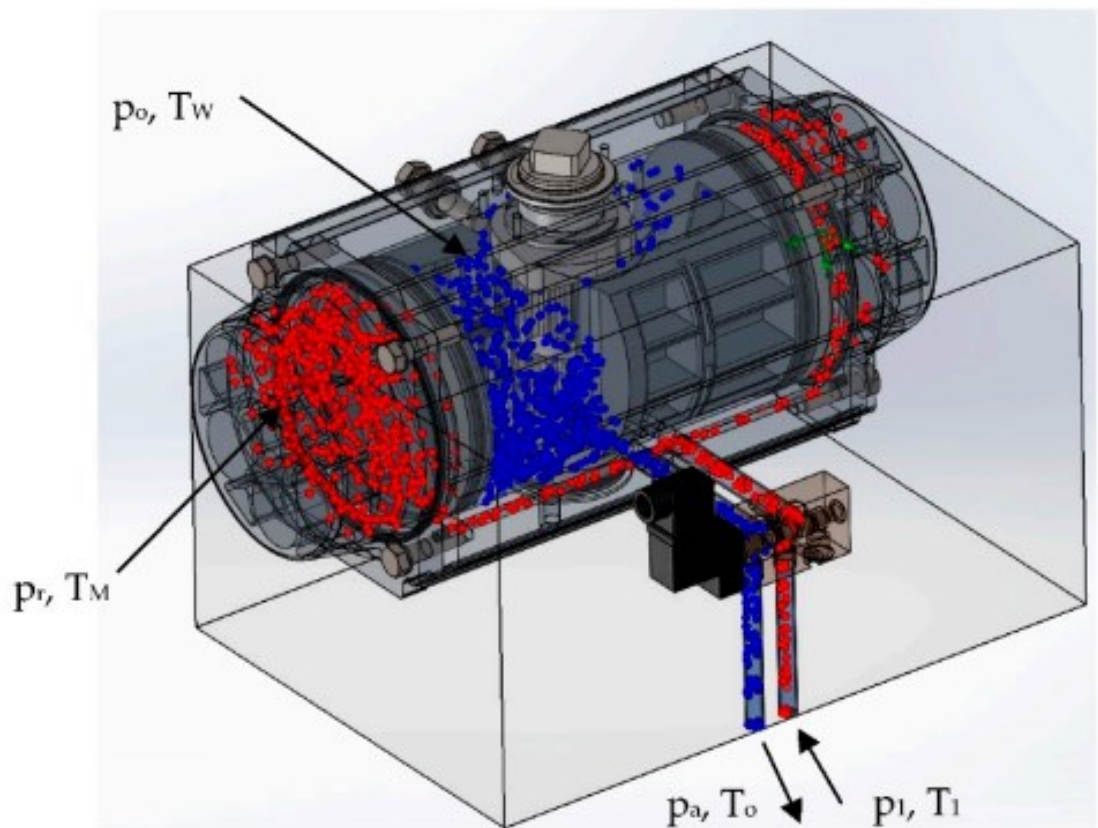


Рис. 2.2. Вигляд пневмонагнітаючої системи з позначеними трактами стисненого повітря (червоний — високий тиск; синій — низький тиск), де: p_a — атмосферний тиск, p_o — тиск у вакуумній камері, p_r — тиск у робочій камері, T_o — температура навколишнього середовища, T_1 — температура припливного повітря, T_M — температура повітря в робочій камері, T_w — температура повітря у відкачуваній камері.

Для визначення тривалості робочого циклу системи керування та приводу необхідно провести розрахунки часу роботи кожного елемента окремо, а також часу проходження сигналу між цими елементами. У цьому контексті сигналом виступає тиск стиснутого повітря, що передається через сполучні лінії. Розрахунок часу циклу пневмоприводу включає в себе динамічний аналіз кожного елемента системи.

2.3. Розрахунках робочого циклу пневматичної системи

При розрахунках робочого циклу пневматичної системи випуску були зроблені наступні припущення: циліндр повороту розглядається як циліндр подвійної дії, в якому камери заповнюються і спорожняються одночасно;

розподільник 5/2 та вхідні канали в корпусі човникового приводу розглядалися як пневматичні резистори, для яких визначені замінні коефіцієнти потоку, розглядаючи їх як набір; теплообмін між вмістом камери та навколишнім середовищем не враховується (враховуючи короткий час циклу менше 0,5 с); витік повітря між камерами відсутній (герметичність камер приводу повороту АТ 451 УТ підтверджена випробуванням на герметичність).

Робочий цикл системи керування та приводу описується наступними рівняннями: зміна тиску в робочій камері (1), зміна тиску в вакуумній камері (2), та рівняння руху (3)

$$\frac{dp_r}{dt} = \frac{\kappa}{x} \left(\frac{q_M R T_M}{F} - p_r \frac{dx}{dt} \right) \quad (1)$$

$$\frac{dp_o}{dt} = \frac{\kappa}{l-x} \left(-\frac{q_W R T_W}{F} + p_o \frac{dx}{dt} \right) \quad (2)$$

$$\frac{d^2x}{dt^2} = \frac{1}{m} [F(p_r - p_o) - P] \quad (3)$$

Для вирішення рівнянь (1) і (2) необхідно визначити масову інтенсивність потоку повітря, що надходить у робочу камеру, і потоку повітря, що витікає з порожньої камери. На основі аналізу літератури прийнято загальний вигляд рівняння масової витрати:

$$q_m = \frac{p_1}{\sqrt{T_1}} \rho_N \sqrt{T_N} Y \quad (4)$$

Для визначення функції потоку Y була прийнята модель потоку, описана в стандарті ISO 6358. Функція потоку Y може бути визначена коефіцієнтами потоку: звукопровідністю C і коефіцієнтом критичного тиску b . Для умови: $0 \leq p \leq b$ -критичний потік функція потоку Y набуває вигляду:

$$Y = C \quad (5)$$

		Трачов М.О.			МД.МА8214.01.00.00 ПЗ	Лист
		Коваль О.Д.				31
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		

Для умови: $b < p_2/p_1 \leq 1$ -докритичний потік функція потоку Y набуває вигляду:

$$Y = C \sqrt{1 - \left(\frac{\frac{p_2}{p_1} - b}{1 - b} \right)^2} \quad (6)$$

де C -звукова провідність – це відношення масової швидкості потоку газу через елемент до добутку вхідного тиску на густину цього газу в умовах стандартизованої еталонної атмосфери ANR при критичному потоці, описаному формулою (9). b -критичне співвідношення тиску є найбільшим значенням співвідношення вихідного преса до вхідного преса, при якому критичний потік виникає в елементі.

Текучі властивості пневматичного елемента визначаються звукопровідністю C і критичним співвідношенням статичних тисків b . Позначаючи як η відношення статичного тиску p_2 на виході з елемента до статичного тиску p_1 на вході в елемент, масова витрата стисливої рідини визначається за формулою:

$$\dot{m} = C * \frac{p_1}{\sqrt{T_0}} * \rho_N \sqrt{T_N} * Y(\eta) \quad (7)$$

$$Y(\eta) = \begin{cases} 1 & \text{for } 0 \leq \eta \leq b \\ \sqrt{1 - \left(\frac{\eta - b}{1 - b} \right)^2} & \text{for } b < \eta \leq 1 \end{cases} \quad (8)$$

Звукова провідність C у пневматичних елементах є результатом рівняння (9). Це відношення масової витрати газу q_m через елемент до продукту та густини цього газу ρ_0 в умовах стандартизованої еталонної атмосфери

ANR при критичній витраті $\eta \leq b$:

$$C = \frac{q_m^*}{p_1^* * \rho_0} \text{ when } T_1 = T_1^* = T_0 \quad (9)$$

Коефіцієнт звукопровідності C розраховується для критичного потоку, при якому температура T_1 газу на вході дорівнює температурі T_0 .

Коефіцієнт критичного тиску b є найбільшим значенням відношення тиску p_2/p_1 , при якому виникає критичний потік у випробовуваному елементі.

Критичний потік - це стан, при якому швидкість потоку газу в певній області елемента дорівнює місцевій швидкості звуку. Це відбувається, коли вхідний тиск p_1 є достатньо високим по відношенню до вихідного тиску p_2 . Тоді масова витрата газу пропорційна вхідному тиску p_1 і обернено пропорційна квадратному кореню з вхідної температури T_1 і не залежить від тиску на виході p_2 .

У разі визначення опору потоку двома паралельно з'єднаними пневматичними елементами можна використовувати такі співвідношення:

$$C_w = C_1 + C_2 \quad (10)$$

$$\frac{C_w}{\sqrt{1-b_w}} = \frac{C_1}{\sqrt{1-b_1}} + \frac{C_2}{\sqrt{1-b_2}} \quad (11)$$

Ці рівняння дають змогу визначити результуючу звукопровідність C_w і результуюче критичне співвідношення тиску b_w .

Існує два методи для послідовно з'єднаних компонентів. Відповідно до першого результуючу звукопровідність C_w можна визначити із залежностей:

$$\frac{1}{C_w^3} = \frac{1}{C_1^3} + \frac{1}{C_2^3} \quad (12)$$

а за другою залежністю:

$$C_w = \begin{cases} C_1 & \text{for } \alpha \leq 1 \\ \alpha * C_2 * \frac{\alpha * b_1 + (1-b_1) * \sqrt{\alpha^2 + \left(\frac{1-b_1}{b_1}\right)^2 - 1}}{\alpha^2 + \left(\frac{1-b_1}{b_1}\right)^2} & \text{for } \frac{\Delta p}{p_1} < \frac{1}{s} \end{cases} \quad (13)$$

де α – допоміжна змінна, виражена у вигляді співвідношення:

$$\alpha = \frac{C_1}{b_1 * C_2} \quad (14)$$

Значення результуючого критичного відношення тисків b_w в обох випадках визначається за формулою:

$$\frac{1 - b_w}{C_w^2} = \frac{1 - b_1}{C_1^2} + \frac{1 - b_2}{C_2^2} \quad (15)$$

Важливо, що у випадку рівняння (13) послідовність підключення пневматичних елементів впливає на розраховане результуюче значення. Це означає, що $C_{w1,2} \neq C_{w2,1}$.

2.4. Розроблена методика визначення коефіцієнтів витрати

Щоб визначити властивості потоку пневморезистора, необхідно знати його характеристики потоку, тобто залежність масової витрати q_m або об'ємної витрати газу q_v , що протікає через його канали, від факторів, що зумовлюють цей потік.

У таблиці 2.1. наведені каталожні дані пневматичних компонентів провідних виробників (клапани, розподільні клапани, човникові приводи, пневмопроводи). Параметри витрати серед наданих виробниками даних відсутні. З цим типом даних каталогу компонентів неможливо реалізувати відому модель повітряного потоку. Для розрахунку часу роботи пневматичних систем з використанням відомих моделей повітряного потоку необхідна інформація про коефіцієнти потоку. У зв'язку з вищевикладеним розроблено авторський стенд для перевірки параметрів потоку пневматичних елементів для пневматичної спускової системи пускової установки, що розглядається. Ці результати випробувань заповнюють відсутність інформації про параметри потоку використовуваних пневматичних елементів. Знання параметрів потоку дозволить проводити розрахунок пневмосистем і порівнювати варіанти рішення вже на етапі проектування рішення пневмосистеми.

Розроблений стенд (рис. 2.3 і 2.5) використовувався для визначення

		Трачов М.О.			МД.МА8214.01.00.00 ПЗ	Лист
		Коваль О.Д.				
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		34

параметрів потоку C і b компонентів системи пневморозпуску (перекидний клапан 5/2, впускні канали в корпусі човникового приводу, пневмоз'єднувальні трубопроводи). При випробуваннях на стенді величина тиску подачі визначається за допомогою редукційного клапана. Під час експерименту визначають значення масової витрати qm або об'ємної витрати qV (витратомір), значення температури T_0 (термометр), значення статичного тиску p_1 (манометр) в перед випробувальним елементом і статичний тиск p_2 позаду елемента (елементи потоку) вимірюються для тиску навколишнього середовища p_a (елементи нагнітання).

Таблиця 4.1. Перелік каталожних параметрів пневматичних елементів.

Producer	Parameter
OBREiUP	Compressed air, max. working pressure
Hafner	Nominal flow [l/min], operating pressure
Parker	Operating pressure [bar], operating time [ms]
Hoerbiger	Nominal flow [l/min], working pressure [bar]
Marani	Working pressure [bar]

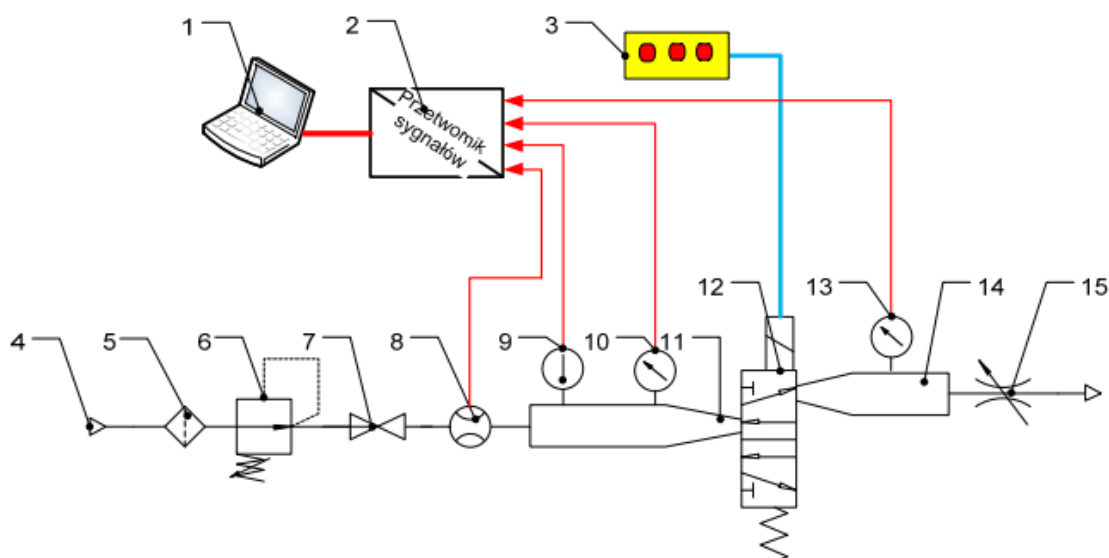


Рис. 2.3. Схема вимірювального стенду: 1—комп'ютер, 2—реєстратор сигналів від вимірювальних датчиків, 3—панель керування, 4—стиснене повітря, 5—фільтр, 6—редукційний клапан, 7—запірний клапан джерела, 8—витратомір, 9—датчик температури, 10—датчик тиску, 11—вимірювальна трубка, 12—досліджуваний вентиль, 13—датчик тиску, 14—вимірювальна трубка на виході з досліджуваного елемента, 15—дросельна заслінка.

У випадку стенду для випробування проточних елементів дросель

використовується для зміни значення тиску p_2 за випробуванням елементом. Для відливних елементів параметри потоку змінюються за допомогою редуктора. Представлений стенд побудований на основі нормативних вимог, а його структура є оригінальним надбанням авторів.

На рис. 2.5. зображено вбудовану систему обробки та реєстрації даних вимірювань, яка використовується для вимірювання параметрів потоку на стенді для випробувань пневматичних елементів. Вимірювальна система складається з наступних елементів: датчик тиску TPXG16, датчик температури TP 995, витратомір EE7471-A6D2DN15 HA079015, перетворювач аналогового сигналу PSA-24mA, блок живлення і комп'ютер.

Зазначені пневматичні елементи були відібрані для стендових випробувань у таблиці 2.2. З окремих пневматичних елементів можна налаштувати варіанти пневмоспускової системи пускової установки. Для золотникових клапанів 5/2 параметри потоку вимірювалися в двох можливих робочих станах: у стані без сигналу струму на котушці керування та з сигналом струму на котушці керування.

Дослідження проводили за наступною розробленою методикою дослідження: за допомогою пульта керування заповнюють основний резервуар джерела стисненого повітря до робочого тиску (0,6 або 0,8 МПа). За допомогою редукційного клапана $p_1 = 0,4$ МПа встановить постійний тиск на вході. Використовуйте дросельну заслінку, щоб зменшити тиск на виході p_2 , поки його подальше зниження не перестане збільшуватися масова витрата q_m^* (на практиці це означає досягнення критичної витрати). Зчитайте значення температури T_1^* , тиску на вході p_1^* , витрати q_m^* , і та тиску на виході p_2^* . Закрийте дросельну заслінку, щоб швидкість потоку q_m досягла значення 80% від критичного потоку q_m^* . Використовуйте редукційний клапан, щоб підтримувати постійне значення тиску p_1 під час випробування. Зчитайте значення: витрати q_m , температури T_1 та зміни значень тиску Δp ($\Delta p = p_1 - p_2$). Повторюємо операції для значення витрати q_m , що дорівнює 60% (40%, 20%) від значення витрати критичного потоку q_m^* .

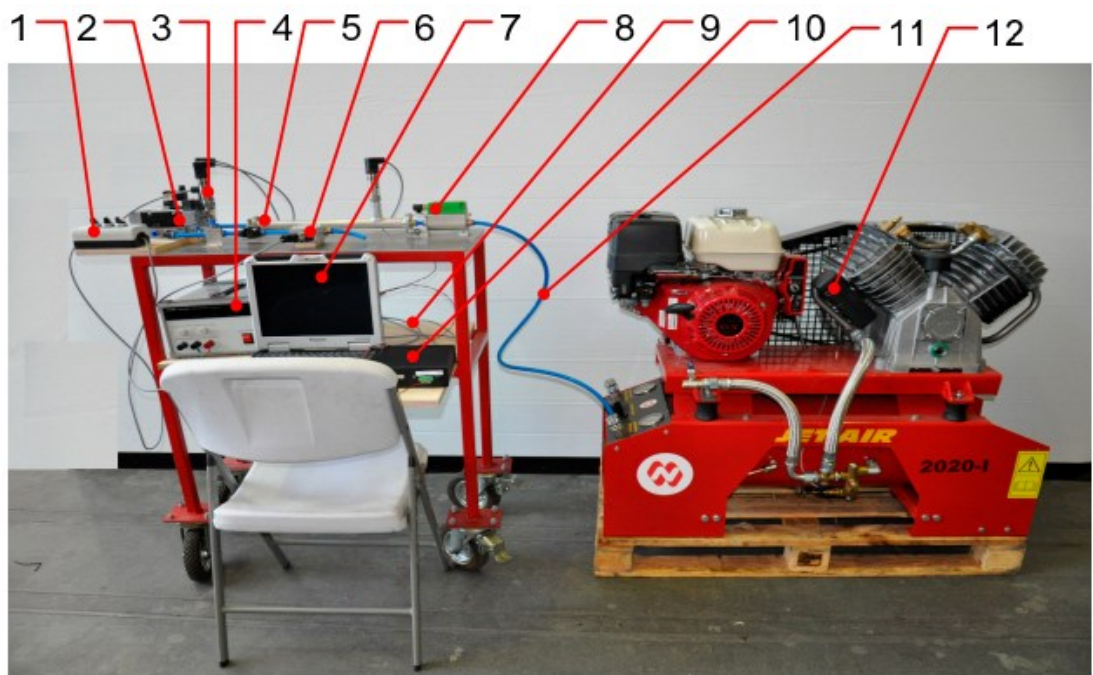


Рис. 2.3. Стенд для перевірки параметрів потоку пневмoeлементів: 1— панель управління, 2—досліджуваний колектор, 3—датчик тиску, 4—лабораторне джерело живлення, 5—вимірювальний патрубок, 6—запірний клапан, 7— комп'ютер, 8 — витратомір, 9—сигнальний і силовий кабелі, 10—пульт керування, 11—пневмотруба, 12—компресор.

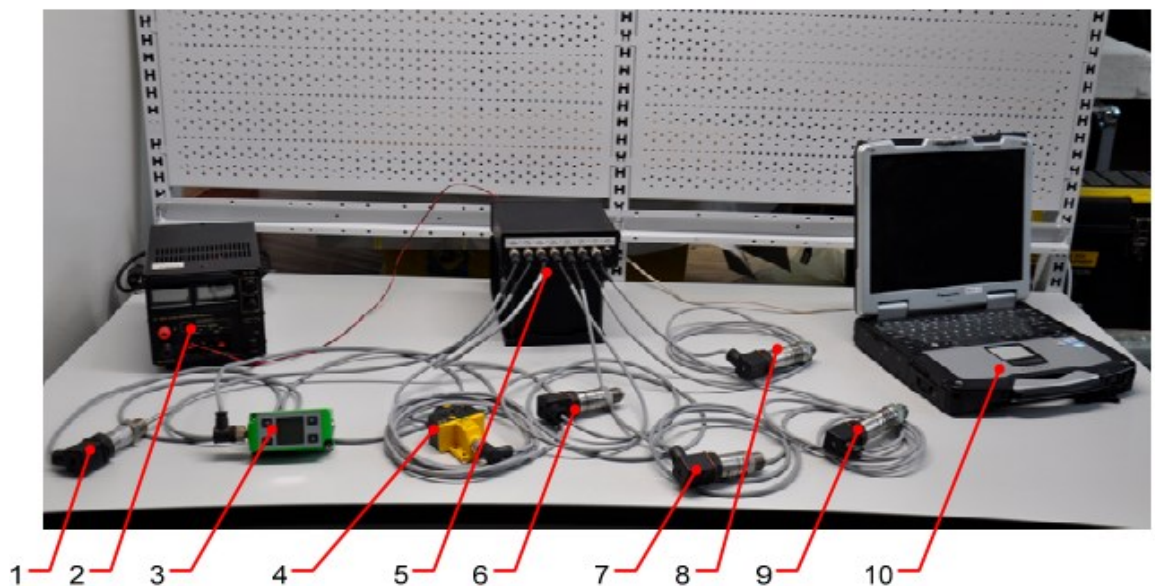


Рис. 2.5. Вимірювальна система з набором датчиків: 1—датчик температури ТР 995/А, 2—блок живлення, 3—термодинамічний витратомір ЕЕ741, 4—датчик кутового положення, 5—перетворювач аналогового сигналу РSА-24mA, 6, 7, 8, 9—датчики тиску ТРХG16, 10—комп.

Таблиця 2.2. Перелік каталожних параметрів пневматичних елементів.

O.n.	Pneumatic Element	Type/Number/Dimensions
1	Valve 5/2 PARKER	341NO3
2	Valve 5/2 PARKER	341NO3 with tube (Ø 8 mm)
3	Valve 5/2 OBREiUP G1/8	611.012.949
4	Valve 5/2 OBREiUP G1/2	611.012.964
5	Pneumatic conduit	12 × 8 × 5 (Øext × Øint × len.)
6	Pneumatic conduit	12 × 8 × 15 (Øext × Øint × len.)
7	Pneumatic conduit	8 × 6 × 5 (Øext × Øint × len.)
8	Pneumatic conduit	6 × 6 × 15 (Øext × Øint × len.)

Під час випробувань для кожного з досліджуваних елементів реєстрували зміну тиску (перед і після випробуваного елемента) та зміну масової витрати повітря інтенсивності.

Висновок:

Поставлені задачі на це розділ виконано. Проаналізовано схему та проведені необхідні дослідження, що дає нам привід переходити до наступного розділу для написання необхідних вимог для правильної експлуатації системи.

РОЗДІЛ 3. БЕЗПЕЧНА ЕКСПЛУАТАЦІЯ ТА ОБСЛУГОВУВАННЯ ОБ'ЄКТА

По-перше, слід зазначити, що згідно з розпорядженням Кабінету Міністрів України від 26.10.2011 № 1107 "Про затвердження Порядку видачі дозволів на виконання робіт підвищеної небезпеки та на експлуатацію (застосування) машин, механізмів, устаткування підвищеної небезпеки", використання та обслуговування небезпечних механізмів (незалежно від того, чи вони стаціонарні, рухомі чи пересувні), а також їх монтаж, демонтаж, налагодження, ремонт, технічне обслуговування та реконструкція можливі лише за наявності декларації відповідності матеріально-технічної бази вимогам законодавства з питань охорони праці.

Перед початком використання механізмів важливо переконатися, що обладнання працює належним чином. Норми експлуатації комплексів встановлені у Правилах будови та безпечної експлуатації техніки, затверджених наказом ДСНС.

3.1. Вимоги щодо модифікації (реконструкції та модернізації) обладнання під тиском

1. Технічна документація на модифікацію (реконструкцію та модернізацію) має містити технічні умови.

Залежно від виду модифікації (реконструкції та модернізації) і обсягу змін, що вносяться, має надаватися нова настанова з експлуатації, а також інструкція з технічного обслуговування, інструкція з монтажу, пуску, регулювання та обкатки виробника обладнання під тиском або доповнення чи зміни до існуючих, розроблені відповідно до вимог технічних умов на модифікацію (реконструкцію та модернізацію).

2. Після проведення модифікації (реконструкції та модернізації) суб'єкт господарювання, який проводив ці роботи, повинен оснастити обладнання під тиском маркувальною табличкою, укріпленою на видному місці, із зазначенням:

назви суб'єкта господарювання, який проводив модифікацію (реконструкцію чи модернізацію), і його знак для товарів і послуг (за наявності);

позначення обладнання під тиском після модифікації (реконструкції та модернізації) відповідно до технічних умов на модифікацію (реконструкцію чи модернізацію);

дати проведення модифікації (реконструкції та модернізації) із зазначенням

		Трачов М.О.			МД.МА8214.01.00.00 ПЗ	Лист
		Коваль О.Д.				39
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		

місяця і року;

позначення технічних умов на модифікацію (реконструкцію чи модернізацію).

3. Після проведення модифікації (реконструкції та модернізації) суб'єкт господарювання, який виконував відповідні роботи, вносить до журналу нагляду (паспорту) відомості про виконані роботи із зазначенням усіх змін параметрів, характеристик і показників, відомості про застосовані матеріали із зазначенням номерів документів про їх якість.

Якщо ці дані неможливо відобразити, до нового журналу нагляду додається як додаток попередній журнал нагляду (паспорт).

Документи, що підтверджують якість застосованих матеріалів і зварювання, зберігаються у суб'єкта господарювання, який проводив модифікацію (реконструкцію чи модернізацію), а їх копії разом із журналом нагляду (паспортом) - протягом строку служби обладнання під тиском.

Крім того, додається і зберігається разом із журналом нагляду (паспортом) така документація:

довідка про характер модифікації (реконструкції та модернізації), підписана відповідальною особою організації, що розробила технічну документацію на модифікацію (реконструкцію та модернізацію);

креслення загального вигляду з основними габаритними розмірами, якщо вони змінилися, та новими технічними характеристиками в разі їх зміни;

копії документів (або виписки з них) про якість металу, що використовувався під час модифікації (реконструкції та модернізації);

відомості про присадний матеріал (результати випробування наплавленого металу чи копії документів (або виписки з них) про якість електродів);

відомості про результати контролю якості зварювання металоконструкції.

4. Після модифікації (реконструкції та модернізації) обладнання під тиском проводяться приймальні випробування суб'єктом господарювання, який проводив модифікацію (реконструкцію чи модернізацію), відповідно до вимог технічних умов на модифікацію (реконструкцію та модернізацію). Допускається проводити приймальні випробування випробувальними лабораторіями (власника обладнання під тиском, суб'єкта господарювання, що проводив модифікацію (реконструкцію та модернізацію), чи іншого суб'єкта господарювання або призначеного органу з оцінки відповідності), органами з інспектування, акредитованими у відповідних сферах з акредитації.

За результатами випробувань складаються технічні звіти (протокол випробувань, акт приймання), які затверджуються в порядку, визначеному технічними умовами на модифікацію (реконструкцію та модернізацію), або залученими до проведення випробувань акредитованими випробувальними лабораторіями, органами з інспектування. Результати випробувань

		Трачов М.О.			МД.МА8214.01.00.00 ПЗ	Лист 40
		Коваль О.Д.				
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		

відображаються в журналі нагляду (паспорті) обладнання під тиском. До журналу додаються акт і протокол приймання.

На підставі позитивних результатів випробувань, зазначених у протоколі випробувань, технічних звітах, суб'єкт господарювання, який проводив модифікацію (реконструкцію чи модернізацію), складає декларацію про відповідність.

3.2. Вимоги щодо матеріалів та виробів

1. Матеріали, що застосовуються під час ремонту, модифікації (реконструкції та модернізації) обладнання під тиском, мають відповідати зазначеним у технічних умовах на ремонт, модифікацію (реконструкцію чи модернізацію) обладнання під тиском.

2. Якість матеріалу має бути підтверджена документом виробника цих матеріалів про їх якість.

За відсутності документа про якість матеріалу дозволяється його застосовувати після випробування.

Вибір матеріалу здійснюється з урахуванням нижніх граничних значень температур навколишнього середовища для робочого та неробочого станів обладнання під тиском. Дані про застосований матеріал під час ремонту, модифікації (реконструкції та модернізації) зазначаються в журналі нагляду (паспорті) обладнання під тиском.

3.3. Безпечна експлуатація

Вимоги до безпечної експлуатації механізмів включають наступне:

- Експлуатація механізмів повинна відповідати настановам з експлуатації механізмів та Правилам.
- Частина території навколо механізмів, де може бути небезпечно для, повинна бути заборонена для доступу або чітко відзначена.
- На механізмі повинно бути достатня кількість персоналу для безпечної роботи.
- Інформація для робітників має бути доступною у вигляді правил користування механізмом, що формуються чітко і зрозуміло, щоб уникнути різних тлумачень.
- Повідомлення та знаки, розміщені на обладнанні, повинні бути чіткими і зручними для читання персоналом.

		Трачов М.О.			МД.МА8214.01.00.00 ПЗ	Лист
		Коваль О.Д.				
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		41

- Правила користування механізмом також мають бути розміщені у кабіні оператора.
- Роботодавець повинен забезпечити своєчасний ремонт механізмів та додаткового обладнання. Механізми в експлуатації повинні періодично проходити технічний огляд не рідше одного разу на 12 місяців.
- Роботи з монтажу, ремонту та підтримання механізмів, можуть виконувати працівники з відповідними посвідченнями.
- Працівники, які займаються обслуговуванням та ремонтом механізмів, повинні мати відповідну кваліфікацію згідно з видом робіт, які вони виконують.

3.4. Організація технічної служби

В контексті безпечної експлуатації пневматичного обладнання важливо встановити ефективну систему технічного обслуговування. Ось порядок проведення щоденних і періодичних перевірок для забезпечення безпеки та надійності пневматичного обладнання.

Щоденний огляд:

- Проводьте щоденні перевірки на перед запуском та після завершення роботи.
- Візуально контролюйте стан пневмообладнання, виявляючи очевидні зміни.
- Визначайте явні ознаки стану системи або її частин, наприклад, порядок виконання ланцюга, швидкість руху вихідних з'єднань виконавчого механізму, використовуючи індикатори або інші прилади контролю.
- Виявляйте ознаки, які якісно характеризують роботу системи, такі як рівень шуму від витяжного повітря або ударів.
- Результати щоденних перевірок оформляються протоколом, а інформація про виявлені відхилення та заходи щодо їх усунення передається до відповідних служб. Ця інформація включає плани планових перевірок, інформацію про запчастини та інше.

Періодичний огляд:

		Трачов М.О.			МД.МА8214.01.00.00 ПЗ	Лист
		Коваль О.Д.				
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		42

- Проводьте періодичні перевірки з інтервалом в 3, 6 або 12 місяців, залежно від типу пневматичного обладнання, робочих характеристик окремих елементів і умов роботи.
- Під час планової перевірки перевіряйте роботу повітряних двигунів та інших пристроїв.
- Визначайте наявність витоків і перевіряйте електричні лінії для пневматичних пристроїв з електричним керуванням.
- Перевіряйте ступінь забруднення фільтра та надійність різьбового з'єднання.
- Аналіз результатів цих перевірок слід включати в себе плани планових перевірок, інформацію про запчастини та інші дані, які використовуються для приготування заходів щодо збільшення ефективності обслуговування та підвищення безпеки експлуатації пневматичного обладнання.

3.5. Усунення несправностей

Так само, як і будь-який інший технічний пристрій, пневматичний привід може виявити несправності, які потрібно вчасно локалізувати та усунути для забезпечення нормальної роботи системи. Несправності можуть бути різного характеру, і їх можна класифікувати на раптові та поступові.

Раптові несправності:

- Характеризуються різкою зміною заданих значень параметрів приводу, що може привести до зупинки або перерви в послідовності виконання технологічних операцій.
- Якщо несправність є очевидною, експлуатація об'єкта припиняється для проведення ремонтних робіт.

Поступові несправності:

- Характеризуються поступовим змінюванням значень параметрів приводу.
- Можуть бути пов'язані зі зносом елементів, порушенням параметрів або зниженням ефективності регулюючих пристроїв, витокami тощо.
- Поступовий вихід з ладу може не супроводжуватися видимою

		Трачов М.О.			МД.МА8214.01.00.00 ПЗ	Лист
		Коваль О.Д.				
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		43

несправністю, але призводить до погіршення якості та/або зменшення обсягу виробництва.

Важливо своєчасно виявляти та усувати причини поступових відмов для забезпечення нормальної роботи системи та зменшення кількості аварійних ремонтів.

Час, необхідний для ремонту пневматичного приводу, складається з двох компонентів: часу на пошук несправності та часу на усунення несправності. Застосування методів технічної діагностики та наявність індикаторів у пневматичних елементах може значно скоротити час на усунення несправностей.

Показники тиску використовуються для вказівки налаштувань тиску на приладах індикації та положення запірно-регулюючих елементів розподільників. Світлодіоди на електромагнітних механізмах розподільників також вказують на стан системи. Для дублікатів існують пристрої, які призначені для ручної заміни пневматичних та електропневматичних розподільників, а також модулів годинника та інших компонентів.

Щодо пневмоприводу можна виділити два способи усунення несправностей. Перший - алгоритмічний, коли виправлення несправностей відбувається за певним алгоритмом, використовуючи рекомендації, отримані з досвіду роботи з пневмоприводами. Якщо схема приводу складна, її можна розділити на частини для полегшення пошуку несправностей, враховуючи функції, порядок операцій та інші критерії.

Під час пошуку несправностей рекомендується спочатку провести зовнішній огляд для перевірки стану оператора та машини. Паралельно слід уникати нещасних випадків і перевіряти роботу кнопок та перемикачів, щоб уникнути пошкоджень пристроїв.

Також важливо перевірити, чи відповідає тиск стисненого повітря на вході в пневмопривод нормативам технічної документації. При підключенні додаткових навантажень до системи із забезпеченням повітря можуть виникнути проблеми, такі як тайм-аути або падіння тиску, які можуть вплинути на роботу приводу. Також слід перевірити, чи електричні пристрої знаходяться під напругою для безпечного використання пристроїв з електричним керуванням.

Перевірте стан труб, зокрема гнучких, і переконайтеся, що немає жодних перегинів або пошкоджень. Обов'язково впевніться в відсутності дефектів і перевірте щільність з'єднань.

		Трачов М.О.			МД.МА8214.01.00.00 ПЗ	Лист 44
		Коваль О.Д.				
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		

Рекомендується виконати ремонт пневмоприводу через заміну пневмоагрегатів. Це сприяє скороченню часу ремонту виробничих систем та гарантує високу якість відновлення, оскільки ремонт пневматичних пристроїв, що вийшли з ладу, проводиться в спеціалізованому місці.

При розбиранні та складанні пневматичних пристроїв під час ремонту слід дотримуватися таких правил:

- Змінюйте кільця ущільнювачів та прокладки на контактних поверхнях і в області стику.
- При від'єднанні трубопроводів, особливо гнучких, рекомендується враховувати можливі помилки при подальшому монтажі пневмообладнання, навіть якщо від'єднується лише один кінець трубопроводу.

Під час монтажу та демонтажу пневматичних пристроїв важливо приділяти увагу запобіганню потраплянню шкідливих речовин у внутрішні приміщення.

Висновок:

З урахуванням виявлених несправностей та проблем у роботі пневматичного приводу, рекомендується провести ремонт шляхом заміни пневмоагрегатів. Це рішення пропонується з двох ключових причин. По-перше, такий метод ремонту дозволить значно скоротити час відновлення роботи виробничих систем. По-друге, він забезпечить вищу якість ремонту, оскільки виправлення несправностей пневматичних пристроїв буде проводитися в спеціалізованому місці. Це сприятиме оптимальному функціонуванню та тривалому терміну служби пневматичного обладнання.

		Трачов М.О.			МД.МА8214.01.00.00 ПЗ	Лист
		Коваль О.Д.				
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		45

РОЗДІЛ 4. РОЗРОБЛЕННЯ СТАРТАП-ПРОЕКТУ

Мета цього розділу стартап-плану заключається в проведенні глибокого бізнес-аналізу з метою визначення ключових можливостей для успішної реалізації на ринку. Окрім цього, цей розділ спрямований на ідентифікацію різних напрямків та стратегій, які можуть бути використані для ефективного впровадження стартап-проекту.

Під час бізнес-аналізу буде досліджено ринкові тенденції, конкурентні переваги, потенційні ризики та можливості, а також визначені чинники, що впливають на успішність впровадження бізнес-ідеї. Ключовою метою є створення об'єктивного висновку про життєздатність та перспективи розвитку стартапу, а також визначення оптимальних шляхів його втілення на ринку.

4.1. Описання проекту

Таблиця 4.1. надає вичерпну інформацію щодо ключових аспектів проекту. Нижче розглянуто детально кожен стовпчик таблиці:

- **Зміст проекту:** У цьому стовпчику подано загальний огляд основних компонентів та характеристик розробленого проекту. Можливо, включає технічні специфікації, функціональні особливості та інші ключові параметри.
- **Сфери застосування розробленого приладу:** Описується, де та як може бути використаний розроблений пристрій. Визначається цільова аудиторія та конкретні сценарії використання.
- **Вигода покупцю:** Виділяються переваги та позитивні аспекти використання даного приладу. Це можуть бути технічні переваги, економічні вигоди, покращення ефективності чи інші позитивні характеристики.

Ця таблиця призначена для надання повної картини щодо переваг та обмежень проекту, щоб допомогти зацікавленим сторонам прийняти інформоване рішення щодо його реалізації чи використання.

		Трачов М.О.			МД.МА8214.01.00.00 ПЗ	Лист
		Коваль О.Д.				
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		46

Таблиця 4.1. Зміст стартап-проекту

Зміст ідеї	Напрямки застосування	Вигоди для користувача
Модернізація комплексу для запуску дрона	1. Доставка товарів	Поліпшення якості та можливостей комплексу
	2. Подвійне призначення	

Таблиця 4.1. Визначення сильних, слабких та нейтральних характеристик ідеї проекту

№ п/ п	Техніко-економічні характеристик и ідеї	(потенційні) товари/концепції конкурентів			W (слабка сторона)	N (нейтральна сторона)	S (сильна сторона)
		Мій проект	Конкурент1	Конкурент2			
1.	Мобільність	так	ні	так			+
2.	Надійність	так	ні	ні			+
3.	Компактність	так	так	ні		+	

Аналіз слабких, нейтральних та сильних сторін техніко-економічних характеристик дозволяє зробити висновок щодо актуальності розробки вакуумних ежекторів, які мають потенціал забезпечити необхідну потужність вакууму. Зрозуміло, що на ринку є попит на реалізацію цієї ідеї.

4.2. Технологічний аудит ідеї проекту

У зв'язку з тим, що наша концепція пов'язана із модернізацією пускової установки для дрона, аудит може включати наступні варіанти вирішення:

1. Вдосконалення ефективності та надійності пускової установки.
2. Врахування можливостей автоматизації процесу запуску дрона.
3. Оцінка економічної доцільності модернізації в порівнянні з придбанням нової установки.
4. Врахування стандартів безпеки та відповідності регуляторним вимогам.
5. Визначення впливу модернізації на технічні характеристики та продуктивність дрона.
6. Розгляд можливостей для використання новітніх технологій у пусковій установці.

		Трачов М.О.			МД.МА8214.01.00.00 ПЗ	Лист
		Коваль О.Д.				
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		47

7. Врахування екологічних аспектів модернізації.

4.3. Розрахунок ринку для запуску проекту

На цьому етапі важливо глибше вивчити ринкові можливості, які можуть виявитися перспективними під час комерційної реалізації проекту. Це включає аналіз потенційних сегментів ринку, визначення цільової аудиторії, оцінку кон'юнктури ринку та ідентифікацію потреб споживачів. Також важливо виявити можливі помилки, які можуть виникнути під час впровадження проекту і призвести до зменшення його оборотів. Це включає в себе аналіз можливих ризиків, врахування факторів, що можуть вплинути на ефективність проекту, і розробку стратегій мінімізації можливих негативних наслідків.

Розглядання напрямків плану розвитку системи передбачає визначення конкретних кроків і заходів, які можна прийняти для оптимізації та покращення проекту в майбутньому. Це може включати в себе розширення асортименту продукції, вдосконалення сервісу, ефективнішу маркетингову стратегію та інші заходи, спрямовані на забезпечення стійкого успіху на ринку.

Зазначений аналіз попиту на ринку, розуміння потреб клієнтів і аналіз конкурентів є ключовими елементами для формулювання стратегії та визначення унікальних продажових пропозицій, що визначатимуть успіх проекту в конкурентному середовищі.

		Трачов М.О.			МД.МА8214.01.00.00 ПЗ	Лист
		Коваль О.Д.				
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		48

4.3.1. Аналіз попиту

Тут ми розраховуємо такі фактори: наявність попиту, обсяг, розвиток ринку (табл. 4.3.).

Таблиця 4.3. Попередня характеристика потенційного ринку стартап-проекту

№ п/ п	Показники стану ринку (найменування)	Характеристика
1	Кількість головних гравців, од	2
2	Загальний обсяг продаж, грн/ум.од	20-25 тис. дол.
3	Динаміка ринку (якісна оцінка)	Зростає
	Наявність обмежень для входу (вказати характер обмежень)	Сертифікація
	Середня норма рентабельності в галузі (або по ринку), %	27%

З даної таблиці ми можемо зрозуміти, що конкуренція на ринку не дуже велика, тому це сильно полегшує входження на ринок.

4.3.2. Визначення основних клієнтів

Надалі визначаються потенційні групи клієнтів, їх характеристики, та формується орієнтовний перелік вимог до товару для кожної групи (табл. 4.4.).

Таблиця 4.4. Характеристика потенційних клієнтів стартап-проекту

№ п/п	Потреба, що формує ринок	Цільова аудиторія (цільові сегменти ринку)	Відмінності у поведінці різних потенційних цільових груп клієнтів	Вимоги споживачів до товару
	Доставка вантажів дорнами	Волонтерські організації, логістичні компанії, ООН	Різні габарити	Надійність Мобільність Компактність

4.3.3. Аналіз ринкового середовища

Після визначення потенційних груп клієнтів проводиться аналіз ринкового середовища: складаються таблиці факторів, що сприяють ринковому впровадженню проекту, та факторів, що йому перешкоджають (табл. № 4.5.-4.6.). Фактори в таблиці подавати в порядку зменшення значущості.

Таблиця 4.5. Фактори загроз

<i>№ n/n</i>	<i>Фактор</i>	<i>Зміст загрози</i>	<i>Можлива реакція компанії</i>
1	Собівартість	Вартість деталей	Догляд за комплексом
2	Вихід з ладу	Вартість ремонту	Щоденний технічний огляд

Таблиця 4.6. Фактори можливостей

<i>№ n/n</i>	<i>Фактор</i>	<i>Зміст можливості</i>	<i>Можлива реакція компанії</i>
1	Мобільність	Пересування установки	Можливість розгорнути в потрібній точці
2	Збільшення ваги БПЛА	Збільшення граничної ваги	Можливість використовувати БПЛА з більшою вагою

4.3.4. Аналіз пропозиції

Надалі проводиться аналіз пропозиції: визначаються загальні риси конкуренції на ринку (табл. 4.7.).

Таблиця 4.7. Ступеневий аналіз конкуренції на ринку

Ступеневий аналіз конкуренції на ринку		
Особливості конкурентного середовища	В чому проявляється дана характеристика	Вплив на діяльність підприємства (можливі дії компанії, щоб бути конкурентоспроможною)
1. Вказати тип конкуренції (монополія/олігополія/монополістична/чиста)	Монополістична	При монополістичній конкуренції легко відкривати нове підприємство (і так само просто його закрити)
2. За рівнем конкурентної боротьби (локальний/національний/...)	Національна	Є великий вплив держави, що утруднює створення нової компанії через велику конкуренцію.
3. За галузевою ознакою (міжгалузева/внутрішньогалузева)	Внутрішньогалузева	Наявне зниження витрат виробництвом, при цьому ефективність виробництва підвищена
4. Конкуренція за видами товарів (товарно-родова/товарно-видова/між бажаннями)	Товарно-родова	Наявна велика конкуренція між різними видами товарів, які при цьому виконують подібні функції
5. За характером конкурентних переваг (цінова/нецінова)	Цінова	Економія ресурсів впродовж процесу роботи (що є головною конкурентною перевагою)
6. За інтенсивністю (марочна/не марочна)	Марочна	Компанія розглядає своїх конкурентів, які пропонують подібний товар тим же цільовим покупцям

4.3.5. Детальний аналіз конкуренції в галузі

Після аналізу конкуренції проводиться більш детальний аналіз умов конкуренції в галузі (за моделлю 5 сил М. Портера, додаток А) (табл. 4.8.).

Таблиця 4.8. Аналіз конкуренції в галузі за М. Портером

Складові аналізу	Прямі конкуренти в галузі	Потенційні конкуренти	Постачальники	Клієнти	Товари-замінники
	Майже відсутні	Майже відсутні	Майже повністю залежні	Сертифікація та гарантія	Конкуренція зростає

За результатами аналізу таблиці робиться висновок щодо принципової можливості роботи на ринку з огляду на конкурентну ситуацію. Також робиться висновок щодо характеристик (сильних сторін), які повинен мати проект, щоб бути конкурентоспроможним на ринку. Другий висновок враховується при формулюванні переліку факторів конкурентоспроможності у п. 3.6.

4.3.6. Аналіз конкурентних факторів

На основі аналізу конкуренції, проведеного в п. 4.3.5, а також із урахуванням характеристик ідеї проекту, вимог споживачів до товару та факторів маркетингового середовища визначається та обґрунтовується перелік факторів конкурентоспроможності. Аналіз оформлюється за табл. 4.9.

Таблиця 4.9. Обґрунтування факторів конкурентоспроможності

<i>n/n</i>	<i>Фактор конкурентоспроможності</i>	<i>Обґрунтування (наведення чинників, що роблять фактор для порівняння конкурентних проектів значущим)</i>
	Унікальність	Важливо створювати унікальний продукт в умовах монополістичної конкуренції
	Ціна	Ціна завжди зверне увагу потенційного покупця
	Репутація	Репутація один з ключових факторів довіри до компанії

4.3.7. Складання SWOT-аналізу

Останнім етапом аналізу ринку для реалізації перспективних можливостей є створення SWOT-таблиці. Цей інструмент дозволяє систематизувати і поєднати інформацію про сильні і слабкі сторони, можливості та загрози, аналізуючи їх на основі обраного ринкового контексту. Крім того, враховуються переваги та недоліки продукту.

Невдалий вихід на ринок і можливості можуть виникнути в результаті впливу ринкового тиску. Це може бути викликано конкуренцією, змінами у попиті споживачів, технологічними змінами чи іншими факторами, що впливають на успішність введення продукту на ринок. Очікувані результати варто узгоджувати із стратегією, щоб максимально ефективно використовувати потенціал можливостей і водночас зменшити вплив загроз.

SWOT-аналіз є корисним інструментом для розуміння внутрішніх і зовнішніх факторів, що впливають на успіх проекту на ринку, і допомагає визначити стратегічні кроки для його оптимізації. Таблиця 4.10. SWOT-аналіз стартап-проекту

Таблиця 4.10. SWOT-аналіз стартап-проекту

Сильні сторони: Оригінальна ідея Підвищені характеристики	Слабкі сторони: Сировина Невеликі фінансові ресурси на старті
Можливості: Збільшення продажів	Загрози: Недостатньо сировини Можливе зростання цін на сировину

4.3.8. Як найбезпечніше заходити на ринок

Підбивши підсумки, вони розробили план дій для впровадження стратегії на ринку. Цей план включає конкретний перелік заходів, які дозволять їм ефективно впроваджувати та реалізовувати свою стратегію на ринку. При розробці плану враховані потенційні ініціативи, які можуть бути запропоновані конкурентами на ринку. Це допоможе їм краще позиціонувати свої продукти та послуги, а також адаптуватися до змін у конкурентному середовищі, забезпечуючи успішне

		Трачов М.О.			МД.МА8214.01.00.00 ПЗ	Лист
		Коваль О.Д.				
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		53

втілення їхньої стратегії на ринку. (табл. 4.11.).

Таблиця 4.11.Альтернативи ринкового впровадження стартап-проекту

<i>n/n</i>	<i>Альтернатива (орієнтовний комплекс заходів) ринкової поведінки</i>	<i>Ймовірність отримання ресурсів</i>	<i>Строки реалізації</i>
	Реклама	Збільшення продажів в регіоні	1 рік
	Вихід на міжнародний ринок	Перехід на міжнародний рівень торгівлі	3 роки
	Збільшення виробничих потужностей	Можливість виробляти більше товару	2 роки

4.4. Подання на вивчення ринкової стратегії проекту

4.4.1. Яку правильно обрати стратегію для входження на ринок

Оцінка трьох груп

Таблиця 4.12. Вибір цільових груп потенційних споживачів

<i>№ n/n</i>	<i>Опис профілю цільової групи потенційних клієнтів</i>	<i>Готовність споживачів сприйняти продукт</i>	<i>Орієнтовний попит в межах цільової групи (сегменту)</i>	<i>Інтенсивність конкуренції в сегменті</i>	<i>Простота входу у сегмент</i>
1	Логістичні компанії	+	Високий	30%	Середня
2	Волонтерські організації	+	Високий	30%	Середня

Які цільові групи обрано: обидві групи підходять

4.4.2. Визначення основної стратегії розвитку.

Стратегії охоплення ринкує.

Таблиця 4.13. Визначення базової стратегії розвитку

№	Обрана альтернатива розвитку проекту	Стратегія охоплення ринку	Ключові конкурентоспроможні позиції відповідно до обраної альтернативи	Базова стратегія розвитку
1	Загальний розвиток ринку	Диференційований маркетинг	Унікальність товару дає успішну базу для входу на ринок	Фінансове лідерство
2	Розвиток даного товару	Концентрований маркетинг	Суттєві переваги товару завойовують клієнтів	Стратегія диференціації
3	Максимальне проникнення на ринок	Концентрований маркетинг	Рішення потреб вибраного цільового сегменту	Стратегія спеціалізації

4.4.3. Вибір стратегії на основі конкуренції.

Наступним кроком є вибір стратегії конкурентної поведінки (Таблиця 7.14.)

Таблиця 4.14. Визначення базової стратегії конкурентної поведінки

№ п/п	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, і які?	Стратегія конкурентної поведінки*
1	Ні	Ні	Ні	Стратегія лідеру
2	Ні	Так	Так	Стратегія наслідування лідеру

Після вияснення всіх деталей, я обрав- стратегію лідера

4.5. Розробка маркетингової програми для стартового проекту

4.5.1. Початковий етап

Початковим етапом є створення маркетингової концепції для послуги, яку клієнт буде отримувати. Це вимагає проведення попереднього аналізу конкурентної обстановки.

Таблиця 4.15. Визначення ключових переваг концепції потенційного товару

<i>№ n/n</i>	<i>Потреба</i>	<i>Вигода, яку пропонує товар</i>	<i>Ключові переваги перед конкурентами (існуючі або такі, що потрібно створити)</i>
1	Надійність	Мінімальна вірогідність поломки	Якісний ремонт
2	Мобільність	Можливість переміщати комплекс	Покращений компактний варіант

4.5.2. Визначення граничної суми

Наступним етапом є визначення меж, які слід застосовувати до цінової політики нашого розробленого продукту. Кінцевий розрахунок ціни проводиться під час фінансово-економічного аналізу, що включає аналіз аналогічних товарів або замінників та оцінку доходів наших споживачів.

Таблиця 4.16. Визначення меж встановлення ціни

<i>Рівень цін на товари- замінники</i>	<i>Рівень цін на товари- аналоги</i>	<i>Рівень доходів цільової групи споживачів</i>	<i>Верхня та нижня межі встановлення ціни на товар/послугу</i>
5-6 тис. дол.	20-25 тис. дол.	800 тис. дол.	15-20 тис. дол.

4.5.3. Визначення найкращого способу надання послуги

Наступним кроком є визначення оптимальної системи надання послуг, в рамках якої приймаються рішення щодо:

- послуг, які ми надаємо чи інструментів, які ми використовуємо;
- вибору та обґрунтування розміру та типу сервітуту для каналу доставки;
- вибору та обґрунтування участі посередників.

Таблиця 27. Формування системи збуту

<i>№ п/п</i>	<i>Специфіка закупівельної поведінки цільових клієнтів</i>	<i>Функції збуту, які має виконувати постачальник товару</i>	<i>Глибина каналу збуту</i>	<i>Оптимальна система збуту</i>
	Перспективна сфера в процесі розвитку	Реклама товару та участь у різноманітних ярмарках	Нульового рівня	Складові каналу: виробник відділ збуту покупець

4.5.4. Концепція маркетингової комунікації

Завершальною складовою маркетингової програми є створення концепції маркетингових комунікацій. Ця концепція ґрунтується на передвизначеній позиції, яку визначила спеціальна організація.

Таблиця 438.

Концепція маркетингових комунікацій

Специфіка закупівельної поведінки цільових клієнтів	Функції збуту, які має виконувати постачальник товару	Глибина каналу збуту	Оптимальна система збуту
Оскільки сфера розробки стосується специфічної наукової галузі та/або має дорогий товар, який можуть придбати лише вузьке коло споживачів, які і потребують дані специфічні розробки, які будуть використовувати для свого фінального продукту (серійне машинобудування тощо)	Просування на ринку в даній сфері не потребує реклами на широкий загал, що, в свою чергу, економить фінансовий внесок у рекламу. У даному випадку буде достатньо виділити потенційних покупців і серед них вже з'ясувати, хто з них має потребу в даному виді товарі та хто є платоспроможним	Канал нульового рівня	Даний канал складається із: • виробник, який продає свій товар; • відділ збуту/філії/мережі, через які виробник і продає свій товар; • власне споживач, який купує товар

Висновок:

Після ретельного аналізу можливостей впровадження проекту на ринку виявлено, що технічно його реалізація є можливою. Аналіз сильних та слабких сторін проекту дозволив оцінити ризики, пов'язані з виходом продукту на ринок комплексів для запуску безпілотних літальних апаратів (БПЛА). Ринок комплексів для запуску БПЛА виявився привабливим, оскільки має незаповнені прогалини, які ще не були зайняті аналогічними виробниками. Це свідчить про можливість успішного виходу на ринок. Додатково, аналіз показав, що продукт може займати стабільні позиції в окремих сегментах ринку подібних систем. Таким чином, можна вважати впровадження проекту перспективним, оскільки враховані технічні можливості, наявність незаповнених ринкових прогалин, і потенціал продукту для успішного конкурування відповідно до характеристик сегментів ринку.

ВИСНОВОК ЗА РЕЗУЛЬТАТАМИ ПРОВЕДЕНОЇ РОБИТИ

Детально проаналізовано цикл роботи системи керування та приводу для ідентифікації параметрів, які можна було б оптимізувати.

За результатами теоретичних досліджень вибір було зроблено на користь пневматичної системи та проведено ряд розрахунків та досліджень для модифікації цієї установки.

Після завершення теоретичних та практичних досліджень та реалізації усіх етапів роботи був розроблений та запущений стартап. Цей стартап спрямований на впровадження отриманих інновацій, що призвело до досягнення мети та покращення продуктивності пневматичної системи управління та приводу пускової установки.

Мета наукової роботи була успішно досягнута після ретельного аналізу та оптимізації системи керування та приводу пневматичної пускової установки. В процесі досліджень були розглянуті різні альтернативи комплексів для вибору найбільш ефективного підходу до модифікації.

Список використаних джерел

1. Cesco, N.; Dupas, M.; Renaud, L.; Rossi, C.; Vales, M. The pyronumeric, a new technology to answer to the future launchers challenges. In Proceedings of the 9th European Conference for Aerospace Sciences (EUCASS-3AF), Lille, France, 27 June–1 July 2022.
2. D. Bhatia and R. Aljadiri, "Electromagnetic UAV launch system," 2nd IEEE International Conference on Intelligent Transportation Engineering (ICITE), 2017
3. Dindorf, R.; Wo's, P. Application of the indirect tank method to measure static characteristics of pneumatic valves. *Hydraul. Pneumatyka* 2015, 3, 9–13.
4. F. Pranoto, A. Budiyaanta and G. Prabowo, "Small to Medium UAVs for Civilian Applications in Indonesia" in *Drones - Applications*, InTech Open, DOI: 10.5772/intechopen.70910, 2018.
5. Gan, L.; Fang, X.; Zhang, Z.; Chen, H.; Wei, X. Modular Clustering of UAV Launch System Architecture Based on HDDSM. *Aerospace* 2022, 9, 168. [CrossRef]
6. Grymek, S. *Air Stream Models in Pneumatics*; Publishing House of the Gdańsk University of Technology: Gdańsk, Poland, 2012.
7. Huang, M.; He, C.; Pei, J. Dynamic Analysis and Optimization of Pneumatic Wedge-Shaped Launcher for UAV. *Trans. Nanjing Univ. Aeronaut. Astronaut.* 2018, 35, 866–873.
8. ISO 6358-2:2019; *Pneumatic Fluid Power Components Using Compressible Fluids Determination of Flow-Rate Characteristics*. ISO: Geneva, Switzerland, 1989.
9. ISO 6358-2:2019; *Pneumatic Fluid Power Components Using Compressible Fluids Determination of Flow-Rate Characteristics*. ISO: Geneva, Switzerland, 1989.
10. ISO 8778:2003; *Pneumatic Fluid Power—Standard Reference Atmosphere*. ISO: Geneva, Switzerland, 1990.
11. J. Yin, B. Zhang, L. Zhao, S. Xia, W. Li and T. Zhu, "Simulation and Analysis of Short Rail Launch for UAV with Rocket Booster," 3rd International Conference on Unmanned Systems (ICUS), 2020
12. Jastrzebski, G. Description of the pneumatic work cycle of the starting unit of the UAV launcher. *J. KONES* 2017, 4, 61–70.
13. Jastrzebski, G. Impact of opening time of the take-off pneumatic launcher main valve on take-off pressure losses. *J. KONES* 2016, 23, 175–182.

14. Jurczyk, K. The prospect for the launch of a mini unmanned aerial vehicle. Sci. J. Pol. Nav. Acad. 2018, 1, 1–26. [CrossRef]
15. Kondratiuk, M.; Ambroziak, L. Design and Dynamics of Kinetic Launcher for Unmanned Aerial Vehicles. Appl. Sci. 2020, 10, 2949. [CrossRef]
16. Liu, D.; Liu, G.; Hong, G. Analysis of onboard takeoff and landing characteristics for unmanned aerial vehicles. In Proceedings of the AIAA Modeling and Simulation Technologies Conference, Washington, DC, USA, 13–17 June 2016. [CrossRef]
17. M. Kondratiuk and L. Ambroziak, "Design and Dynamics of Kinetic Launcher for Unmanned Aerial Vehicles," Appl. Sci. 2020
18. Munk, D.J.; Auld, D.J.; Steven, G.P.; Vio, G.A. On the benefits of applying topology optimization to structural design of aircraft components. Struct. Multidiscip. Optim. 2019, 60, 1245–1266. [CrossRef]
19. N. Cheng, X. Gao, L. Wang and Y. Liu, "Design, Analysis and Testing of a Hydraulic Catapult System," IEEE Access 10:1-1, 2022
20. Novaković, Z.; Vasić, Z.; Ilić, I.; Medar, N.; Stevanović, D. Integration of Tactical—Medium Range UAV and Catapult Launch System. Sci. Tech. Rev. 2016, 66, 22–28. [CrossRef]
21. S. Zheng, et al., "An Automated Launch and Recovery System for USVs Based on the Pneumatic Ejection Mechanism," International Conference on Intelligent Robotics and Applications 2019.
22. Saber, Y.; Alsharari, F.; Smarandache, F. An introduction to single-valued neutrosophic soft topological structure. Soft Comput. 2022, 26, 7107–7122. [CrossRef]
23. Saber, Y.; Alsharari, F.; Smarandache, F. An introduction to single-valued neutrosophic soft topological structure. Soft Comput. 2022, 26, 7107–7122. [CrossRef]
24. Sunar and A. Budiya. "Pengujian Performa Payload Video UAV untuk Persiapan Implementasi Pemantauan Kapal Illegal Fishing." (UAV Video Payload Performance Testing for the Preparation of Illegal Fishing Vessel Monitoring Implementation), Indonesian Journal of Electronics and Instrumentation Systems (IJEIS) 2020.
25. Sunar, A. Budiya, P. Broto and A. Utama, "Analyze Angle of the Camera Payload LSU-02 in Mission of Aerial Photo," E3S Web of Conferences, 2019.

26. Szczepaniak, P.; Jó'zko, M. Research of Pneumatic Distributors for Launcher of Unmanned Aerial Vehicle (UAV). J. Konbin 2022, 43, 249–276. [CrossRef] Energies 2022, 15, 8424 17 of 17
27. Taraila Walter, M. Model Based Systems Engineering for a Venture Class Launch Facility. Master's Thesis, Old Dominion University, Norfolk, VA, USA, 2020. [CrossRef]
28. Thanghom, Pinyochon, Narathee, Weng and Surangsee. "Spring Drive UAV Launcher." MDPI Proceedings 2019, 39, 2.
29. Thomas, L.D.; Burris, K. Generational Evolution in Complex Engineered Systems. In Disciplinary Convergence in Systems Engineering Research; Springer: Cham, Switzerland, 2018; pp. 751–764.
30. Yang, F.; Li, G.; Hu, D.; Kagawa, T. A new method for calculating the sonic conductance of airflow through a short-tube orifice. Adv. Mech. Eng. 2017, 2, 1–13.
31. Z. Novaković and N. Medar, "Analysis of a UAV Bungee Cord Launching Device," Scientific Technical Review, Vol.63 No.3, 2013
32. Zhang, M.; Nie, H.; He, Z. Parameter optimization of nose landing gear considering both take-off and landing performance of catapult take-off carrier-based aircraft. Trans. Nanjing Univ. Aeronaut. Astronaut. 2016, 33, 187–198.
33. Zhang, Z.; Peng, Y.; Wei, X.; Nie, H.; Chen, H.; Li, L. Research on parameter matching characteristics of pneumatic launch systems based on co-simulation. Aeronaut. J. 2022, 126, 381–400; [CrossRef]
34. <https://journals.sagepub.com/doi/epdf/10.1177/16878132231189347?src=getftr>
35. <https://www.uav.ee/products/uav-pneumatic-catapult-pl-40/>