

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

**Інститут аерокосмічних технологій
Кафедра авіа- та ракетобудування**

До захисту допущено:

Завідувач кафедри

_____ *Володимир КАБАНЯЧИЙ*

«_____» _____ 20__ р.

**Дипломний проєкт
на здобуття ступеня бакалавра**

**за освітньою програмою «Літаки та вертольоти»
спеціальність 134 «Авіаційна та ракетно-космічна техніка»
на тему: «Катапульта для безпілотного літального апарату»**

Виконав:

студент IV курсу, групи ВЛ-72

Козей Ярослав Миколайович

Керівник:

професор, д.т.н., проф., кафедри АРБ

Сухов Віталій Вікторович

Рецензент:

професор, д.т.н., проф., кафедри СКЛА

Рижков Лев Михайлович

Засвідчую, що у цьому дипломному
проєкті немає запозичень з праць інших
авторів без відповідних посилань.

Студент (ка) _____

Київ – 2021 року

**Національний технічний університет України
“Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського”**

Інститут аерокосмічних технологій

Кафедра авіа- та ракетобудування

Рівень вищої освіти – перший (бакалаврський)

Спеціальність – 134 «Авіаційна та ракетно-космічна техніка»

Освітньо-професійна програма «Літаки і вертольоти»

ЗАТВЕРДЖУЮ

В. о. завідувача кафедри

_____ Володимир КАБАНЯЧИЙ

«___» _____ 2021 р.

ЗАВДАННЯ

на дипломний проєкт студенту

Козею Ярослава Миколайовичу

(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема проєкту « **Катапульта для безпілотного літального апарату** », керівник проєкту Сухов Віталій Вікторович, д.т.н., професор, затверджені наказом по університету від «23» квітня 2021 р. №1061-с

2. Термін подання студентом проєкту 07 червня 2021 р

3. Вихідні дані до проєкту: _____

3.1. Максимальна злітна вага БПЛА 40 кг;

3.2. Мінімальна швидкість запуску 54 км/год;

3.3. Максимальна швидкість запуску 75 км/год;

3.4. Перенавантаження 6;

3.5. Кут запуску 15°.

4. Зміст пояснювальної

записки: _____

4.1. Аналіз існуючих варіанті реалізації катапульт для БпЛА. Постановка завдання.

4.2. Розробка математичної моделі катапulti.

4.3.. Визначення масово-геометричних та динамічних параметрів катапulti.

4.4. Проектувальний розрахунок конструкції катапulti.

4.5. Розробка просторової компонувальної моделі.

4.6. Перевірка запропонованого варіанту конструкції на міцність.

5. Перелік графічного матеріалу (із зазначенням обов'язкових креслеників, плакатів, презентацій тощо): _____

5.1 Огляд аналогів БПЛА та катапульт.

5.2 Методика розрахунку.

5.3 Результати розрахунків.

5.4 Візуально-просторова модель катапульти.

6. Консультанти розділів дисертації

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	завдання прийняв

7. Дата видачі завдання: 25 лютого 2021 р

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва етапів виконання дипломного проекту	Термін виконання етапів проекту	Примітка
1.	<i>Аналіз існуючих варіантів реалізації катапульт для БпЛА. Постановка завдання.</i>	<i>до 29.03.2021 р.</i>	
2.	<i>Розробка математичної моделі катапульти.</i>	<i>до 12.04.2021 р.</i>	
3.	<i>Визначення масово-геометричних та динамічних параметрів катапульти.</i>	<i>до 30.04.2021 р.</i>	
4.	<i>Проектувальний розрахунок конструкції катапульти..</i>	<i>до 5.05.2021 р.</i>	
5.	<i>Розробка просторової компоувальної моделі.</i>	<i>до 15.05.2021 р.</i>	
6.	<i>Перевірка запропонованого варіанту конструкції на міцність.</i>	<i>до 27.05.2021 р.</i>	
7.	<i>Оформлення пояснювальної записки та графічних матеріалів</i>	<i>до 10.06.2021 р.</i>	
8.	<i>Перевірка на плагіат</i>	<i>до 13.06.2021 р.</i>	
9.	<i>Захист</i>	<i>з 14.06.2021 р. по 30.06.2021 р</i>	

Студент

_____ (підпис)

Ярослав КОЗЕЙ

_____ (імя, прізвище)

Керівник проекту

_____ (підпис)

Віталій СУХОВ

_____ (імя, прізвище)

АНОТАЦІЯ

Пояснювальна записка до дипломного проекту з теми «Катапульта для безпілотного літального апарату» містить 71 сторінку, 45 рисунків, 10 таблиць та 16 використаних джерел.

Метою даної роботи є використання, поглиблення та закріплення теоретичних та практичних знань для проектування пневматичної катапульти.

В результаті роботи над ДП було проведено аналіз існуючих прототипів катапульти, особливості її використання. На основі результатів аналізу було вибрано тип катапульти. В рамках дипломного проекту були досліджені методи розрахунку пневматичних циліндрів. Провівши розрахунки масово-геометричних та динамічних параметрів був проведений проектний розрахунок. Проведено розрахунки зовнішніх навантажень та побудовані епюри. Також було проведено моделювання запропонованої конструкції катапульти та проведений аналіз розрахунку напружено-деформованого стану.

В роботі широко використовувались методи комп'ютерного моделювання з урахуванням можливості серійного виробництва.

Ключові слова: катапульта, безпілотний літальний апарат, літальний апарат, пневмоциліндр.

ABSTRACT

Explanatory Note to DP "Catapult for unmanned aerial vehicles" contains 71 pages of text, 45 illustrations, 10 tables and 16 references.

The purpose of this work is to use, deepen and consolidate theoretical and practical knowledge for the design of pneumatic catapults.

As a result of work on DP the analysis of existing prototypes of catapults, features of its use was carried out. Based on the results of the analysis, the type of catapult was selected. Within the framework of the diploma project the methods of calculation of pneumatic cylinders were investigated. After calculating the mass-geometric and dynamic parameters, the design calculation was performed. Calculations of external loads were performed and plots were constructed. The proposed design of the catapult was also simulated and the analysis of the stress-strain state calculation was performed.

The methods of computer modeling taking into account the possibility of mass production were widely used in the work.

Key words: catapult, unmanned aerial vehicle, aircraft, pneumatic cylinder.

ВІДОМІСТЬ ДИПЛОМНОГО ПРОЄКТУ

№ з/п	Формат	Позначення	Найменування	Кількість аркушів	Примітка
1	A4		Завдання на дипломний проєкт	1	
2	A4	ВЛ7210.16.90.00.00ПЗ	Пояснювальна записка	71	
3	A1	ВЛ7210.60.00.00.01ІМ	Огляд аналогів БПЛА та катапульта	1	
4	A1	ВЛ7210.16.90.00.00 РР	Методика розрахунку	1	
5	A1	ВЛ7210.16.90.00.03РР	Результати розрахунку	1	
6	A1	ВЛ7210.16.90.00.04 ІМ	Візуально просторова модель катапульти	1	
				ВЛ7210.16.90.00.00	
	ПБ	Підп.	Дата		
Розробив	Козей Я.М.			Відомість дипломного проєкту	Аркуш
Перевірів	Сухов В.В.				1
					1
Н.контр.	Поваров С.А.				КПІ ім. Ігоря Сікорського Каф. АРБ гр. ВЛ-72
Зав.каф.	Кабанячий В.В.				

**Пояснювальна записка
до дипломного проєкту**

на тему «Катапульта для безпілотного літального апарату»

ЗМІСТ

Перелік скорочень.....	6
ВСТУП	7
1. АНАЛІЗ ІСНУЮЧИХ ВАРІАНТІВ РЕАЛІЗАЦІЇ КАТАПУЛЬТ ДЛЯ БПЛА ТА ЛІТЕРАТУРИ ПО СУЧАСНИМ ПРИНЦИПАМ РОЗРАХУНКАМ ТАКИХ КОНСТРУКЦІЙ. ПОСТАНОВА ЗАВДАННЯ.	8
1.1 Аналіз існуючих варіантів реалізації катапульт для БПЛА.....	8
1.2 Аналоги катапульт.....	13
1.3 Обробка статистичних даних БПЛА	21
1.4 Постановка завдання	28
Висновок по розділу 1	28
2. РОЗРОБКА МАТЕМАТИЧНОЇ МОДЕЛІ КАТАПУЛЬТИ	31
2.1 Пневматика, повітряний циліндр.....	31
2.2 Модель під час запуску.....	39
Висновки до 2 розділу	41
3. ВИЗНАЧЕННЯ МАСОВО-ГЕОМЕТРИЧНИХ ТА ДИНАМІЧНИХ ПАРАМЕТРІВ КАТАПУЛЬТИ	42
3.1 Визначення динамічних параметрів катапульти.....	42
3.2 Розрахунок пневматичного повітряного циліндра	44
Висновок до 3 розділу	51
4. ПРОЕКТУВАЛЬНИЙ РОЗРАХУНОК КОНСТРУКЦІЇ КАТАПУЛЬТИ 53	
4.1 Проектний розрахунок направляючої катапульти.....	53
4.2 Проектний розрахунок направляючої катапульти при різному положенні каретки	55
Висновок до 4 розділу	60
5. РОЗРОБКА ПРОСТОРОВОЇ МОДЕЛІ КАТАПУЛЬТИ	60

					<i>ВЛ7210.16.90.00.00ПЗ</i>			
<i>Змін.</i>	<i>Арк.</i>	<i>№ документ.</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>	<i>Катапульта для безпілотного літального апарату</i>	<i>Літ.</i>	<i>Аркцш</i>	<i>Аркцшів</i>
<i>Розробив</i>		<i>Козей Я.М.</i>					4	71
<i>Керівник</i>		<i>Сухов В.В.</i>				<i>КПІ ім. Ігоря Сікорського</i>		
<i>Н. кон.</i>		<i>Поваров С.А.</i>				<i>Каф.АРБ Гр.ВЛ-72</i>		
<i>Затв.</i>		<i>Кабанячий В.В.</i>						

5.1	Розробка просторової моделі направляючої катапульти	61
5.2	Розробка просторової моделі пневматичного циліндра та поліспасти 62	
5.3	Просторова модель катапульти.....	63
	Висновок до розділу 5	64
6.	ПЕРЕВІРКА ЗАПРОПОНОВАНОГО ВАРІАНТУ КОНСТРУКЦІЇ НА МІЦНІСТЬ	65
6.1	Аналіз напружень першого положення каретки	65
6.2	Аналіз напружень другого положення каретки	66
6.3	Аналіз напружень третього положення каретки.....	67
	Висновки до 6 розділу	68
	Список використаної літератури	70

Перелік скорочень

ДП – дипломний проект

ПЗ – пояснювальна записка

БПЛА – безпілотний літальний апарат

ЛА – літальний апарат

PLS – Portable Launching System (портативна система старту)

					ВЛ7210.16.90.00.00ПЗ	Лист
Змн.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		6

ВСТУП

Метою виконання дипломного проекту є поглиблення та закріплення теоретичних знань та практичних навичок з усіх дисциплін навчального плану, оволодіння сучасними методами, формами організації роботи в галузі майбутньої професії, формування, на базі одержаних у навчальному процесі знань, професійних умінь і навичок для прийняття самостійних рішень під час конкретної праці в дипломній роботі, виховання потреби систематично поновлювати свої знання та творчо їх застосовувати в практичній діяльності.

Темою дипломного проекту є катапульта для беспілотного літального апарату. Данна тема є дуже актуальна, так як зараз багато компаній зосереджені на розробці БПЛА. БПЛА можуть вирішувати різновидні завдання такі як розвідки, застосовуватися для нанесення ударів по наземних і морських цілях, перехоплення повітряних цілей, здійснювати постановку радіоперешкод, ретрансляції повідомлень і даних, доставки вантажів. І щоб розширити територію, де можливе застосування БПЛА, використовують катапульти.

Моє завдання було виконання проектування катапульти. Для цього потрібно провести аналіз аналогів та скласти технічне завдання, на основі якого провести розрахунки масово-геометричних та динамічних параметрів. Після чого провести проектувальний розрахунок. На основі цього та попередніх розрахунків потрібно скласти схему навантаження, яке діє на катапульти, побудувати епюри навантажень. В результаті виконання всіх вище перелічених розрахунків, отримуємо достатньо даних для розробки та побудови просторової моделі катапульти. Виконуємо просторову модель.

									Лист
									7
Змн.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата					

ВЛ7210.16.90.00.00ПЗ

1. АНАЛІЗ ІСНУЮЧИХ ВАРІАНТІВ РЕАЛІЗАЦІЇ КАТАПУЛЬТ ДЛЯ БПЛА ТА ЛІТЕРАТУРИ ПО СУЧАСНИМ ПРИНЦИПАМ РОЗРАХУНКАМ ТАКИХ КОНСТРУКЦІЙ. ПОСТАНОВА ЗАВДАННЯ.

1.1 Аналіз існуючих варіантів реалізації катапульт для БПЛА

Стартова катапульта безпілотного літального апарату (далі БПЛА) служить для примусового розгону БПЛА на зльоті до швидкості відриву при допустимій максимальній перевантаженні за рахунок енергії пристроїв, які не належать БПЛА. Катапульта повинна бути автономною при пуску БПЛА, мати просту конструкцію, малу масу і габарити в транспортному положенні. Вона повинна бути зручною в обслуговуванні, швидко розгортатися в стартове положення і забезпечувати динамічну стійкість при пуску БПЛА. Розміщуватися катапульта може на транспортному засобі або на причепі необхідної прохідності і маневреності.

Для зльоту малорозмірних БПЛА і середніх БПЛА літакового типу широко використовуються пускові пристрої типу катапульти, що дозволяють забезпечити швидкий і ефективний зліт зазначених літальних апаратів (далі – ЛА) з силовою установкою порівняно невеликої потужності.

Конструкція катапульти повинна забезпечувати надійний пуск ЛА, причому параметри пуску повинні бути постійними при кожному наступному запуску. Тобто для ефективності пуску і для виключення пошкодження дорогої апаратури необхідно мінімізувати ймовірність відмови, вплив зовнішніх умов, у тому числі погодних, і людського фактору.

Катапульти бувають:

- пружинні;
- резинові;
- порохові;
- пневматичні;
- гідравлічні;

Але найбільш поширеними в застосуванні є резинові, гідравлічні та

	пневматичні.				ВЛ7210.16.90.00.00ПЗ	Лист
Змн.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		8

1. Резинова катапульта (рис. 1.1).

Катапультий пусковий пристрій, який використовує енергію, що зберігається у високоеластичних шнурах-банджі, для запуску БПЛА. Загальноприйняті рішення включають металеву рейку, яка розташована під кутом запуску, шнур банджі (або кілька шнурів) і лебідку для натягування шнура. Перед запуском шнур банджі натягується до необхідного натягу та закріплюється запобіжними шпильками. Потім вони випускаються для запуску БПЛА. Завдяки простоті конструкції системи, що не вимагає багатьох механічних або електричних компонентів, вона має відносно невелику вагу. Хоча він обмежений характеристиками шнура, і зазвичай для нього потрібна довга рейка, щоб прискорити БПЛА до необхідної швидкості. Банді-шнурові пускові установки часто обмежуються легкими БПЛА.



Рис. 1.1. Резинова катапульта

2. Гідравлічна катапульта (рис 1.2).

Гідравлічні пускові пристрої, як правило, також проектуються як

пускова установка для катапульти. Основами системи є використання^{см}

В117210.16.90.00.00113

циліндра з двома відсіками. Відсіки розділені поршнем, на якому з одного боку є стисливий газ, а на іншому - гідравлічне масло. Для накопичення енергії, необхідної для запуску, масло перекачується так, що воно штовхає поршень і, таким чином, стискає газ з іншого боку. Сторона з гідравлічним маслом з'єднана за допомогою клапана швидкого відкривання з гідравлічним двигуном. Двигун живить лебідку, яка прикріплена до каретки, встановленої на направляючій, де повинен бути розміщений БПЛА. Для запуску БПЛА згаданий клапан відкривається. Це дозволяє газу в балоні розширюватися і переміщувати поршень, що відштовхує масло назад, живлячи гідравлічний двигун. Двигун повертає лебідку, яка тягне каретку і прискорює БПЛА до швидкості запуску. Система гідравлічного пуску набагато складніша, ніж банджі-шнур, і для її роботи потрібна потужність. Переваги в тому, що він може виробляти відносно високі швидкості запуску, а початковий пуск можна пом'якшити, щоб уникнути занадто високих прискорень. Це призводить до того, що рішення є більш простим щодо конструкції БПЛА, оскільки йому не потрібно підтримувати високі прискорення, як наприклад з шнуром банджі.



Рис. 1.1. Гідравлічна катапульта

		3. Пневматична катапульта (рис 1.3).			Лист
		В/ІІ/210.16.90.00.00ПЗ			10
Змн.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата	

Пневматичні пускові системи дуже схожі на гідравлічні. Накопичувач енергії - це стиснений газ, і направляюча разом із кареткою мають той самий принцип. Зазвичай в якості газу використовується повітря, що знаходиться під тиском в акумуляторних резервуарах. Запуск здійснюється шляхом випуску стисненого повітря через клапан і прискорення каретки, яка утримує БПЛА. Силу, з якою здійснюється запуск, можна регулювати, регулюючи тиск і забезпечуючи підтримку БПЛА різної маси. Деякі мінуси цієї техніки полягають у тому, що компресор для тиску повітря потребує живлення, і для заповнення резервуарів акумулятора може знадобитися час.

Катапульта яка зображена на (рис 1.3) це пневматична катапульта з використанням поліспасти.



Рис. 1.3 Пневматична катапульта

Поліспаст - це спеціальне пристосування для підйому вантажів, що складається з двох і більше блоків, які послідовно обвиваються канатом або

					ВЛ7210.16.90.00.00ПЗ	Лист
Змн.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		11

ланцюгом. Схема поліспада може бути розрахована на виграш в підйомній швидкості або силі.

Залежно від конструкції пристрою забезпечують приріст сили або швидкості при підйомі і навантаженні важких об'єктів. Існують такі види механізмів:

- силовий;
- швидкісний.

У першому вантаж кріпиться до рухомої обойми, а тягове зусилля прикладається до тросу з боку останнього блоку, який послідовно охоплена ім. Сила, яку необхідно прикладати для підйому розраховується, як частка від ділення ваги піднімається об'єкта на кратність поліспада (кількість гілок канату).

Збільшення швидкості можливо при додатку зусилля до рухомий обоймі і підвішування вантажу до збігає канатному кінця. Підйом відбувається швидше за рахунок значного збільшення його висоти. Її простий розрахунок - добуток ходу поршня силового приводу на кратність механізму.

Схема поліспаду зображена на (рис. 1.4.).

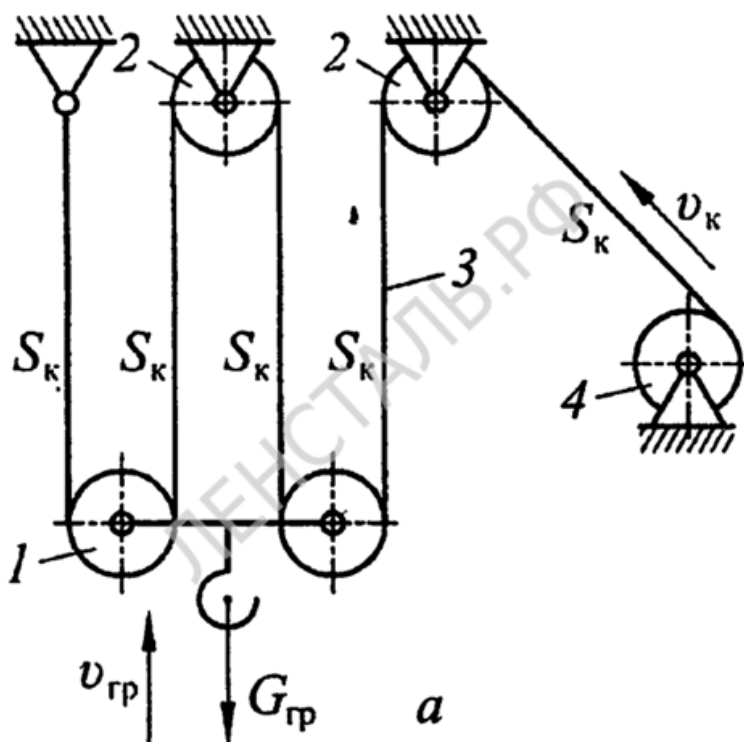


Рис. 1.4. Схема роботи поліспаду

1.2 Аналоги катапульти

Основна частина мого дослідження базується на аналізі існуючих пускових установок БПЛА на ринку. Я проаналізував ці продукти, щоб вибрати ефективний метод запуску, порівняти переваги та недоліки катапульти. Більшість із досліджених пускових установок були сконструйовані для БПЛА які набагато більші, важчі, і для цього потрібні вищі швидкості запуску ніж наші. П'ять існуючих продуктів були досліджені та оцінені на предмет їх унікальних методів запуску.

1. Пневматична катапульта компанії ROBONIC KONTIO (MC0315L) (Рис. 1.5).

MC0315L - це остання повністю пневматична катапульта у сімействі Robonic, яка оптимізована для задоволення зростаючого попиту на ринку тактично реагуючих систем запуску для малих БПЛА та легких безпілотників.



Рис 1.5. Пневматична катапульта компанії
ROBONIC KONTIO (MC0315L)

Поєднуючи унікальну технологію пневматичної пускової установки третього покоління Robonic з багаторічним досвідом експлуатації, MC0315L

					ВЛ7210.16.90.00.00ПЗ	Лист
Змн.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		13

забезпечує максимальний тиск до 10 бар, що дозволяє підтримувати найширший діапазон малих повітряних апаратів без модифікацій.

Кілька типів повітряних транспортних засобів, незалежно від того, чи працюють вони на гвинтовому або реактивному двигуні та потребують широкого спектру маси та швидкості запуску, підтримуються пусковою установкою за допомогою простих адаптерів. Це означає, що нові оперативні ролі та місії можуть бути підтримані протягом дуже короткого проміжку часу однією чи двома особами.

MC0315L простий в експлуатації в будь-яких умовах і був розроблений для розгортання в умовах великих температурних екстремумів з мінімальними вимогами до обслуговування. Його невеликий розмір означає, що його можна легко переставити, щоб оптимізувати запуск з переважаючими напрямками вітру.

Пневматична система робить пристрій простим в експлуатації та готовим до повторних запусків за лічені хвилини. Пускова установка оснащена власним компресором, що робить її самоокупною для роботи. В якості альтернативи можна використовувати повітряні судини, наповнені азотом, та повітряні судини високого тиску.

Безпека користувача в будь-яких робочих умовах була головним пріоритетом проектування при розробці не тільки пускової установки, а й її експлуатаційних процедур.

Катапульту легко транспортувати та зберігати незалежно від експлуатаційної конфігурації.

З максимальним часом встановлення 15 хвилин MC0315L забезпечує надійний, швидкий та економічно ефективний спосіб запуску малих БПЛА та цільових безпілотників з максимальними експлуатаційними перевагами [1].

Основні характеристики катапульты MC0315L наведені в таблиці 1.

Таблица 1

Технічні характеристики катапульты MC0315L

Тип катапульты					Пневматична	
Максимальна швидкість запуску, м/с					15	Лист
					ВЛ7210.16.90.00.00ПЗ	
Змн.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата	14	

Максимальна вага літака, кг.	40
Кут запуску	5° - 15°
Загальна вага, кг	255
Довжина доріжки, м	3,495
Тип каретки	
Час налаштування, хв	15

1. ARCTURUSUAV (Рис. 1.6).

Портативна система старту ArcturusUAV - це пневматична конструкція катапульти, яка може запускати літаки БПЛА до 200 фунтів. Система легка, портативна і проста в експлуатації. Катапульта може працювати на стисненому повітрі або інертному газоподібному азоті. Навчений оператор може зібрати PLS менш ніж за 10 хв. Стандартна катапульта налаштована для БПЛА Arcturus T-20. Для запуску подібних БПЛА доступні додаткові стержневі штанги.

Портативна система старту Arcturus забезпечує надійність, високу мобільність та незалежність злітно-посадкової смуги [2],[6].

Основні характеристики катапульти ARCTURUSUAV наведені в таблиці 2.



Рис 1.6. Пневматична катапульта компанії ARCTURUSUAV

						Лист
						15
Змн.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		

B/17210.16.90.00.00ПЗ

					<i>ВЛ7210.16.90.00.00ПЗ</i>	<i>Лист</i>
<i>Змн.</i>	<i>Лист</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>		16

Технічні характеристики катапульти ARCTURUSUAV

Тип катапульти	пневматична
Максимальна швидкість запуску, м/с	30
Максимальна вага літака, кг.	90
Кут запуску	15 °
Загальна вага, кг	76
Довжина доріжки, м	5
Тип каретки	-
Час налаштування, хв	<10

2. Пневматична катапульта PL-40 (Рис. 1.7)

Пневматична пускова установка БПЛА PL-40 була розроблена для прискорення БПЛА та інших літаків з МТОВ до 40 кг та запуску їх зі швидкістю до 25 м/с. Пускова установка легка, працює від батареї і швидко збирається. Система легко переноситься у двох спеціальних міцних корпусах. Нестандартні вагонні штанги можуть бути розроблені на основі специфікацій БЛА клієнтів [3].

Основні характеристики катапульти PL-40 наведені в таблиці 3.



Рис 1.7. Пневматична катапульта PL-40

Змн.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата					

Технічні характеристики катапульти PL-40

Тип катапульти	пневматична
Максимальна швидкість запуску, м/с	25
Максимальна вага літака, кг.	45
Кут запуску	11°
Загальна вага, кг	56
Довжина доріжки, м	5
Тип каретки	-
Час налаштування, хв	5

3. Баджи (резинова) катапульта C200R (Рис. 1.8)

Міцна алюмінієва пускова установка для безпілотних літальних апаратів, що чудово задовольняє потреби професіоналів БПЛА. NM & C200R – це складана та переносна людиною катапульта, яка дозволяє розгортати її на будь-якому етапі, будучи повністю робочою менш ніж за 4 хвилини.



Рис 1.8. Канатна катапульта C200R

Ідеально підходить для ефективного виконання місій з високими вимогами. Включає взаємозамінний інтерфейс літака, який дозволяє

використовувати катапульти з різними літаками, будучи однією з найбільш^{cm}

B/1172 10.10.20.00.00113

Змн.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата	
------	------	----------	--------	------	--

універсальних систем на ринку. Просто приєднайте власний інтерфейс, щоб відповідати вашому крюкові літака, або використовуйте стандартний гачок, що надається. Оператор зможе контролювати швидкість запуску літака, вибравши бажане положення каретки.

Однією з головних переваг системи катапульти C200R є простота транспортування, складання, обслуговування та використання. Його легкий і компактний дизайн дозволяє носити його лише одній людині. Завдяки модульній композиції, складним ніжкам та регулюванню довжини мотузки його можна зібрати за короткий час.

Безпека це високонадійний сервопривідний механізм дозволяє запускати ваш літак дистанційно або по дроту, для здійснення запуску потрібен лише ШІМ-сигнал. Запобіжний штифт також уникає випадкових БПЛА, включених для звільнення [4].

Основні характеристики катапульти C200R наведені в таблиці 4.

Таблиця 4.

Технічні характеристики катапульти C200R

Назва катапульти	C200R
Тип катапульти	Баджі
Максимальна швидкість запуску, м/с	15,4
Максимальна вага літака, кг.	5
Кут запуску	11° - 17°
Загальна вага, кг	10,8
Довжина доріжки, м	1,75
Тип каретки	під замовлення
Час налаштування, хв	3

4. Пневматична катапульта C400P (Рис. 1.9)

Компактна пневматична катапульта C400P дозволяє швидко і ефективно запускати професійні системи БПЛА. Його простота транспортування,

Змн.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата

ВЛ7210.16.90.00.00ПЗ

Лист

19

складання та запуску дозволяє конфігурацію в будь-який час і в будь-який час з часом розгортання менше 10 хвилин.



Рис 1.9. Пневматична катапульта С400Р

Крім того, його пневматична силова установка здатна запускати безпілотники з МТОВ до 35 кг. З максимальною швидкістю запуску 29 м / с можна регулювати тиск у системі, щоб адаптувати його до розміру та ваги БПЛА для оптимального зльоту катапульти.

Однією з головних переваг системи катапульти Р400С є простота транспортування, складання, обслуговування та використання. Його легкий і компактний дизайн дозволяє носити його лише двом людям. Завдяки своєму модульному складу, складним ніжкам та регулюванню довжини мотузки його можна зібрати за короткий проміжок часу.

З пневматичною пусковою установкою С400Р можна використовувати широкий спектр компонентів літаків, що дозволяє налаштувати систему на будь-яку вагу БПЛА та швидкість зльоту. Рухова система складається з двох посудин під тиском та вбудованого компресора, що регулює тиск, завдяки чому можливе регулювання швидкості.

Крім того, він повністю інтегрований з системою автопілоту Veronte ,

що дозволяє активувати запуск безпілотника з контрольної cm

Б/ІІ/210.16.90.00.00113

станції . Автономна робота також можлива для використання зі сторонніми системами, оскільки можливе спрацьовування зльоту БПЛА з ПК або кнопки запуску.

Сучасний рівень техніки безпеки. C400P Catapult розроблений відповідно до найвищих стандартів безпеки з розумними функціями безпеки, як запобіжний штифт.

Беручи до уваги такі параметри, як напрямок вітру, тип поверхні та відстань до перешкод, під час операції не визначається зона заборони руху. Оператори залишатимуться за межами цієї зони безпеки, забезпечуючи безпеку під час зльоту катапульти БПЛА [5].

Основні характеристики катапульти C200R наведені в таблиці 5.

Таблиця 5.

Технічні характеристики катапульти C400P

Тип катапульти	Пневматична
Максимальна швидкість запуску, м/с	29
Максимальна вага літака, кг.	35
Кут запуску	під замовлення
Загальна вага, кг	99
Довжина доріжки, м	4
Час налаштування, хв	<10

1.3 Обробка статистичних даних БПЛА

1. RQ-21A Blackjack

Boeing Insitu RQ-21 Blackjack (Рис.1.10), колишня назва Integrator, є американська безпілотним літальним апаратом розроблення і побудованій Boeing Insitu на вимогу США Navy для невеликої тактової безпілотної повітряної системи (STUAS). Це двох-балочний одномоторний моноплан, розроблення як доповнення до Boeing Scan Eagle. Інтегратор важить 61 кг і використовує ту саму пускову установку та систему відновлення, що і Scan Eagle .

					ВЛ7210.16.90.00.00ПЗ	Лист
Змн.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		21

Льотно-технічні характеристики БПЛА RQ-21A Blackjack наведені в таблиці 6.

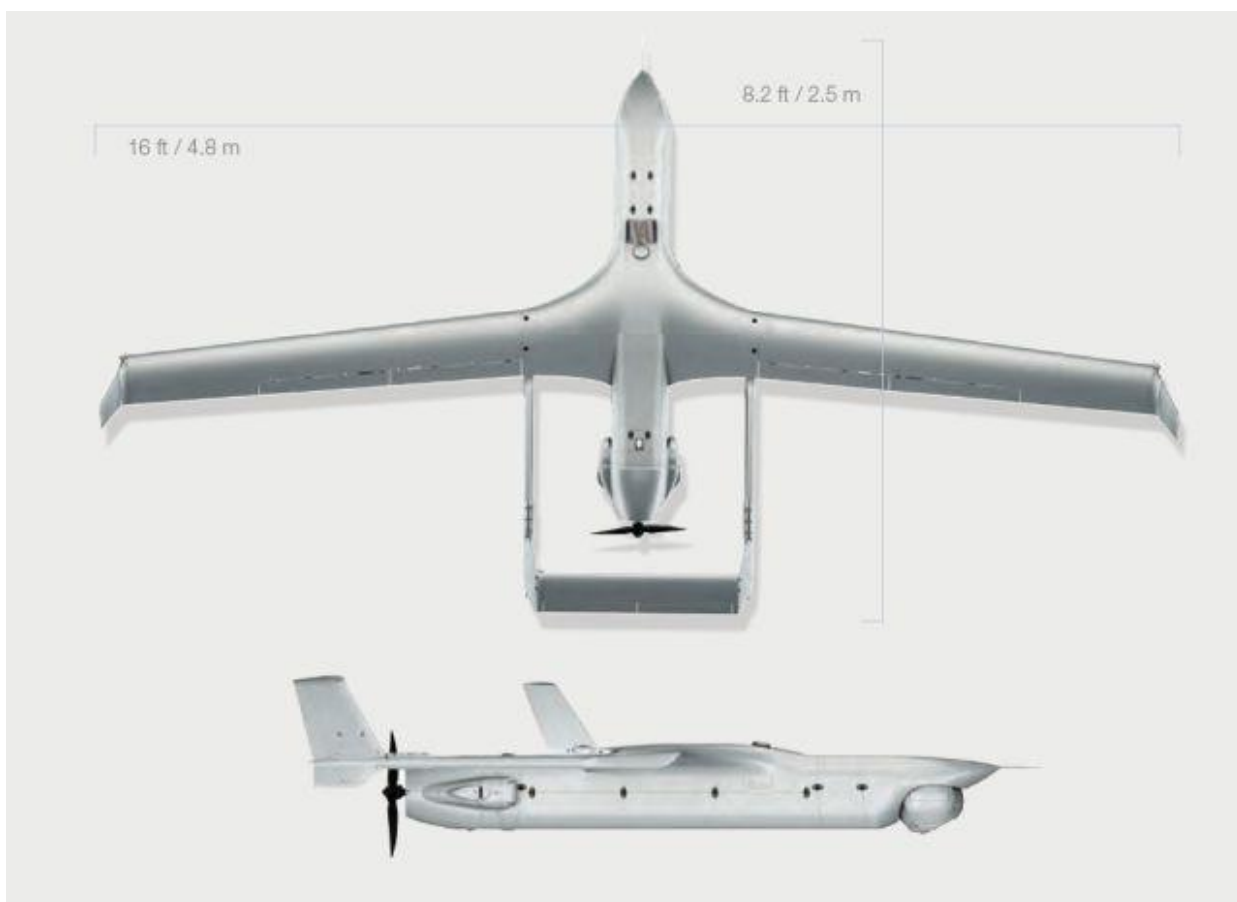


Рис 1.10. RQ-21A Blackjack

					ВЛ7210.16.90.00.00ПЗ	Лист
Змн.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		22

Льотно-технічні характеристики БПЛА RQ-21A Blackjack

Розмах крила, м	4,9
Довжина, м	2,5
Висота, м	
Площа крила м ²	-
Максимальна злітна маса, кг	61
Крейсерська швидкість польоту, км/год	63
Мин. Швидкість (швидкість звалювання), км/год	-

2. Bayraktar TB2.

Bayraktar TB2 (Рис.1.11) – турецький ударний оперативно-тактичний середньовисотний безпілотний літальний апарат з великою тривалістю польоту. Bayraktar TB2 з чотирма ракетами на підвісці може перебувати в повітрі більше 12 годин, це дозволяє вести постійне чергування в повітрі і після виявлення цілей швидко висуватися до передової для пуску ракет (час реакції буде набагато вище, ніж у авіації, що дозволяє ефективно вражати цілі, доступні лише у вузькому часовому коридорі). Створений турецькою компанією "Baykar Makina".

Льотно-технічні характеристики БПЛА RQ-21A Blackjack наведені в таблиці 7.

									Лист
Змн.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата	ВЛ7210.16.90.00.00ПЗ				23



Рис. 1.11. Bayraktar TB2

Таблиця 7.

Льотно-технічні характеристики БПЛА Bayraktar TB2

Розмах крила, м	12
Довжина, м	6,5
Висота, м	2,25
Площа крила м ²	8,64
Максимальна злітна маса, кг	650
Крейсерська швидкість польоту, км/год	130
Мин. Швидкість (швидкість звалювання), км/год	-

3. Крунк 25-1

Крунк (рис.1.12) — тактичний безпілотний літальний апарат вірменського виробництва. «Крунк» став одним з нових видів продукції вірменського ВПК. Перші повідомлення про БПЛА датуються 18 червня 2011 р.



Рис. 1.12. Крунк 25-1

Апарат оснащений програмованим автопілотом і може перебувати в повітрі 5 годин. Максимальна висота 5400 м, практична стеля 4500 метрів, крейсерська швидкість 150 км/год.

На апараті встановлений підфюзеляжний малорозмірний гіростабілізований оптико-електронний підвіс з відео- і фотокамерою. Він здатний оперативно відзняти і в реальному часі передати артилерійським, ракетним, розвідувальним підрозділам і групам спеціального призначення дані відеорозвідки. Крім розвідувальних функцій, безпілотники також інтегровані в систему управління артилерією. Безпілотники Крунк мають максимальну злітну масу 60 кг; виготовлені з композитних матеріалів, для отримання яких у Вірменії були розвинені і застосовані західні технології. Бортова апаратура може управлятися з наземної станції розрахунком з трьох операторів .

Льотно-технічні характеристики БПЛА RQ-21A Blackjack наведені в таблиці 8.

					<i>ВЛ7210.16.90.00.00ПЗ</i>	<i>Лист</i>
<i>Змн.</i>	<i>Лист</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>		25

Льотно-технічні характеристики Крунк 25-1

Розмах крила, м	4,2
Довжина, м	2,95
Висота, м	0,75
Площа крила м ²	-
Максимальна злітна маса, кг	60
Крейсерська швидкість польоту, км/год	110
Мин. Швидкість (швидкість звалювання), км/год	80

4. People's Drone PD-1.

PD-1 (рис 1.13) — український безпілотний авіаційний комплекс, призначений для здійснення повітряної розвідки та контролю над переміщенням супротивника. Розробкою та випуском займається Всеукраїнський центр волонтерів «Народний проект» та UkrSpecSystems.



Рис. 1.13. People's Drone 1

Безпілотний апарат та наземний пункт керування є частиною проекту

«Перший Народний комплекс БПЛА». Спільне виробництво cm

Б/П/З/І/О. Іб. 90.00.00113

«Укрспецсистем» — UkrSpecSystems.com та «Народного проекту» — PeoplesProject.com. Розробку першого комплексу оплатили спонсори, а збір коштів на другий комплекс відбувається через «Народний проект». В рамках цього проекту створювався ряд безпілотників, складність виконання яких поступово зростала. Фінансування робіт з створення апарату здійснювалося за рахунок добровільного перерахування коштів на рахунок волонтерів по проекту «Перший Народний комплекс БПЛА».

У 2014 році БПЛА PD-1 пройшов фазу тестової експлуатації і через деякий час був відправлений у зону бойових дій [7],[13].

Льотно-технічні характеристики БПЛА RQ-21A Blackjack наведені в таблиці 9.

Таблиця 9.

Льотно-технічні характеристики People's Drone 1

Розмах крила, м	3
Довжина, м	2,5
Висота, м	-
Площа крила м ²	-
Максимальна злітна маса, кг	40
Крейсерська швидкість польоту, км/год	90
Мин. Швидкість (швидкість звалювання), км/год	54

1.4 Постановка завдання

Метою даної роботи є спроектувати пневматичну катапульти для безпілотного літального апарату. Для досягнення цієї мети в роботі були поставлені такі завдання:

- Аналіз існуючих варіанті реалізації катапульти для БПЛА та літератури по сучасним принципам розрахунку таких конструкцій.

Постановка завдання.

- Визначення масово-геометричних та динамічних параметрів катапульти.

- Розробка математичної моделі катапульти.
- Визначення експлуатаційних навантажень.
- Проектувальний розрахунок конструкції катапульти.
- Розробка просторової компонуваної моделі.
- Перевірка запропонованого варіанту конструкції на міцність
- Розробка технічної документації.
- Собівартість та монетизація розробки

Висновок по розділу 1

В ході роботи над даним розділом дипломного проекту було зібрана та проаналізована інформація щодо характеристик, конструктивних схем та типу запуску п'яти катапульти: пневматичної MC0315L, пневматичної ARCTURUS UAV, пневматичної PL-40, пневматичної C400P, баджі (резинової) C200R та чотирьох БПЛА: RQ-21A Blackjack, Bayraktar TB2, Крунк 25-1, People's Drone PD-1. В результаті, був зроблений висновок, що тип конструкції більш за все залежить від масових та швидкісних характеристик БПЛА.

Основні порівняльні характеристики катапульти наведені в таблиці 10.

Баджі (резинова) катапульти зазвичай служить для запуску легких БПЛА масою до 25 кг

									<i>Лист</i>
<i>Змн.</i>	<i>Лист</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>					<i>28</i>

ВЛ7210.16.90.00.00ПЗ

Основні переваги баджі катапульти це:

- простота транспортування;
- простота збірки;
- компактність;
- легкість у використанні;
- безпека у використанні у порівнянні з пневматичними.

Пневматичні катапульти в основному використовують для більш важких БПЛА але також можуть використовуватись для легких БПЛА.

Основні переваги пневматичної катапульти це:

- велика маса БПЛА в порівнянні з баджі катапулькою;
- великі швидкості запуску в порівнянні з баджі катапулькою;

Таблиця 10

Порівняльні данні катапульт для БПЛА

Назва катапульти	MC0315L	ARCTURU SUAV	PL-40	C200R	C400P
Тип катапульти	пневматична	пневматична	пневматична	баджі	пневматична
Максимальна швидкість запуску, м/с	15	30	25	15,4	29
Максимальна вага літака, кг.	40	90	45	5	35
Кут запуску	5° - 15°	15°	11°	11° - 17°	-
Загальна вага, кг	255	76	56	10,8	99
Довжина доріжки, м	3,495	5	5	1,75	4
Тип каретки	-	-	-	Під замовлення	Під замовлення

Лист

ВЛ7210.16.90.00.00ПЗ

29

Час налаштування, хв	15	<10	5	3	<10
----------------------------	----	-----	---	---	-----

Отже можна зробити висновок, що для розглянутих БПЛА маса яких перевищує 25 кг, більш практичною буде пневматична катапульта.

					<i>ВЛ7210.16.90.00.00ПЗ</i>	<i>Лист</i>
<i>Змн.</i>	<i>Лист</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>		30

2. РОЗРОБКА МАТЕМАТИЧНОЇ МОДЕЛІ КАТАПУЛЬТИ

Математичне моделювання всієї системи було розділене на дві основні частини: повітряний циліндр та рух БПЛА що перебуває на направляючій. За допомогою цих математичних моделей метою є визначення необхідної сили, швидкості та прискорення, щоб БПЛА досяг мінімальної висоти, необхідної для запуску[8],[9],[10],[11],[14],[15].

2.1 Пневматика, повітряний циліндр

Пневматична система - це система на газовій основі, в якій закрита рідина може використовуватися для обертального або лінійного руху або застосовувати силу.

Пневматичний контур, що використовується в пусковій рампі, складається з повітряного бака, регулятора, одного клапана і повітряного балона. Повітряний бак - це резервуар стисненого повітря, це стиснене повітря виробляється компресором. Основна функція регулятор повинен зменшити вхідний тиск рідини до бажаного значення на виході. Повітряний циліндр є основним приводом, який складається з поршня радіусом R , що рухається в отворі. Схему цього можна побачити на (рис 2.3). Поршень з'єднаний із радіусом штока або троса r .

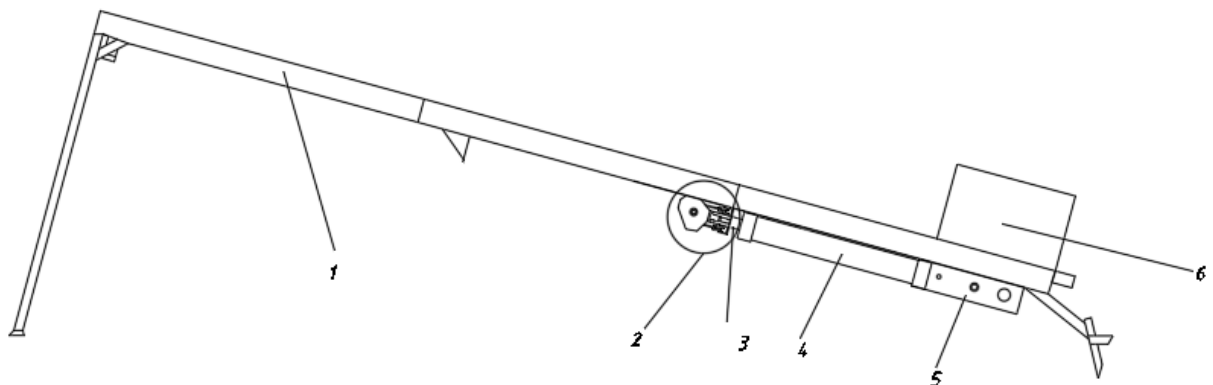


Рис 2.1. Розрахункова схема катапульти

1 – направляюча катапульти 2 – поліспаст 3 – шток 4 – пневмоциліндр

5 – локальний пульт управління 6 – каретка
ВЛ7210.16.90.00.00ПЗ

Лист

31

Змн.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата

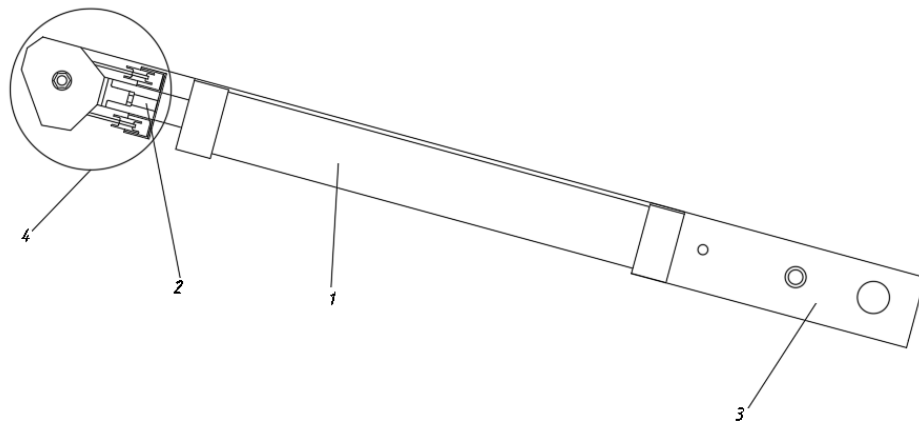


Рис. 2.2. Пневмоциліндр з поліспастом

1 – пневмоциліндр 2 – шток 3 – локальний пульти управління
4 – поліспаст

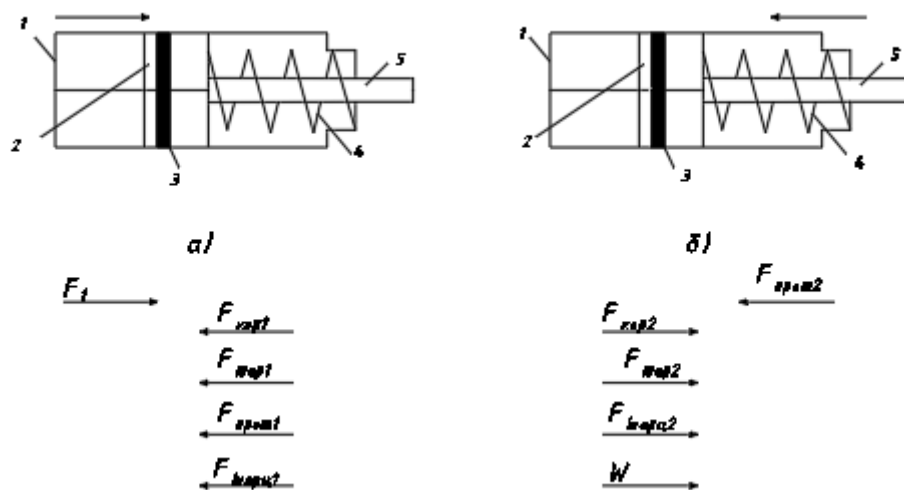


Рис 2.3. Розрахункова схема пневмоциліндра:

а) прямого ходу б) зворотного ходу

Розрахунок параметрів пневмоциліндра починають з розрахунку діаметра штока.

При русі поршня в прямому напрямку розрахунок ведуть з урахуванням стійкості штока під дією стискаючого зусилля. Самим несприятливим випадком є такий, при якому один з кінців штока жорстко закріплений, а другий - зберігається у вільному стані. Критичне зусилля, яке здатне в цьому випадку сприйняти шток без втрати стійкості, становить

$$P = \frac{\pi^3 E d^4}{256 I^2}$$

ВЛ7210.16.90.00.00ПЗ

Змн.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата

(1) / см

де E - модуль пружності (модуль Юнга);

d - діаметр штока, м;

L - довжина штока, м (перевищує хід поршня на 0,05-0,25 м).

Вирішимо вираз (1) щодо d :

$$d = \sqrt[4]{\frac{256PL^2}{\pi^3 E}} \quad (2)$$

Шток повинен мати запас стійкості величиною 1,5-2,5.

З огляду на це остаточно діаметр штока, для передачі корисного зусилля в прямому напрямку $F_{\text{кор}1}$ складе

$$d_1 = \sqrt[4]{\frac{2,5 \cdot 256F_{\text{кор}1}L^2}{\pi^3 E}} \quad (3)$$

При русі поршня в зворотному напрямку розрахунок ведуть з урахуванням допустимих напружень на розтягнення під дією корисного зусилля в зворотному напрямку $F_{\text{кор}2}$:

$$d_2 = 2 \sqrt{\frac{1,05 F_{\text{кор}2}}{\pi [\sigma]}} \quad (4)$$

де 1,05 - коефіцієнт запасу, що враховує додаткове навантаження на шток за рахунок тертя, що виникає в місці контакту з циліндром.

$[\sigma]$ - допустиме напруження на розтяг, для сталі $[\sigma] = 1,6 \cdot 10^8$ Па.

З значень, розрахованих за формулами (3) і (4), вибирають найбільший діаметр і округлюють його в більшу сторону до найближчого стандартного значення (5, 6, 8, 9 4 10, 11, 12, 14 5 16, 18, 20, 22, 25, 28, 32, 36, 40 6 45, 50, 56, 60, 63, 70, 71, 80, 90, 100, 110, 125, 140, 160, 180, 200).

Умова працездатності пневмоциліндра одnobічної дії зі зворотнім пружинним ходом можна описати виразами:

– для прямого ходу –

$$F_1 \geq F_{\text{кор}1} + F_{\text{терт}1} + F_{\text{прот}1} + F_{\text{інерц}1} \quad (5)$$

– для зворотного ходу –

$$F_{\text{прот}2} \geq F_{\text{кор}2} + F_{\text{терт}2} + F_{\text{інерц}1} + W \quad (6)$$

									Лист
Змн.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата					33

ВЛ7210.16.90.00.00ПЗ

де F_1 – це тягове зусилля, створюване поршнем пневмоциліндра при прямому і зворотному переміщеннях

$F_{кор1}$, $F_{кор2}$ – корисні зусилля, що розвивається пневмоциліндром при прямому і зворотному переміщеннях поршня;

$F_{терт1}$, $F_{терт2}$ – сила тертя в ущільненні поршня при прямому і зворотному переміщеннях;

$F_{інерц1}$, $F_{інерц2}$ – сила інерції, що виникає при переміщенні в прямому і зворотному напрямках;

W – сила протитиску, створювана повітрям яке витісняється при прямому і зворотному переміщеннях поршня;

$F_{прот1}$, $F_{прот2}$ – повертаюча сила, що забезпечує зворотний хід поршня пневмоциліндрів односторонньої дії (створюється повертаючою пружиною або противагою в залежності від конструкції циліндра).

Складові залежностей (5) і (6) розраховують таким чином.

Сила тертя в ущільненні поршня, $F_{терт}$, визначають за формулами

$$F_{терт1} = \mu \pi DHP \quad (7)$$

$$F_{терт2} = \mu \pi Dhp \quad (8)$$

де μ – коефіцієнт тертя в ущільненні поршня;

D – діаметр поршня (відповідає внутрішньому діаметр циліндра і зовнішньому діаметру манжети, ущільнюючої поршень);

H – ширина манжети, ущільнюючої поршень;

P – тиск повітря в робочій порожнині циліндра, куди повітря подається від компресора для створення тягового зусилля (діапазон рекомендованих значень 0,3–0,8 МПа);

p – тиск повітря, що витісняється поршнем з неробочої порожнини циліндра (діапазон рекомендованих значень 0,01–0,05 МПа).

Силу інерції, $F_{інерц}$, визначають з урахуванням того, що розгін переміщуються частин в результаті стискання повітря відбувається з постійним прискоренням

$$\alpha = \frac{2S}{T^2} \quad (9)$$

/лсм

ВЛ7210.16.90.00.00ПЗ

Змн.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата					34

де S – хід поршня пневмоциліндра;

T – тривалість переміщення поршня пневмоциліндра.

Для розрахунку сили інерції використовуємо відому залежність

$$F_{\text{інерц}} = aM \quad (10)$$

де M - маса переміщуваних частин.

Остаточно отримаємо:

$$F_{\text{інерц1}} = \frac{2S}{T_1^2} M_1 \quad (11)$$

де T_1 – тривалість переміщення поршня в прямому напрямку;

M_1 – маса частин, що переміщуються пневмоциліндром в прямому напрямку;

$$F_{\text{інерц2}} = \frac{2S}{T_2^2} M_2 \quad (12)$$

де T_2 – тривалість переміщення поршня в зворотному напрямку;

M_2 – маса частин, що переміщуються пневмоциліндром в зворотному напрямку,;

а силу протитиску визначають, W , – за формулою

$$W = \frac{\pi D^2}{4} p \quad (13)$$

Зусилля, створюване зворотнім ходом пружиною, $F_{\text{прот1}}$, залежить від жорсткості пружини і ступеня її стиснення. Максимальне зусилля $F_{\text{прот1}}$ спостерігається в кінці прямого ходу поршня, коли пружина стиснута найбільшою мірою. Це стиснення має забезпечуватися тяговим зусиллям приводу F_1 . Мінімальна зусилля $F_{\text{прот2}}$ спостерігається в кінці зворотного переміщення поршня, коли пружина стиснута в найменшій мірі. Це стиснення має забезпечувати подолання всіх протидіючих зворотньому переміщенню поршня сил: корисного зусилля $F_{\text{кор2}}$, тертя в ущільненні поршня $F_{\text{терт2}}$, сили інерції $F_{\text{інерц2}}$, сили протитиску W . Зусилля $F_{\text{прот2}}$ визначають за формулою (6). Відношення між зусиллями $F_{\text{прот1}}$ і $F_{\text{прот2}}$ характеризується коефіцієнтом k_1 :

$$k_1 = \frac{F_{\text{прот1}}}{F_{\text{прот2}}} \quad (14)$$

		Значення коефіцієнта k_1 знаходиться в межах 1,5-2,5			Лист
					35
Змн.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата	

ВЛ7210.16.90.00.00ПЗ

З формули (14) слідує:

$$F_{\text{прот1}} = F_{\text{прот2}} \cdot k_1 \quad (15)$$

Зусилля $F_{\text{прот2}}$ визначають за формулою (6).

Аналогічно, відношення між максимальною L_{max} і мінімальною L_{min} довжиною пружини, в залежності від положення поршня в циліндрі, характеризується коефіцієнтом k_2 :

$$k_2 = \frac{L_{\text{max}}}{L_{\text{min}}} \quad (16)$$

Значення коефіцієнта k_2 знаходиться в межах 1,5–3.

При виборі значень коефіцієнтів k_1 і k_2 необхідно, щоб в стиснутому стані витки пружини не стикалися один з одним і між ними залишався невеликий зазор. Для цього необхідно дотримуватися умова

$$\frac{k_1 - 1}{k_2 \cdot k_1 - 1} \geq 0,25 \quad (17)$$

Різниця між максимальною L_{max} і мінімальною L_{min} довжиною пружини залежить від ходу поршня S

$$L_{\text{max}} - L_{\text{min}} = S \quad (18)$$

Розрахунок параметрів пневмоциліндра починають з розрахунку діаметра штока за формулами (3) і (4). При розрахунку діаметра штока з урахуванням його стійкості при стисканні під час прямого ходу поршня за формулою (3) довжина штока

$$L = L_{\text{max}} + l_d \quad (19)$$

де l_d - додаткова довжина вузла, що направляє рух штока на виході з циліндра і вузла головки штока, $l_d = 0,05 \dots 0,25$ м.

Підставивши у вираз (20) значення L_{min} , розрахованого з співвідношення (18), і вирішивши його щодо L_{max} , отримаємо

$$L_{\text{max}} = \frac{S \cdot k_2}{k_2 - 1} \quad (20)$$

Остаточну, з використанням виразу (19), маємо

$$L = \frac{S \cdot k_2}{k_2 - 1} + l_d \quad (21)$$

									Лист
									36
Змн.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата					

З значень, розрахованих за формулами (3) і (4), вибирають найбільший діаметр і округлюють його в більшу сторону до найближчого стандартного значення, відповідного діаметру штока d .

Подальший розрахунок виконують в два етапи. Спочатку проводять попередній розрахунок з використанням формул (11), (12) і спрощених залежностей:

$$F_{\text{терт1}} = 0,01F_1 \quad (22)$$

$$F_{\text{терт2}} = 0,01F_{\text{прот2}} \quad (23)$$

$$W = 0,05F_{\text{прот2}} \quad (24)$$

Підставивши у вираз (5) і (6) складові його елементи, отримаємо:

$$F_1 = F_{\text{кор1}} + 0,01F_1 + F_{\text{прот1}} + \frac{2S}{T_1^2} M_1 \quad (25)$$

$$F_{\text{прот2}} = F_{\text{кор2}} + 0,01F_{\text{прот2}} + \frac{2S}{T_2^2} M_2 + 0,05F_{\text{прот2}} \quad (26)$$

Вирішимо вираз (25) щодо значення F_1 , а вираз(26) - відносно значення $F_{\text{прот2}}$:

$$F_1 = \frac{1}{0,99} \left(F_{\text{кор1}} + F_{\text{прот1}} + \frac{2S}{T_1^2} M_1 \right) \quad (27)$$

$$F_{\text{прот2}} = \frac{1}{0,94} \left(F_{\text{кор2}} + \frac{2S}{T_2^2} M_2 \right) \quad (28)$$

Використовуючи відношення (15), висловимо значення $F_{\text{прот1}}$ через $F_{\text{прот2}}$, підрахована за формулою (28), і підставимо його в вираз (27):

$$F_1 = \frac{1}{0,99} \left(F_{\text{кор1}} + k_1 \frac{1}{0,94} \left(F_{\text{кор2}} + \frac{2S}{T_2^2} M_2 \right) + \frac{2S}{T_1^2} M_1 \right) \quad (29)$$

Підставами в вираз

$$F_1 = \frac{\pi D^2}{4} P \quad (30)$$

значення F_1 з формули (29) і вирішимо його щодо діаметра поршня D :

$$D = 2 \sqrt{\frac{1}{0,99\pi P} \left(F_{\text{кор1}} + k_1 \frac{1}{0,94} \left(F_{\text{кор2}} + \frac{2S}{T_2^2} M_2 \right) + \frac{2S}{T_1^2} M_1 \right)} \quad (31)$$

									Лист
									37
Змн.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата	ВЛ7210.16.90.00.00ПЗ				

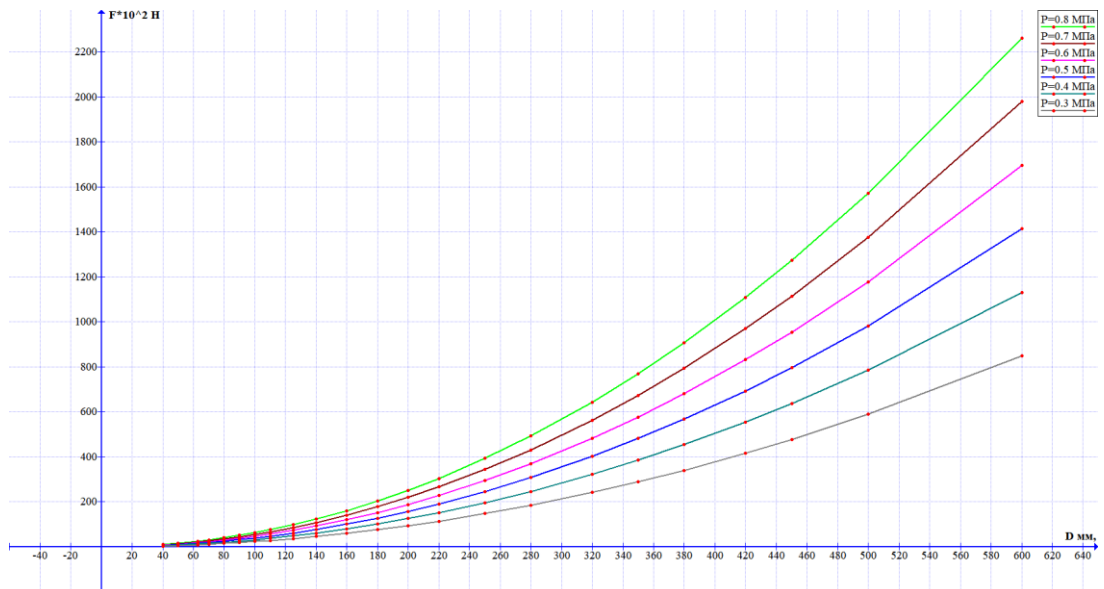


Рис. 2.4. Залежності сили тяги поршня від діаметру поршня при різних значеннях тиску (3-8 барів)

Розрахований за формулою (31) діаметр округлюють у велику сторону до найближчого стандартного значення, відповідного зовнішньому діаметру манжети, ущільнюючої поршень.

Далі виконують уточнений перевірочний розрахунок з використанням формул (7), (8), (10), (11), (12), (13), (30). Якщо в результаті перевірочного розрахунку умови (5) і (6) виконуються, то розрахунок повторюють, зменшивши діаметр циліндра до попереднього стандартного значення. В іншому випадку розрахунок повторюють, збільшивши діаметр циліндра до наступного стандартного значення.

Зовнішній діаметр пневмоциліндра, визначають за формулою.

$$D_3 = D \left[1 + K \left(\sqrt{\frac{[\sigma] + 1,3P(1 - 2\mu)}{[\sigma] - 1,3P(1 + 2\mu)}} - 1 \right) \right] \quad (32)$$

де K - коефіцієнт запасу міцності, $K = 3 \dots 5$;

μ - коефіцієнт поперечної деформації (коефіцієнт Пуассона), для сталі $\mu = 0,29$; для алюмінієвих сплавів - $0,26-0,33$; для латуні - $0,35$.

$[\sigma]$ - допустиме напруження на розтяг, для сталевого лиття $[\sigma] = (0,8 \dots$

	$1) \cdot 10^8 \text{ Па}$								Лист
									38
Змн.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата					

ВЛ7210.16.90.00.00ПЗ

Отриману величину округлюють до більшого стандартного значення (10, 12, 16, 20, 25, 32, 36, 40, 50, 63, 70, 80, 90, 100, 110, 125, 140, 160, 180, 200, 220, 250, 280, 320, 350, 380, 420, 450, 500, 600, 700, 800, 900, 1000, 1100, 1200, 1400 мм).

Жорсткість пружини яка повертає поршень, Н / м, визначається за формулою

$$G = \frac{F_{\text{прот}1} - F_{\text{прот}2}}{S} = \frac{F_{\text{прот}2}(k_1 - 1)}{S} \quad (33)$$

Довжина пружини яка повертає поршень у вільному стані, м

$$L_{\text{СВ}} = L_{\text{max}} + \delta_{\text{min}} \quad (34)$$

де δ_{min} - мінімальна деформація пружини в кінці зворотного ходу поршня, м

$$\delta_{\text{min}} = \frac{F_{\text{прот}2}}{G} \quad (35)$$

Підставивши в формулу (35) значення G з виразу (33), отримаємо

$$\delta_{\text{min}} = \frac{S}{k_1 - 1} \quad (36)$$

Підставивши у вираз (34) значення L_{max} і δ_{min} з формул (21), (36) і виконавши відповідні перетворення, отримаємо

$$L_{\text{СВ}} = S \left(\frac{k_2}{k_2 - 1} + \frac{1}{k_1 - 1} \right) \quad (37)$$

2.2 Модель під час запуску

Під час запуску БПЛА прикріплюється до каретки, тому на нього діля сила земного тяжіння, аеродинамічне зусилля, зумовлене аеродинамічними силами, вагою самої системи та силою, що приводить в рух каретку. Метою цієї моделі є визначення необхідної сили, необхідної для руху каретки, та його прискорення. Діаграму вільного тіла можна побачити на (рис 2.5). Припущення полягає в тому, що сила F залишатиметься постійною під час запуску, оскільки це спрощує розрахунки.

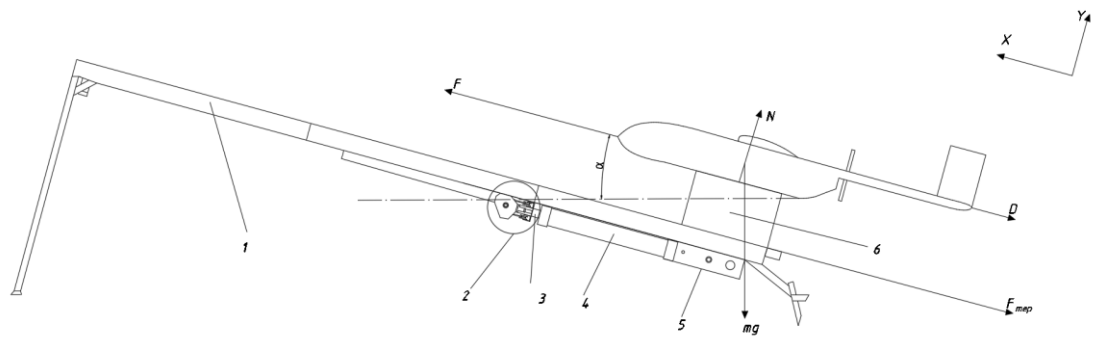


Рис 2.5. Діаграма вільного тіла

1 – направляюча катапульти 2 – поліспаст 3 – шток 4 – пневмоциліндр
5 – локальний пульт управління 6 – каретка

Рівняннями Ньютона-Ейлера є:

$$\begin{cases} F - D - F_{\text{тер}} - mg \sin \alpha = ma \\ N - mg \cos \alpha = 0 \end{cases} \quad (38)$$

де D і F задаються рівняннями

$$D = \frac{1}{2} \rho_{\infty} (S_{\text{кр}} C_{D\text{кр}} + S_{\text{хв}} C_{D\text{хв}}) v^2 \quad (39)$$

$$F_{\text{тер}} = \mu N \quad (40)$$

де ρ_{∞} – щільність яка знаходиться далеко від об'єкту, $S_{\text{кр}}$ і $C_{D\text{кр}}$ – площа та коефіцієнт опору крила та тіла відповідно, $S_{\text{хв}}$ і $C_{D\text{хв}}$ – площа і коефіцієнт опору хвоста, $F_{\text{тер}}$, - сила тертя коліс візка з поверхнею, N - нормальна сила опори, mg - вага системи, m - маса системи, x - положення системи, μ - динамічний коефіцієнт тертя.

$$N = mg \cos \alpha \quad (41)$$

І необхідна сила:

$$F = \frac{1}{2} \rho_{\infty} (S_{\text{кр}} C_{D\text{кр}} + S_{\text{хв}} C_{D\text{хв}}) v^2 + mg \cos \alpha + mg \sin \alpha + ma \quad (42)$$

Прискорення \ddot{x} визначається як:

$$a = \frac{v_{\text{кінц}}^2 - v_{\text{поч}}^2}{2L_{\text{кат}}} \quad (43)$$

де L - довжина направляючої.

$v_{\text{кінц}}$ – це мінімальна швидкість при якій БПЛА має взлетіти, вона

знаходиться за формулою

Лист

ВЛ7210.16.90.00.00ПЗ

40

Змн. Лист № докум. Підпис Дата

$$V_{\text{кінц}} = V_{\text{звал}} = 0,6V_{\text{крейс}} \quad (43)$$

Висновки до 2 розділу

В даному розділі були розглянуті математичні моделі розрахунку повітряного циліндру, та математична модель катапульти. Показані схеми розрахункових моделей, та проведений розрахунок за даними моделями.

					ВЛ7210.16.90.00.00ПЗ	Лист
Змн.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		41

3. ВИЗНАЧЕННЯ МАСОВО-ГЕОМЕТРИЧНИХ ТА ДИНАМІЧНИХ ПАРАМЕТРІВ КАТАПУЛЬТИ

3.1 Визначення динамічних параметрів катапульти

Використовуючи метод розрахунку з пункту 2.2 пояснювальної записки (далі ПЗ) дипломного проекту (далі ДП) розраховуємо параметри катапульти при наступних вхідних даних[13]:

- максимальна швидкість каретки з ЛА
- $v_{\max} = 21 \text{ м / с};$
- $v_{\min} = 15 \text{ м/с};$
- маса каретки і БПЛА $m = 45 \text{ кг};$
- задана максимальна допустима перевантаження $n_{\max} = 6;$
- прискорення вільного падіння, 9.81 м / с^2

Потрібна сила:

$$F = m \cdot g \cdot n_{\max} = 2648,7 \text{ Н.}$$

Прискорення каретки с БПЛА.

$$a = g \cdot n_{\max} = 58,86 \text{ м/с}^2.$$

На рис. 3.1 показана залежність прискорення від перенавантаження



Рис. 3.1. Залежності прискорення a від перенавантаження n

Довжину направляючої при рівномірно прискореному русі

$$S_{\max} = \frac{V_{\max}^2}{2 \cdot a} = 3.75 \text{ м.}$$

Знаючи прискорення та кінцеву швидкість знаходимо час t за який БПЛА набирає швидкість $v_{\min}=15 \text{ м/с}$.

На рис. 3.2 показана залежність часу від швидкості при різних прискореннях.

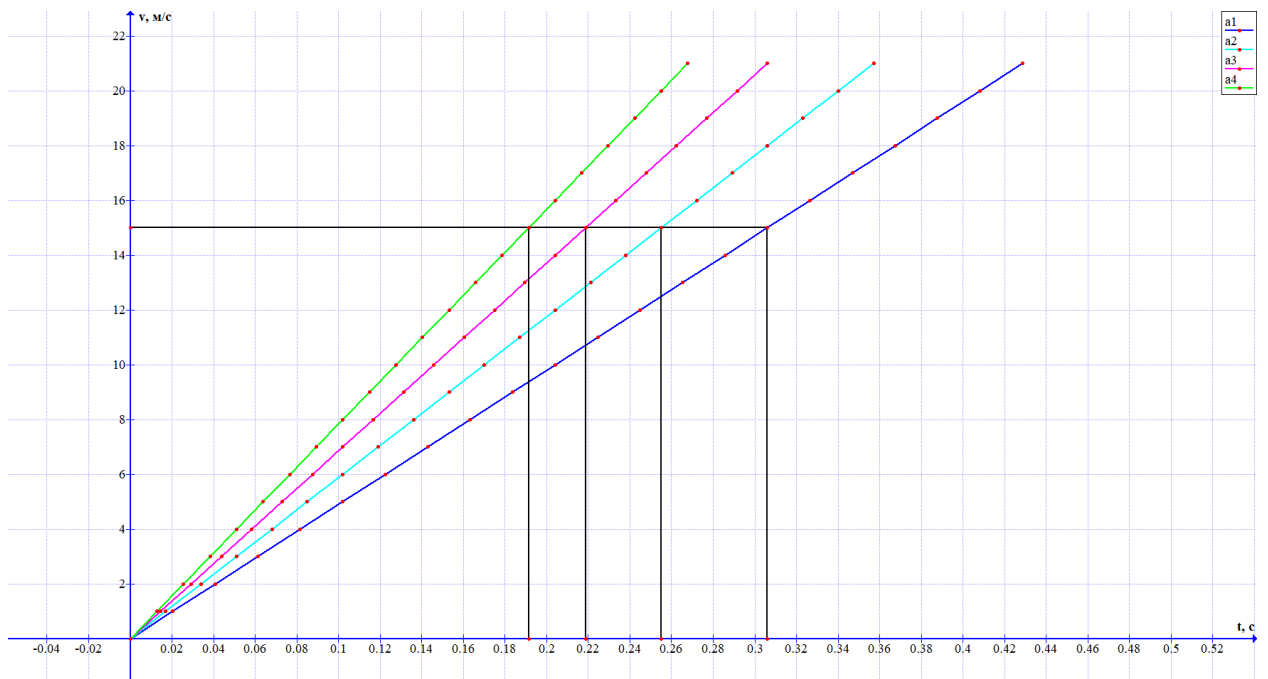


Рис. 3.2. Залежність часу t від швидкості v при прискоренні

$$a1 - a=49 \text{ м/с}^2;$$

$$a2 - a=58,8 \text{ м/с}^2;$$

$$a3 - a=68,6 \text{ м/с}^2;$$

$$a4 - a=78,4 \text{ м/с}^2;$$

На рис. 3.3 показана залежність шляху від часу при різних прискореннях.

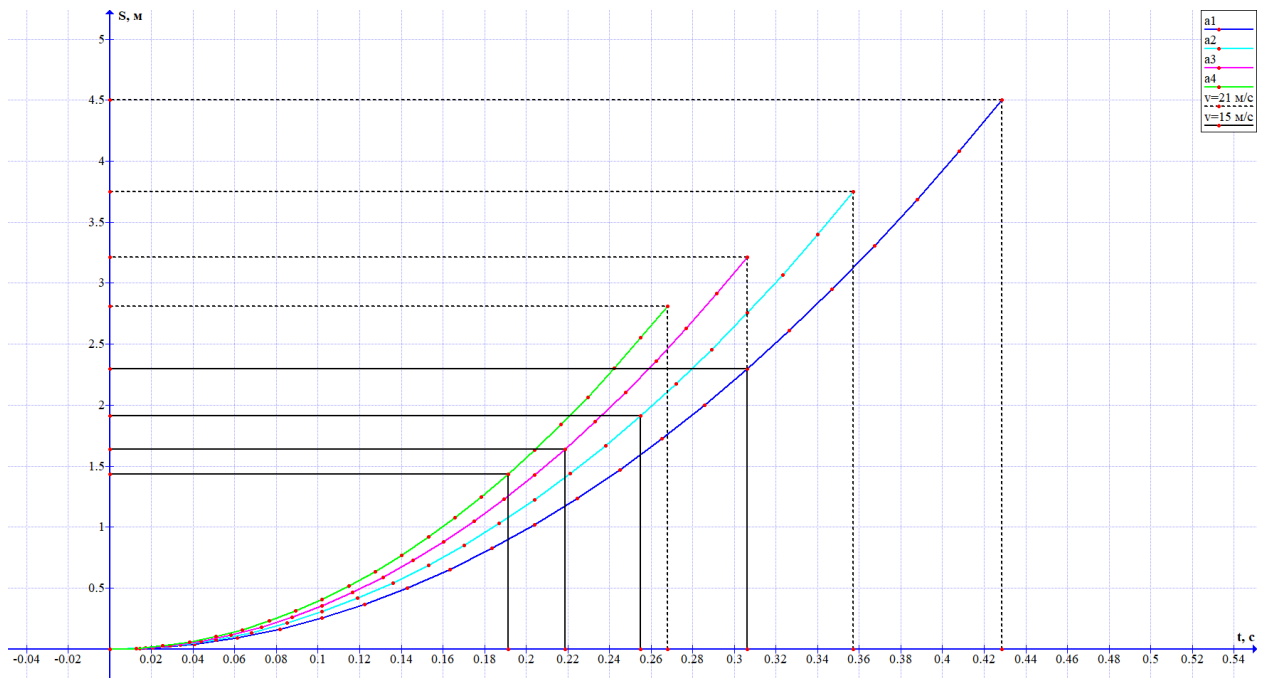


Рис. 3.3. Залежність довжини S від часу t при прискоренні

$$a1 - a=49 \text{ м/с}^2$$

$$a2 - a=58,8 \text{ м/с}^2$$

$$a3 - a=68,6 \text{ м/с}^2$$

$$a4 - a=78,4 \text{ м/с}^2$$

3.2 Розрахунок пневматичного повітряного циліндра

Для розрахунку пневмоциліндра необхідні наступні данні:

$F_{\text{кор}1}, F_{\text{кор}2}$ – корисне зусилля;

S – хід поршня пневмоцилінтра, мм;

L - довжина штока, мм;

T_1, T_2 - тривалість переміщення поршня пневмоциліндра в прямому і зворотному напрямках, с;

M_1, M_2 - маса частин, що переміщуються пневмоприводом в прямому і зворотному напрямках, кг;

P – тиск в робочій порожнині пневмоциліндра, МПа (робочою порожниною циліндра є та, в яку подається повітря від компресора для створення тягового зусилля приводу);

p – тиск в частині з якої витісняється повітря.

Корисне зусилля, що розвивається приводом:

									Лист
									44
Змн.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата	ВЛ7210.16.90.00.00ПЗ				

- в прямому напрямку (в напрямку стиснення штока пневмоциліндра)

$$F_{\text{кор1}} = 2648,7 \text{ Н};$$

- в зворотному напрямку (в напрямку розтягування штока пневмоциліндра)

діапазон значень, що рекомендуються - 0-0,3 від величини зусилля в прямому напрямку

$$F_{\text{кор2}} = 264,8 \text{ Н.}$$

Хід поршня пневмоциліндра (діапазон значень, що рекомендуються – 10 - 2 000 мм, до 100 мм - кратний 10 мм, до 500 мм - кратний 50 мм, більше 500 мм - кратний 100мм) з конструкторських міркувань вибираємо:

$$S = 800 \text{ мм.}$$

Тривалість переміщення поршня: з

- в прямому напрямку

$$T_1 = 0.3 \text{ с};$$

- у зворотньому напрямку

$$T_2 = 0.2 \text{ с.}$$

Переміщувана маса (переміщуються частин приводу і об'єкту пересування): кг

- в прямому напрямку

$$M_1 = 45 \text{ кг};$$

- у зворотньому напрямку

$$M_2 = 5 \text{ кг.}$$

Тиск повітря: МПа

- в робочій порожнині циліндра

$$P = 0,6 \text{ МПа};$$

- витісняється з неробочої порожнини циліндра

$$p = 0,05 \text{ МПа.}$$

Розрахунок параметрів пневмоциліндра починають з розрахунку діаметра штоку.

									Лист
									45
Змн.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата					

ВЛ7210.16.90.00.00ПЗ

Так як під час руху поршня розрахунок проводять за формулою (3) з урахуванням стійкості штока під дією стискаючого зусилля.

$$d_1 = \sqrt[4]{\frac{f \cdot 256 F_{\text{кор1}} L^2}{\pi^3 E}} = \sqrt[4]{\frac{2,5 \cdot 256 \cdot 2648,7 \cdot 0,8^2}{\pi^3 E}} = 0,028 \text{ м};$$

де E - модуль пружності (модуль Юнга) для сталі $E = 2,1 \cdot 10^{11}$ Па;

$F_{\text{кор1}}$ – корисне зусилля, Н;

L - довжина штока, м (перевищує хід поршня на 0,05-0,25 м);

f – запас стійкості штоку, $f = 1,5-2,5$.

$$d_2 = 2 \sqrt{\frac{1,05 F_{\text{кор2}}}{\pi [\sigma]}} = 2 \sqrt{\frac{1,05 \cdot 264,8}{3,14 \cdot 1,6 \cdot 10^8}} = 0,0014 \text{ м};$$

де 1,05 - коефіцієнт запасу, що враховує додаткове навантаження на шток за рахунок тертя, що виникає в місці контакту з циліндром.

$[\sigma]$ - допустиме напруження на розтяг, для сталі $[\sigma] = 1,6 \cdot 10^8$ Па.

Далі вибираєм більший з діаметрів і округлюємо у велику сторону до найближчого стандартного значення.

$$d_1 = 28 \text{ мм.}$$

Розрахункова довжина штока визначається за формулою(21):

$$L = \frac{S \cdot k_2}{k_2 - 1} + l_d = \frac{800 \cdot 2,5}{2,5 - 1} + 150 = 1483,33 \text{ мм.}$$

Дану величину округляем в більшу сторону кратне 50.

$$L = 1500 \text{ мм.}$$

Розрахунковий внутрішній діаметр пневмоциліндра (діаметр поршня) визначається за формулою (33).

$$D = 2 \sqrt{\frac{1}{0,99 \pi P} \left(F_{\text{кор1}} + k_1 \frac{1}{0,94} \left(F_{\text{кор2}} + \frac{2S}{T_2^2} M_2 \right) + \frac{2S}{T_1^2} M_1 \right)} =$$

$$= 2 \sqrt{\frac{1}{0,99 \cdot 3,14 \cdot 0,6 \cdot 10^6} \left(2648,7 + 2 \cdot \frac{1}{0,94} \left(264,8 + \frac{2 \cdot 800}{0,2^2} 5 \right) + \frac{2 \cdot 800}{0,44^2} 45 \right)}$$

$$= 87 \text{ мм.}$$

						Лист
Змн.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		46

ВЛ7210.16.90.00.00ПЗ

Розрахований за формулою діаметр округлюють у велику сторону до найближчого стандартного значення.

$$D = 100 \text{ мм.}$$

На рис. 3.4 показана залежність діаметра від тиску при заданому зусиллі

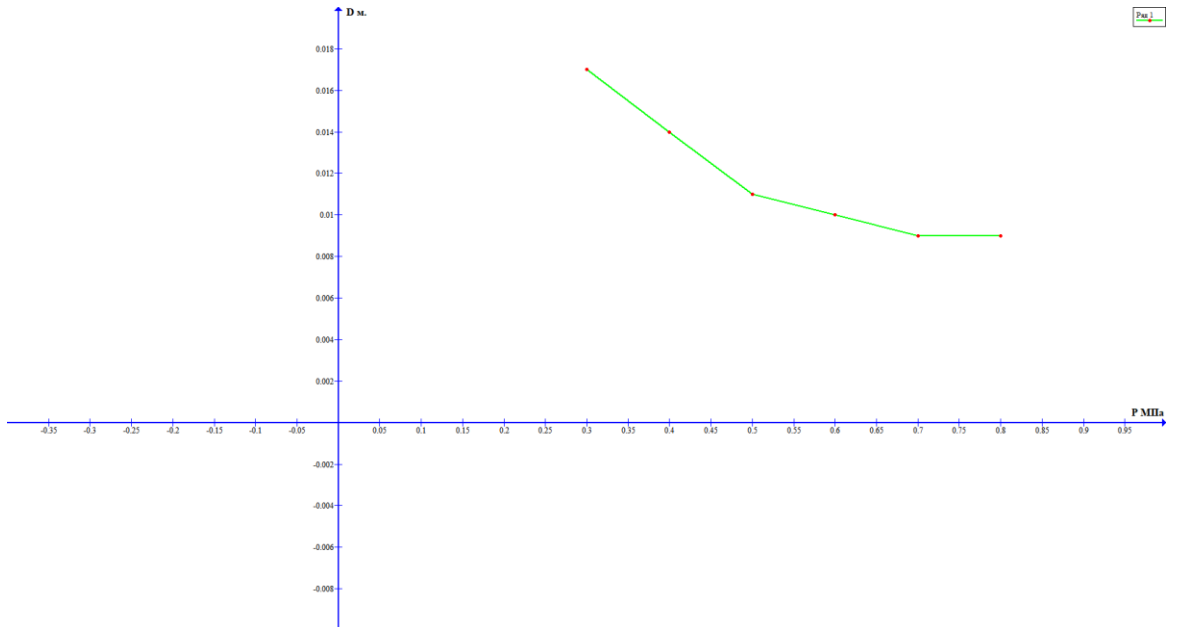


Рис. 3.4. Залежність діаметра поршня від тиску при зусиллі $F_{\text{кор}1} = 2648,7 \text{ Н}$

Далі виконуємо уточнений перевірочний розрахунок з використанням формул (7), (8), (10), (11), (12), (13), (30).

Умова працездатності пневмоциліндра однобічної дії зі зворотнім пружинним ходом можна описати виразами:

– для прямого ходу –

$$F_1 \geq F_{\text{кор}1} + F_{\text{терт}1} + F_{\text{прот}1} + F_{\text{інерц}1}; \quad (5)$$

– для зворотного ходу –

$$F_{\text{прот}2} \geq F_{\text{кор}2} + F_{\text{терт}2} + F_{\text{інерц}1} + W; \quad (6)$$

$$\begin{aligned} F_{\text{кор}1} + F_{\text{терт}1} + F_{\text{прот}1} + F_{\text{інерц}1} &= F_{\text{кор}1} + \mu \pi D H p + F_{\text{прот}2} \cdot k_1 + \frac{2S}{T_1^2} M_1 = \\ &= 2648,7 + 0,2 \cdot 3,14 \cdot 0,1 \cdot 6,5 \cdot 0,6 \cdot 10^6 + 834 \cdot 2 + \frac{2 \cdot 0,8}{0,44^2} \cdot 45 = 4490 \text{ Н.} \end{aligned}$$

$$F_{\text{прот}2} = F_{\text{кор}2} + F_{\text{терт}2} + F_{\text{інерц}1} + W = F_{\text{кор}2} + \mu \pi D H p + \frac{2S}{T_2^2} M_2 + \frac{\pi D^2}{4} p =$$

					ВЛ7210.16.90.00.00ПЗ	Лист
						47
Змн.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		

$$= 264,8 + 0,2 \cdot 3,14 \cdot 0,1 \cdot 6,5 \cdot 0,05 \cdot 10^6 + \frac{2 \cdot 0,8}{0,2^2} \cdot 5 + \frac{3,14 \cdot 0,1^2}{4} \cdot 0,05 =$$

$$= 834 \text{ Н.}$$

$$F_1 = \frac{\pi D^2}{4} P = \frac{3,14 \cdot 0,1^2}{4} 0,6 \cdot 10^6 = 4710 \text{ Н.}$$

Визначимо зовнішній діаметр пневмоциліндра, за формулою(32).

$$D_3 = D \left[1 + K \left(\sqrt{\frac{[\sigma] + 1,3P(1 - 2\mu)}{[\sigma] - 1,3P(1 + 2\mu)}} - 1 \right) \right] =$$

$$= 100 \left[1 + 4 \left(\sqrt{\frac{0,8 \cdot 10^8 + 1,3 \cdot 0,6 \cdot 10^6(1 - 29)}{0,8 \cdot 10^8 - 1,3 \cdot 0,6 \cdot 10^6(1 + 29)}} - 1 \right) \right] = 104 \text{ мм;}$$

де К - коефіцієнт запасу міцності, К = 3 ... 5;

μ - коефіцієнт поперечної деформації (коефіцієнт Пуассона), для сталі $\mu = 0,29$; для алюмінієвих сплавів - 0,26-0,33; для латуні - 0,35.

$[\sigma]$ - допустиме напруження на розтяг, для сталевого лиття $[\sigma] = (0,8 \dots 1) \cdot 10^8 \text{ Па}$

Отриману величину округлюють до більшого стандартного значення

$$D_3 = 110 \text{ мм.}$$

Далі розраховуємо жорсткість пружини яка повертає поршень за формулою (33):

$$G = \frac{F_{\text{прот1}} - F_{\text{прот2}}}{S} = \frac{F_{\text{прот2}}(k_1 - 1)}{S} = \frac{834 \cdot (2 - 1)}{0,8} = 1043 \text{ Н/м.}$$

Довжина пружини у вільному стані визначається за формулою(34):

$$L_{\text{св}} = L_{\text{max}} + \delta_{\text{min}};$$

де δ_{min} - мінімальна деформація пружини в кінці зворотного ходу поршня, визначається за формулою(35):

$$\delta_{\text{min}} = \frac{F_{\text{прот2}}}{G};$$

а значення L_{max} знаходиться за формулою (20):

$$L_{\text{max}} = \frac{S \cdot k_2}{k_2 - 1}.$$

					Лист
					48
Змн.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата	ВЛ7210.16.90.00.00ПЗ

Підставивши значення G з виразу (33), отримаємо:

$$\delta_{\min} = \frac{S}{k_1 - 1}.$$

Остаточно L_{CB} дорівнює:

$$L_{CB} = S \left(\frac{k_2}{k_2 - 1} + \frac{1}{k_1 - 1} \right) = 800 \left(\frac{2,5}{2,5 - 1} + \frac{1}{2 - 1} \right) = 2134 \text{ мм.}$$

Швидкість руху цього поршня залежить від обсягу потоку, що подається до нього. Припустимо, циліндр площі A перемістився на відстань l , для цього потрібен об'єм V газу:

$$V = A \cdot l = 0,00785 \cdot 0,8 = 0,00628 \text{ м}^3;$$

де A і l дорівнюють:

$$A = \frac{\pi D^2}{4} = \frac{3,14 \cdot 100^2}{4} = 7850 \text{ (мм}^2\text{)} = 0,00785 \text{ м}^2.$$

$$l = S = 0,8 \text{ м.}$$

На рис.3.5 показана залежність об'єма газу в поршні від діаметра.

					<i>ВЛ7210.16.90.00.00ПЗ</i>	<i>Лист</i>
<i>Змн.</i>	<i>Лист</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>		49

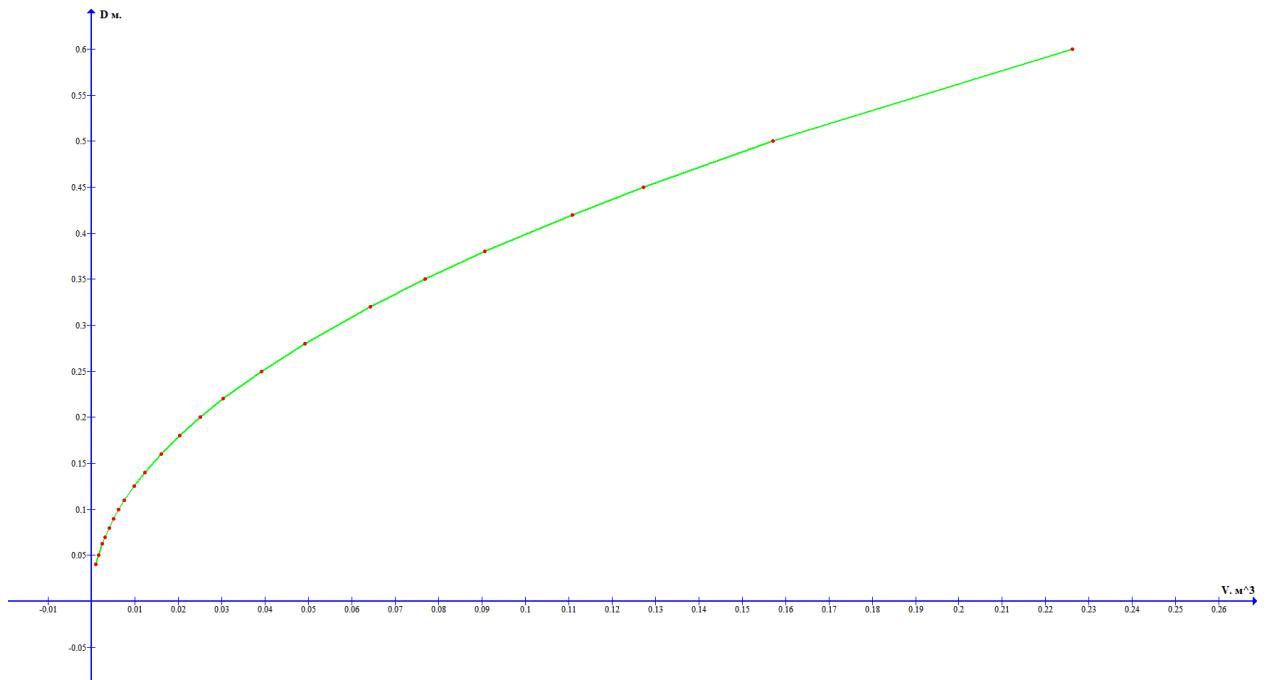


Рис. 3.5. Залежність об'єма V газу в поршні від діаметра D

Якщо поршень рухається зі швидкістю $v_{\text{порш}}$, то він рухається на відстань d за час t :

$$v_{\text{порш}} = \frac{l}{T_1} = \frac{0,8}{0,3} = 2,67 \frac{\text{м}}{\text{с}};$$

отже, швидкість потоку, V_f визначається як:

$$V_f = \frac{A \cdot l}{T_1} = A \cdot v_{\text{порш}}; \quad (44)$$

де A - площа поршня, $v_{\text{порш}}$ швидкість поршня.

На рис 3.6 показано теоретичну швидкість потоку для площі $A = 0,00785$ м^2 .

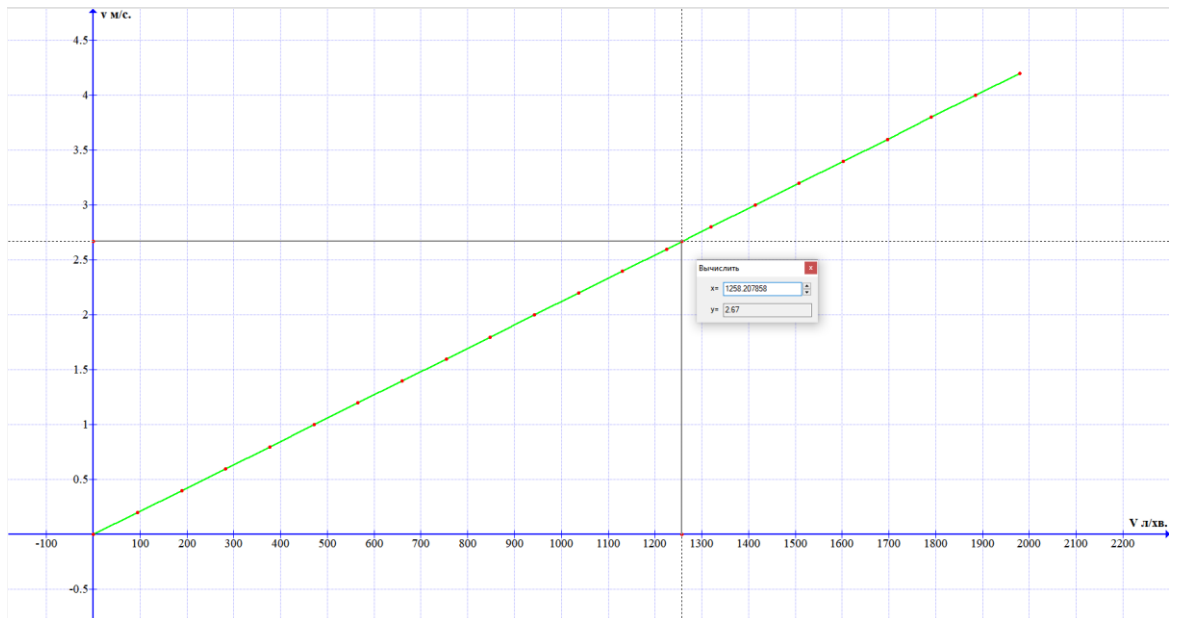


Рис. 3.6. Необхідний потік повітря може досягати 1258,208 л/хв, щоб отримати швидкість 2,67 м/с

Після того як знайшли швидкість ходу поршня, визначаємо кратність поліпасти, щоб отримати задану швидкість старту БПЛА. Залежність швидкості від кратності поліпасти зображено на рис 3.7.

Ряд 1

Рис. 3.7. Залежність швидкості від кратності поліпасти

Пневмоциліндр працює автономно і живиться від бензинового генератора. Управління запуском буде здійснюватися за допомогою віддаленої панелі управління. Рівень тиску в балонах контролюється манометрами.

Висновок до 3 розділу

ВЛ7210.16.90.00.00ПЗ

Лист

51

Змн.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата

В третьому розділі було проведена розрахунки динамічних параметрів катапульти та пневмоциліндра а саме:

- розрахунок необхідного прискорення для взльоту;
- розрахунок довжини направляючої катапульти;
- розрахунок діаметра штоку пневмоциліндра;
- розрахунок довжини штока пневмоциліндра;
- розрахунок швидкості ходу поршня пневмоциліндра;
- розрахунок кратності поліспасти.

Отримані данні будуть використовуватись для побудови просторової моделі катапульти.

					ВЛ7210.16.90.00.00ПЗ	Лист
Змн.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		52

4. ПРОЕКТУВАЛЬНИЙ РОЗРАХУНОК КОНСТРУКЦІЇ КАТАПУЛЬТИ

4.1 Проектний розрахунок направляючої катапульти

Основними критеріями розрахунку направляючої є міцність і жорсткість. Розрахунок виконується в два етапи: проектний розрахунок і перевірочний розрахунок[16].

Розрахунок балки на міцність проводиться за максимальними нормальним σ_{\max} і дотичним τ_{\max} напруженням, а також з використанням теорії міцності. Надалі будемо використовувати співвідношення третьої теорії міцності.

Вважаємо, що матеріал балки однаково опирається розтягують і стискає напруженням.

Умови міцності по максимальних напруг представляються наступним чином:

$$\sigma_{\max} = \frac{|M_{\max}|}{W} \leq [\sigma] \quad (45)$$

$$\tau_{\max} = \frac{|Q_{\max}|}{J} \left(\frac{S_x(y)}{b(y)} \right)_{\max} \leq [\tau] \quad (46)$$

де $[\sigma]$, $[\tau]$ – допустимі значення напружень, $W=J/y_{\max}$ – осьовий момент опору перерізу.

Умови третьої теорії міцності:

$$\sigma_{||} \equiv \sqrt{\sigma^2 + 4\tau^2} \leq [\sigma] \quad (47)$$

Розрахунок на міцність балки з поперечним перерізом у вигляді квадрата проводиться в наступній послідовності. З умов міцності за максимальними нормальними напруженням (45) довжину сторони квадрата, для якого перевіряється виконання умов (46) і (47). Якщо одне з них порушується, то розміри поперечного перерізу балки (сторону) слід збільшити до величини, при якій виконуються всі умови міцності.

При обчисленні лівих частин нерівностей (45) - (46) слід використовувати значення M і Q , що виникають в так званих небезпечних (найбільш напружених) перетинах.

Для визначення небезпечних перетинів будуються епюри Q і M .

При розрахунку за максимальними нормальними напруженням σ_{\max} небезпечним є перетин, в якому згинальний момент M приймає найбільше значення.

При розрахунку за максимальними дотичним напруженням τ_{\max} небезпечним є перетин, в якому поперечна сила Q приймає найбільше значення.

У разі використання співвідношення (46) небезпечним є перетин, в якому еквівалентне напруження σ_{III} має найбільше значення. Якщо M і Q приймають максимальні значення в одному перерізі, то в цьому ж перетині максимальним буде і σ_{III} . Якщо ж найбільші значення M і Q виникають в різних перетинах, то виконання умови (46), слід перевірити для перетинів, в яких M і Q значні за величиною.

Напруги σ і τ змінюються по висоті перетину. Умови (45), (46) записуються в відповідних точках максимуму σ і τ . Виконання нерівності (46) слід перевірити для точок, в яких σ і τ значні за величиною. Для проведення цієї перевірки в небезпечному перерізі балки будують епюри σ і τ .

					<i>ВЛ7210.16.90.00.00ПЗ</i>	<i>Лист</i>
<i>Змн.</i>	<i>Лист</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>		54

4.2 Проектний розрахунок направляючої катапульти при різному положенні каретки

Проектний розрахунок направляючої катапульти проводиться для 3 положень каретки, в залежності до положення каретки буде змінюватись і прикладання сили $F=2.52$ кН.

Перше положення каретки на початку направляючої, сила прикладена на відстані 0,15 м від початку направляючої .

Друге положення каретки по середині направляючої, сила прикладена на відстані 2 м від початку направляючої.

Третє положення каретки в кінці направляючої, сила прикладена на відстані 4 м від початку направляючої.

З конструкторських міркувань вибираєм профіль квадратного перерізу

1) Каретка на початку руху

Схему навантаження направляючої зображено (рис. 4.1).

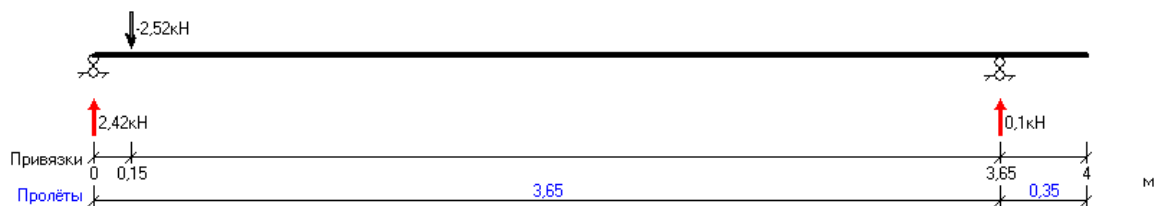


Рис. 4.1. Розрахункова схема направляючої

Розрахунок був проведений за допомогою програмного забезпечення «Balka»

В ході розрахунку були побудовані епюри поперечних сил (рис 4.2) та згинаючих моментів (рис 4.3).

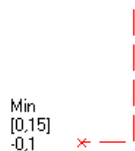


Рис. 4.2. Еюра поперечних сил [кН]

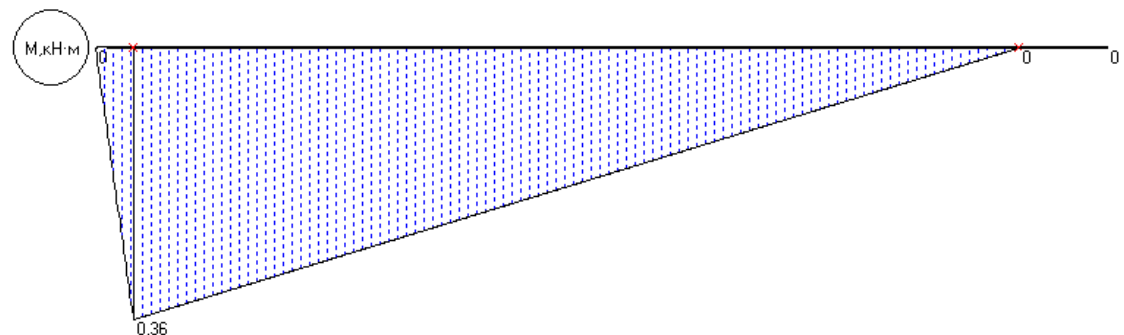
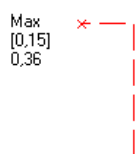


Рис. 4.3. Еюра згинаючих моментів [кН·м]

Результати розрахунку

Момент інерції, $J_x = 276,56 \text{ см}^4$

Момент опору, $W_x = 72,87 \text{ см}^3$

Матеріал - Сталь 40

Розрахунковий опір стали, $R_y = 230 \text{ МПа}$

Відносний прогин - 1/250 прольоту

Модуль пружності, $E = 206000 \text{ МПа}$

Напруження в балці, без урахування власної ваги:

- нормальне (від M_{max}): 12,72 МПа

- дотичне: (від Q_{max}) 14,05 МПа

									Лист
									56
Змн.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата					

ВЛ7210.16.90.00.00ПЗ

Максимальний прогин (з к-том надійності) дорівнює 1,10 м-3,
що становить 1/3325 від максимального прольоту 3,65 м.
Перетин елемента проходить за умовами міцності і жорсткості.

2) Каретка в середині руху

Схему навантаження направляючої зображено (рис. 4.4).

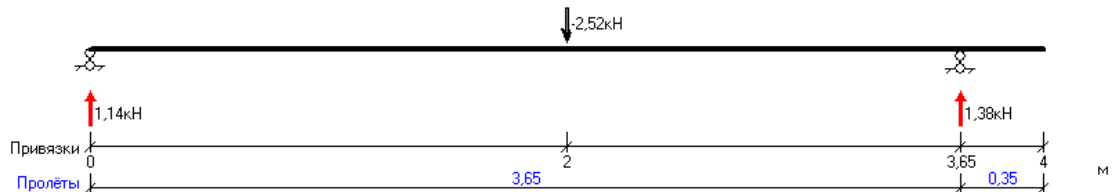


Рис. 4.4. Розрахункова схема направляючої

Розрахунок був проведений за допомогою програмного забезпечення «Balka».

В ході розрахунку були побудовані епюри поперечних сил (рис 4.5) та згинаючих моментів (рис 4.6).

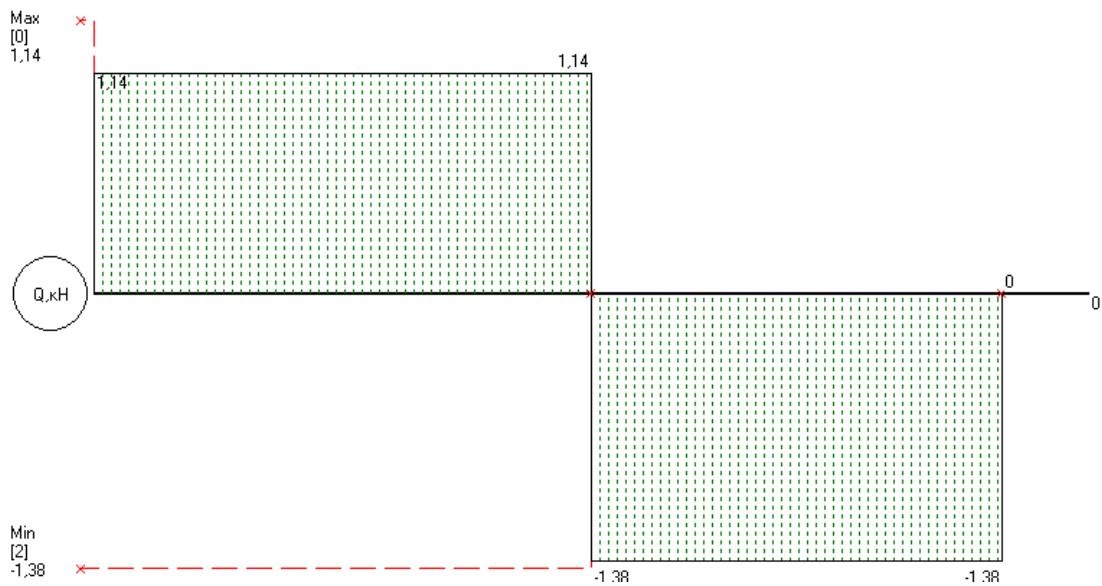


Рис. 4.5. Епюра поперечних сил [кН]

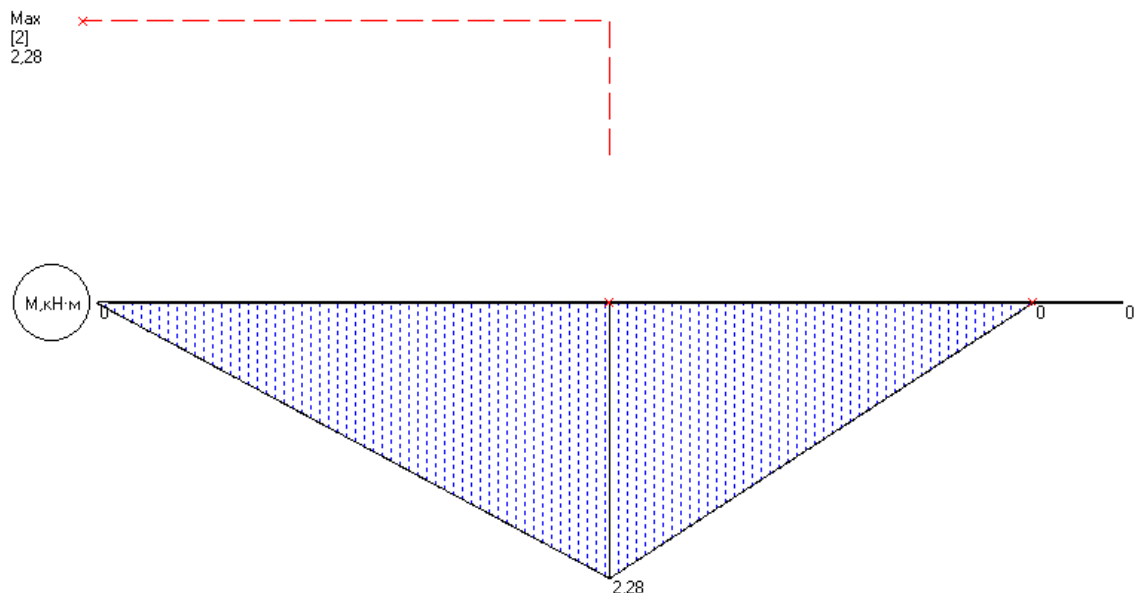


Рис. 4.6. Епюра згинаючих моментів [кН·м]

Результати розрахунку

Момент інерції, $J_x = 276,56 \text{ см}^4$

Момент опору, $W_x = 68,87 \text{ см}^3$

Матеріал - Сталь 40

Розрахунковий опір стали, $R_y = 230 \text{ МПа}$

Відносний прогин - $1/250$ прольоту

Модуль пружності, $E = 206000 \text{ МПа}$

Напруження в балці, без урахування власної ваги:

- нормальне (від M_{max}): $79,94 \text{ МПа}$
- дотичне: (від Q_{max}) $8,03 \text{ МПа}$

Максимальний прогин (з к-том надійності) дорівнює $8,59 \text{ м}^{-3}$, що становить $1/425$ від максимального прольоту $3,65 \text{ м}$.

Перетин елемента проходить за умовами міцності і жорсткості.

3) Каретка в кінці руху

Схему навантаження направляючої зображено (рис. 4.7).

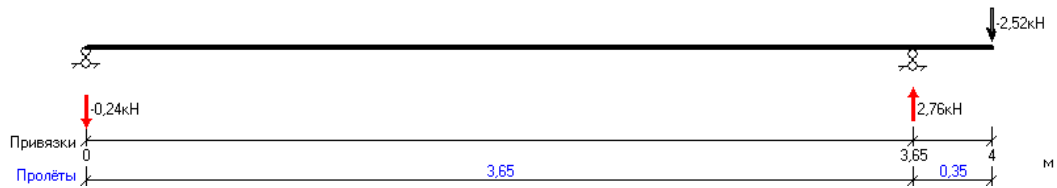


Рис. 4.7. Розрахункова схема направляючої

Розрахунок був проведений за допомогою програмного забезпечення «Balka».

В ході розрахунку були побудовані епюри поперечних сил (рис 4.8) та згинаючих моментів (рис 4.9).

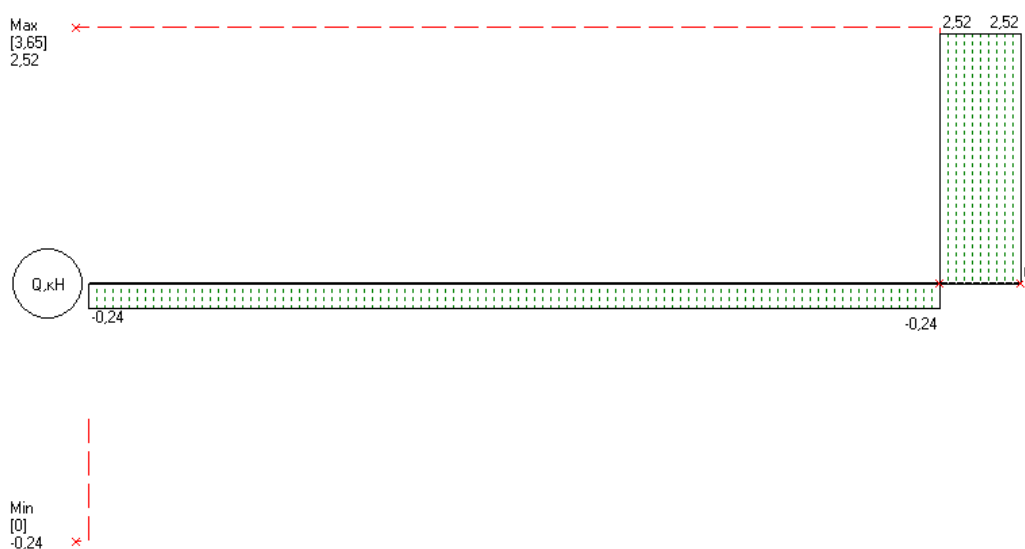


Рис. 4.8. Епюра поперечних сил [кН]

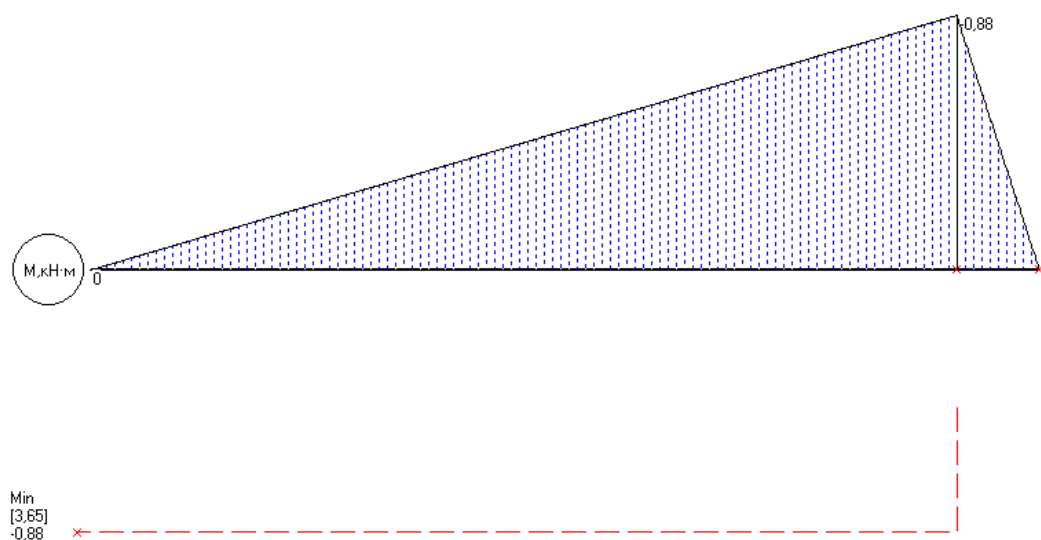


Рис. 4.9. Епюра згинаючих моментів [кН·м]

Результати розрахунку					Лист
					59
Змн.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата	

B17210.16.90.00.00ПЗ

Момент інерції, $J_x = 276,56 \text{ см}^4$

Момент опору, $W_x = 68,87 \text{ см}^3$

Матеріал - Сталь 40

Розрахунковий опір стали, $R_y = 230 \text{ МПа}$

Відносний прогин - $1/250$ прольоту

Модуль пружності, $E = 206000 \text{ МПа}$

Напруження в балці, без урахування власної ваги:

- нормальне (від M_{\max}): $30,95 \text{ МПа}$

- дотичне: (від Q_{\max}) $14,65 \text{ МПа}$

Максимальний прогин (з к-том надійності) дорівнює $2,57 \text{ м}^{-3}$,

що становить $1/1421$ від максимального прольоту $3,65 \text{ м}$.

Перетин елемента проходить за умовами міцності і жорсткості.

Знаючи момент інерції, $J_x = 276,56 \text{ см}^4$ і момент опору, $W_x = 68,87 \text{ см}^3$,
можемо знайти довжину сторони квадрату за формулами:

$$J_x = J_y = \frac{a^4}{12}$$

$$W_x = W_y = \frac{a^3}{6}$$

З рівнянь знаходимо a :

$$a = \sqrt[4]{J_x \cdot 12} = \sqrt[4]{276,56 \cdot 12} = 7,59 \text{ см} = 75,9 \text{ мм}$$

$$a = \sqrt[3]{W_x \cdot 6} = \sqrt[3]{68,87 \cdot 6} = 7,45 \text{ см} = 74,5 \text{ мм}$$

Отже можна зробити висновок, що мінімальна довжина сторони є $75,9$ мм. Але щоб забезпечити більш надійну конструкцію та ресурс я збільшу довжину сторони до 100 мм.

Висновок до 4 розділу

В четвертому розділі був проведений проектний розрахунок направляючої катапульти, визначені максимальні напруження в балці, моменти інерції та опору, максимальний прогин та знайдено довжину сторони профілю.

		5. РОЗРОБКА ПРОСТОРОВОЇ МОДЕЛІ КАТАПУЛЬТИ			Лист
		ВЛ7210.16.90.00.00ПЗ			
Змн.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата	60

Для побудови просторової моделі було використано дані розрахунків попередніх розділів. Для виконання просторової моделі було використано програмне забезпечення Siemens NX 12.

5.1 Розробка просторової моделі направляючої катапульти

Для виготовлення направляючої катапульти (рис 5.1) було вибрано сталеву балку квадратного перерізу профіля до якої приєднуються рейки по яким буде рухатися наша каретка.

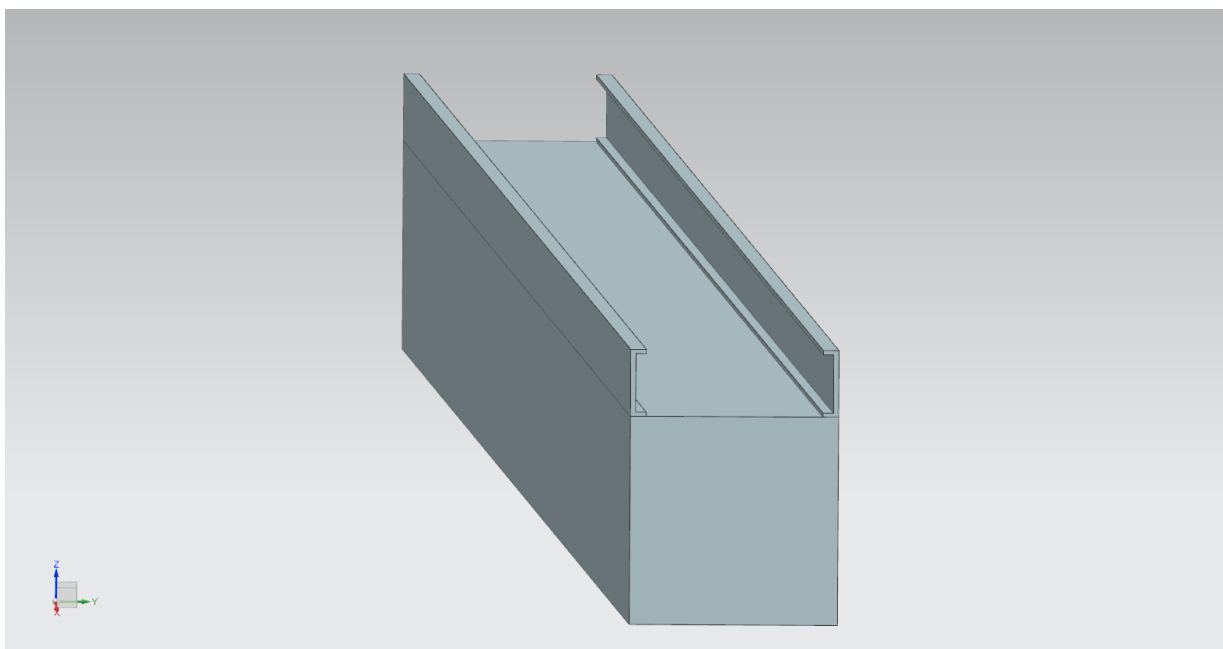


Рис 5.1. просторова модель направляючої та рейки

Створюємо збірку, додаємо опори, так щоб кут запуску $\alpha=15^\circ$ та схематичну модель каретки (рис 5.2).

									Лист
									61
Змн.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата	ВЛ7210.16.90.00.00ПЗ				

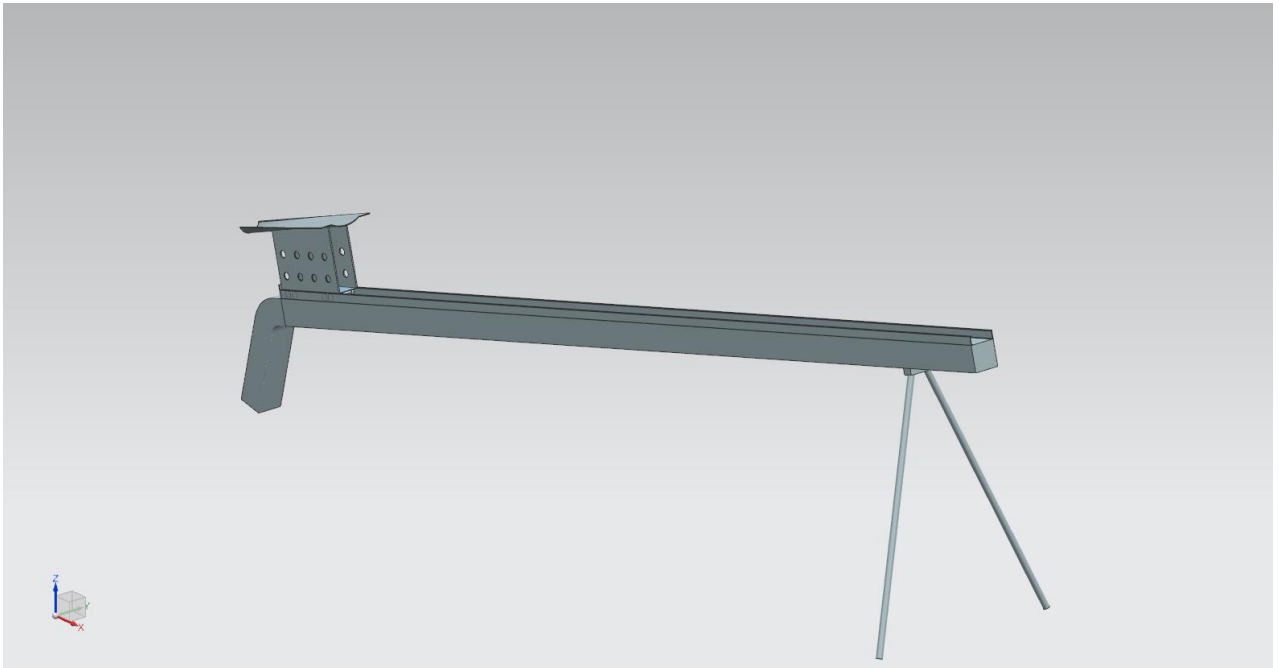


Рис 5.2. Просторова модель направляючої з опорами та кареткою

5.2 Розробка просторової моделі пневматичного циліндра та поліспасти

Користуючись даними пункту 3.2 пояснювальної записки (далі ПЗ) дипломного проекту (далі ДП) моделюємо конструкцію пневмоциліндра разом з поліспастом які зображені на рисунках 5.3 та 5.4.

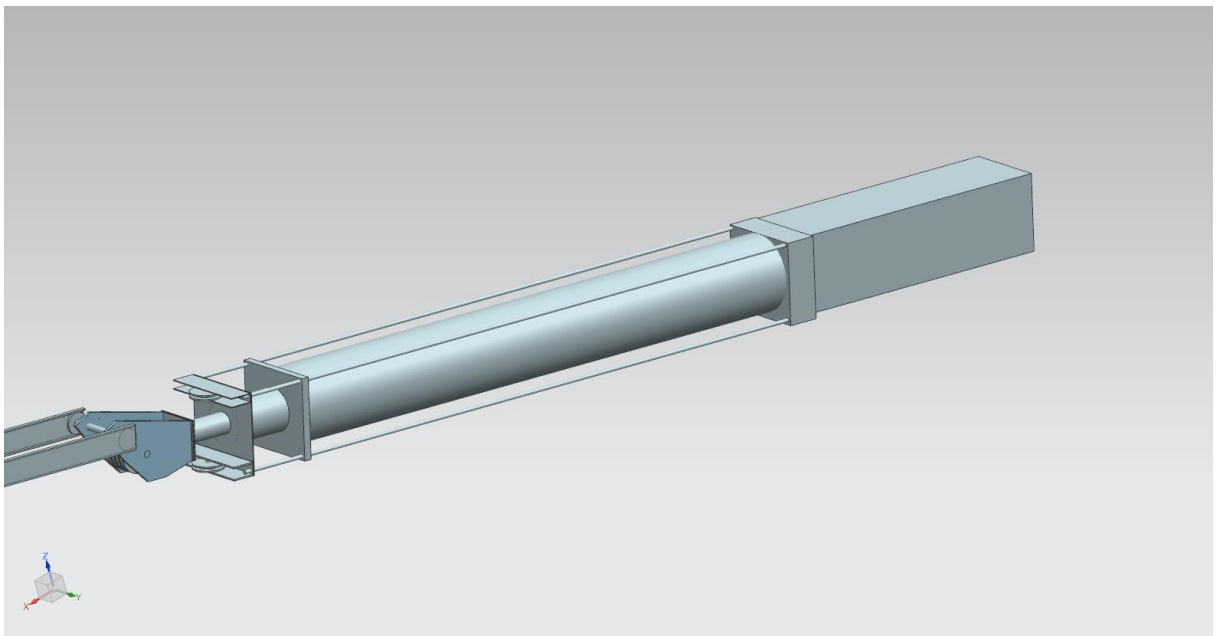


Рис 5.3. Просторова модель пневмоциліндра

					ВЛ7210.16.90.00.00ПЗ	Лист
Змн.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		62

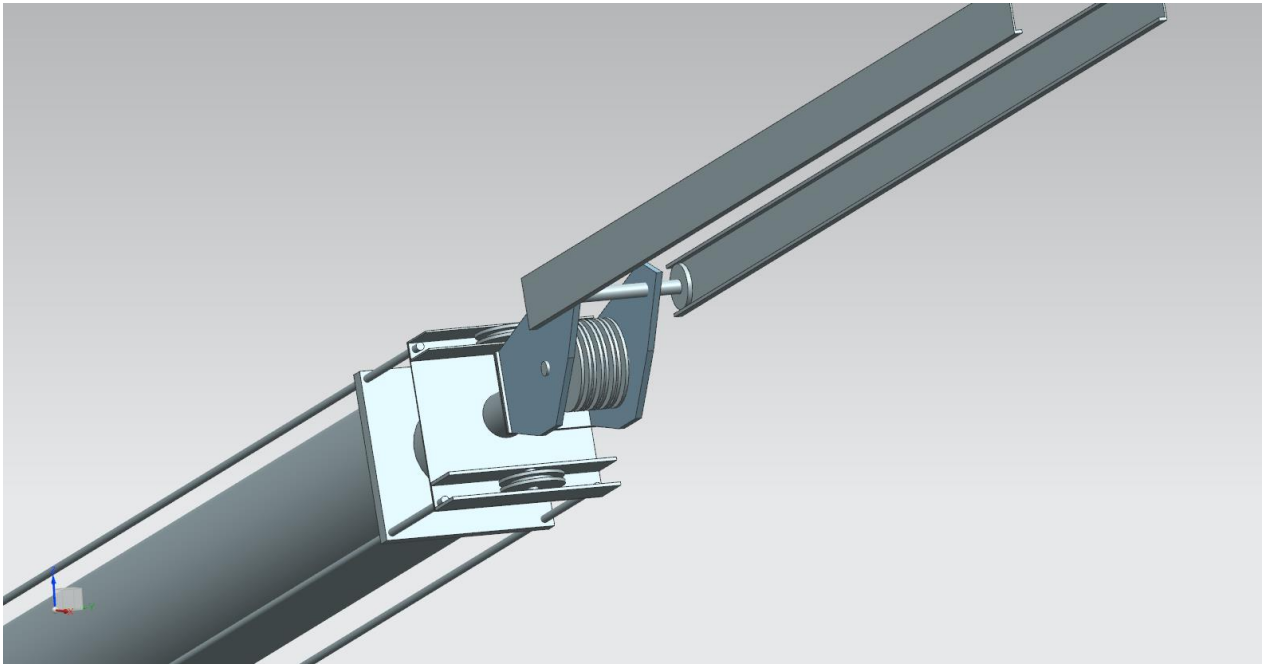


Рис 5.4. Просторова модель поліспасту

5.3 Просторова модель катапульти

Поєднуємо направляючу з пневмоциліндром і поліспастом та отримуємо просторову модель катапульти, яку зображено на рисунку 5.5

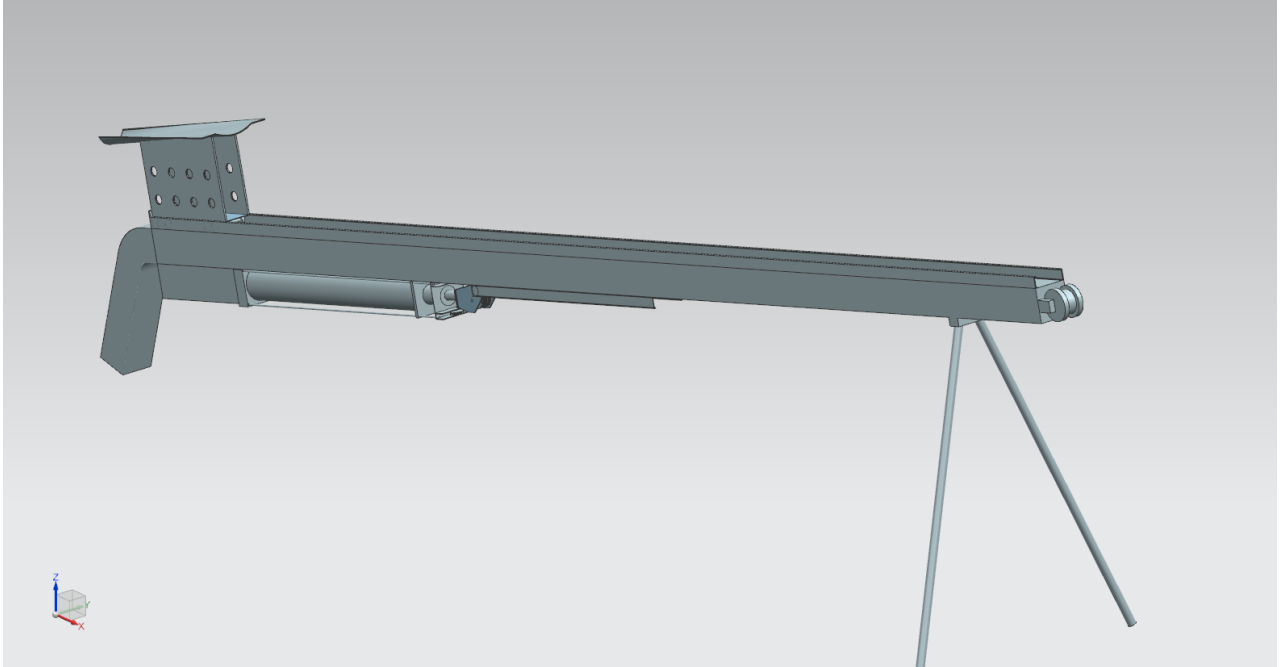


Рис 5.5. Просторова модель катапульти

					ВЛ7210.16.90.00.00ПЗ	Лист
Змн.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		63

Висновок до розділу 5

В даному розділі було розроблено просторову модель катапульти, на основі розрахунків які були отримані в попередніх розділах .

					ВЛ7210.16.90.00.00ПЗ	Лист
Змн.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		64

6. ПЕРЕВІРКА ЗАПРОПОНОВАНОГО ВАРІАНТУ КОНСТРУКЦІЇ НА МІЦНІСТЬ

Перевірка моделі на міцність проводиться в програмному забезпеченні Siemens NX 12. Результати розрахунку представлені у вигляді епюр розподілу нормальних напружень в елементах конструкції.

6.1 Аналіз напружень першого положення каретки

Перше положення каретки на початку направляючої, сила прикладається по всьому периметру каретки $F=2,52$ кН.

Після моделювання було отримані результати зображені на рисунках 6.1. і 6.2 :

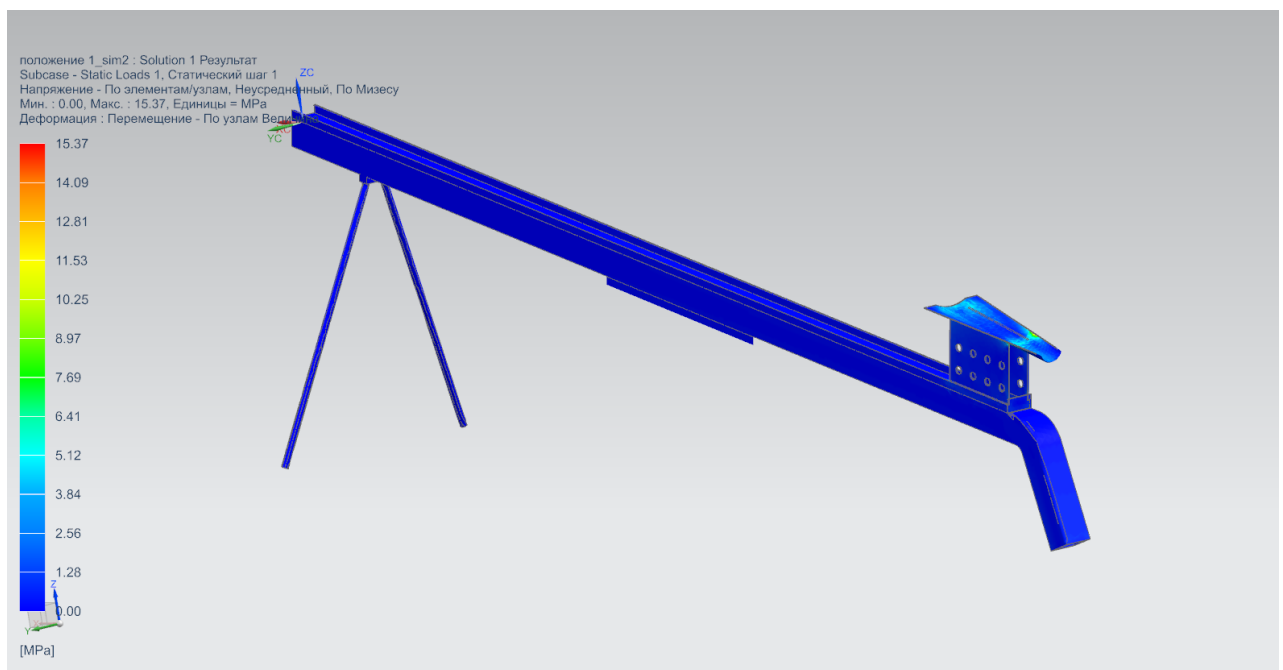


Рис 6.1. Розрахункова епюра нормальних напружень

					ВЛ7210.16.90.00.00ПЗ	Лист
Змн.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		65

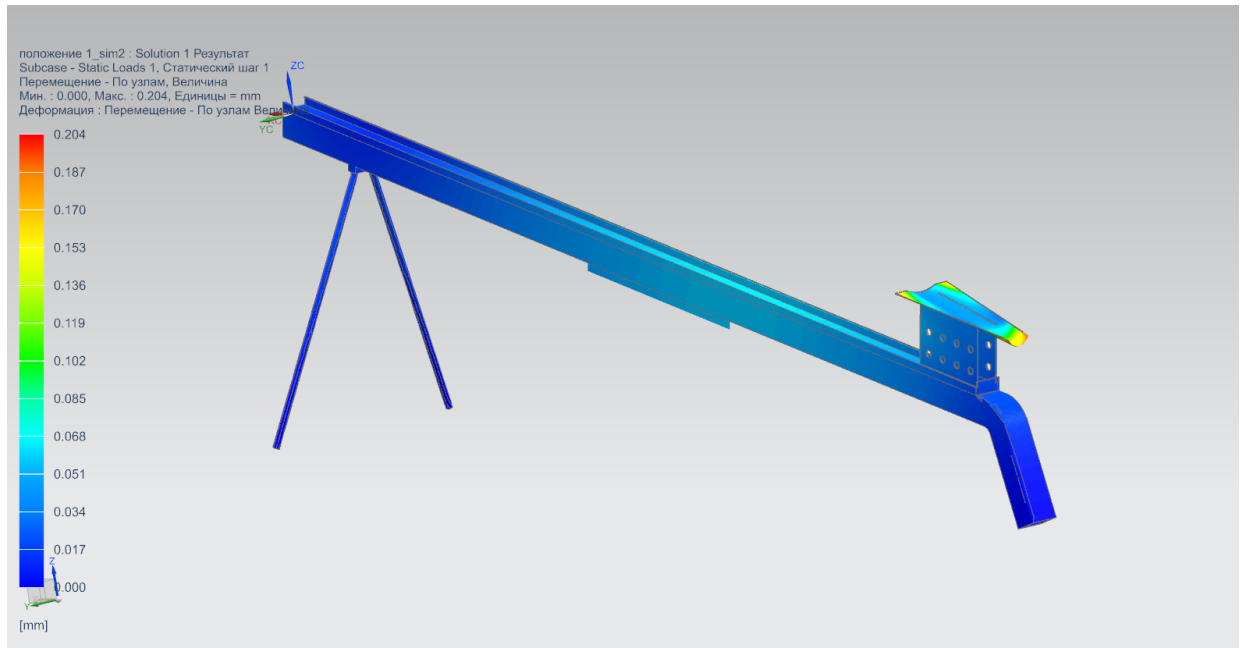


Рис 6.2. Розрахункова епюра переміщень

6.2 Аналіз напружень другого положення каретки

Друге положення каретки на відстані 2 м від початку направляючої, сила прикладається по всьому периметру каретки.

Після моделювання було отримані результати зображені на рисунках 6.3. і 6.4 :

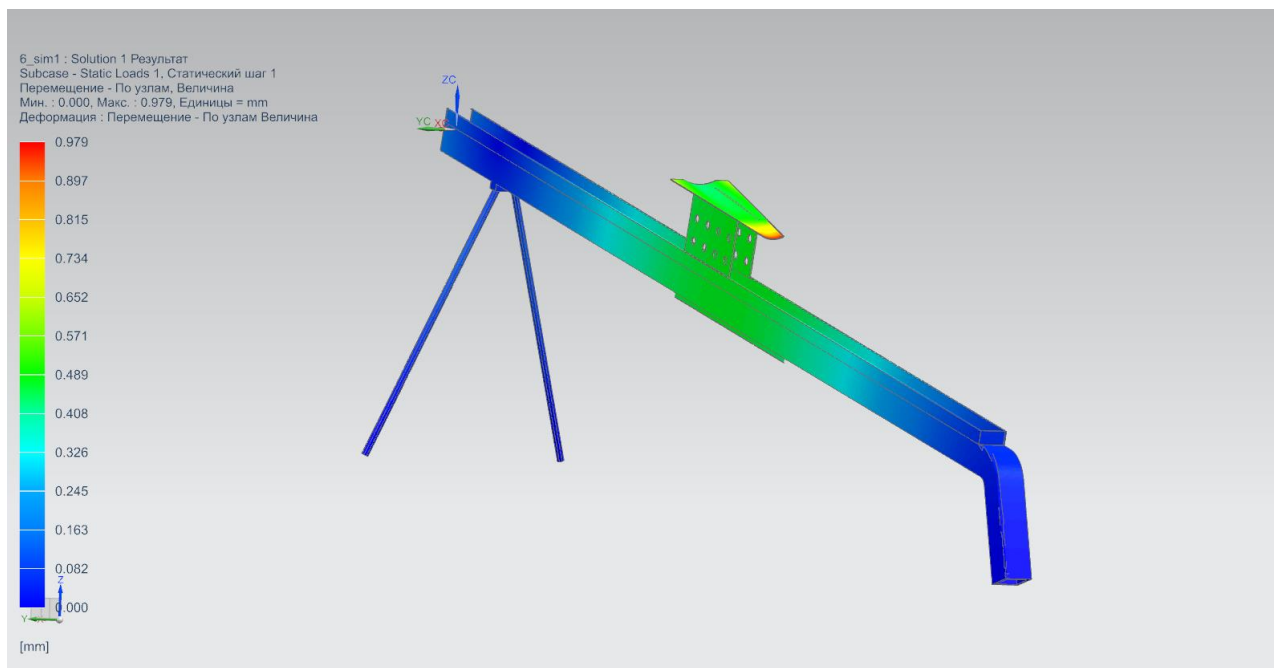


Рис 6.3. Розрахункова епюра нормальних напружень

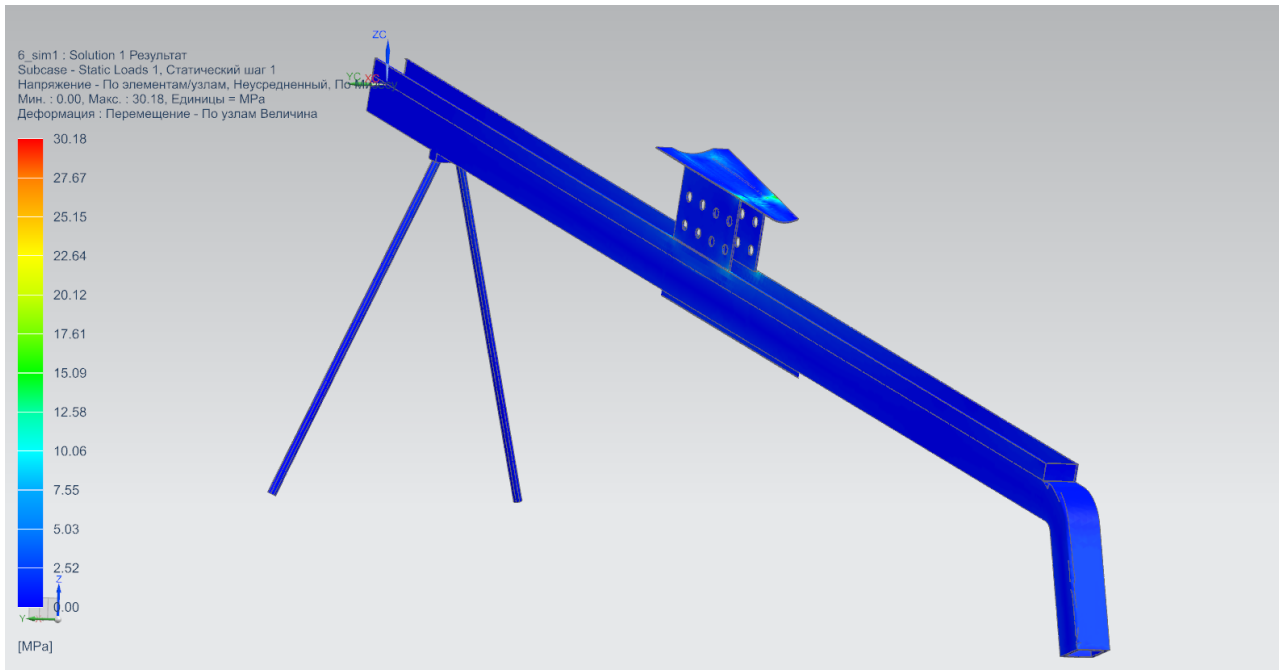


Рис 6.4. Розрахункова епюра переміщень

6.3 Аналіз напружень третього положення каретки

Третє положення каретки на відстані 4 м від початку направляючої, сила прикладається по всьому периметру каретки.

Після моделювання було отримані результати зображені на рисунках 6.5. і 6.6 :

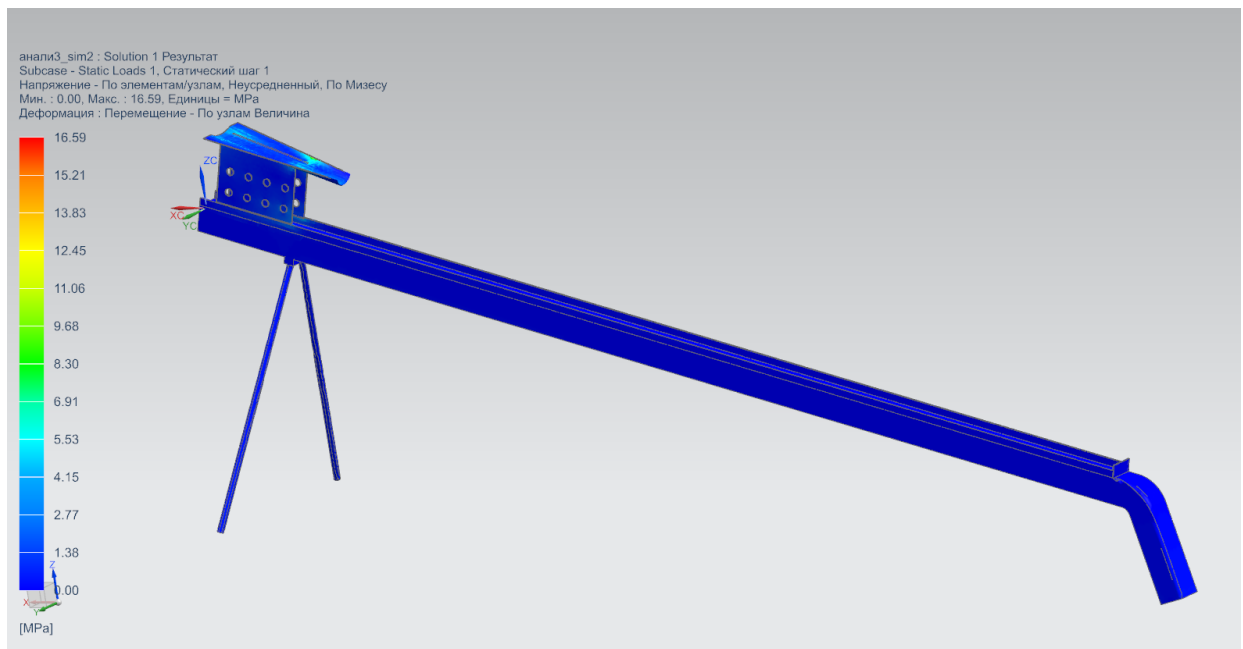


Рис 6.5. Розрахункова епюра нормальних напружень

						ВЛ7210.16.90.00.00ПЗ	Лист
Змн.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата			67

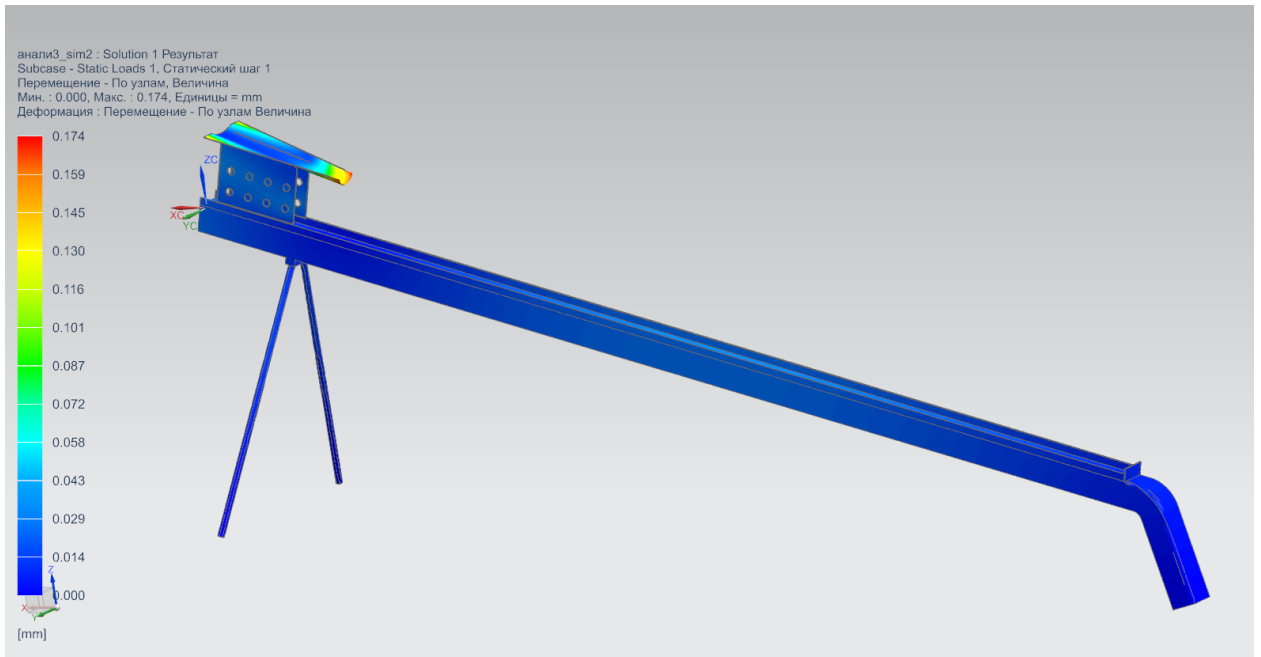


Рис 6.6. Розрахункова еюра переміщень

Висновки до 6 розділу

На підставі даних розрахунків можна зробити висновки що дана конструкція катапульти відповідає умовам міцності та жорсткості.

					ВЛ7210.16.90.00.00ПЗ	Лист
Змн.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		68

Висновок до дипломного проекту

Після виконання дипломного проекту я поглибив та закріпив теоретичні знання та практичні навички з усіх дисциплін навчального плану. В процесі роботи були виконані наступні етапи:

1. оглянуті та проаналізовані аналоги катапульта та БПЛА.
2. досліджена та вибрана математична модель розрахунку;
3. розраховані масово–геометричні та динамічні параметри катапульти та пневмоцилінда;
4. проведений проектний розрахунок конструкції катапульти;
5. розроблена просторова модель катапульти;
6. зроблений аналіз напружено деформованого стану.

Для проектування просторової моделі було вибране програмне забезпечення Siemens NX 12, яку я освоїв під час проходження практики на ДП «Антонов».

									Лист
Змн.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата	ВЛ7210.16.90.00.00ПЗ				69

Список використаної літератури

1. ROBONIC MC0315L SMALL PNEUMATIC UAV LAUNCHER [Електронний ресурс] // Robonic Ltd Oy – Режим доступу до ресурсу: https://www.robonic.fi/wp-content/uploads/2019/07/MC0315L_brochure_A4_07-2019.pdf.
2. ARCTURUS UAV [Електронний ресурс] // Plot 1202 – Режим доступу до ресурсу: https://www.uav-africa.com/wp-content/uploads/2017/08/12_uav-africa-arcturus-brochure.pdf.
3. UAV pneumatic catapult PL-40 [Електронний ресурс] – Режим доступу до ресурсу: <https://eli.ee/products/7/uav-pneumatic-catapult>.
4. C200R Rope Catapult [Електронний ресурс] – Режим доступу до ресурсу: <https://www.embention.com/product/c200r-catapult/>
5. C400P Pneumatic Catapult [Електронний ресурс] – Режим доступу до ресурсу: <https://www.embention.com/product/c400p-pneumatic/>.
6. Davi R. Mechanical design and optimization of swarm-capable UAV launch systems / Raymond L Davi. – California: NAVAL POSTGRADUATE SCHOOL, 2015. – 139 с.
7. Літак People's Drone 1 [Електронний ресурс] – Режим доступу до ресурсу: <https://www.peoplesproject.com/pershij-narodnij-kompleks-bpla/>.
8. Разон В. Ф. Учебно-методическое пособие по курсовому и дипломному проектированию «РАСЧЕТ ПНЕВМАТИЧЕСКИХ СИЛОВЫХ ПРИВОДОВ СРЕДСТВ МЕХАНИЗАЦИИ ПРОИЗВОДСТВЕННЫХ ПРОЦЕССОВ» / Владимир Федорович Разон. – Гомель: Белорусский государственный университет транспорта. 2014. – 94 с.
9. UAV Catapult / Jody Cearns, Sean Huxley, David Garcia, Ben Lacasse., 2019.
10. Voogd A. Robird autonomous take-off: pneumatic launching system / Voogd Alan, 2017. – 34 с.
11. Газодинамическое исследование пневматического линемета / В. В. Григорьев, С. Н. Исаков, Р. Л. Петро, С. В. Юркин. // Санкт-Петербургский

12. Барекян А. Ш. Основы гидравлики и гидропневмоприводов / А. Ш. Барекян. – Тверь: Тверского государственного технического университета 170026, 2006. – 85 с.

13. Pneumatic UAV Launching System GLS-1A [Электронный ресурс] – Режим доступа до ресурсу: <https://res2.weblium.site/res/5dfe007809892000216e9925/5f9835c243536800213c9cc3/>.

14. Мордасов М. М. АНАЛИЗ И СИНТЕЗ ПНЕВМАТИЧЕСКИХ УСТРОЙСТВ / М. М. Мордасов, А. В. Трофимов. – Москва: Машиностроение-1, 2005. – 109 с.

15. НАЗЕМНОЕ ПУСКОВОЕ УСТРОЙСТВО БЕСПИЛОТНОГО ЛЕТАТЕЛЬНОГО АППАРАТА С ИНЕРЦИОННЫМ ПРИВОДОМ [Электронный ресурс] // Харьковский университет Воздушных Сил им. И. Кожедуба. – 2013. – Режим доступа до ресурсу: http://www.hups.mil.gov.ua/periodic-app/article/2156/soivt_2013_1_16.pdf.

16. Расчет балки при плоском изгибе: Учебное пособие / М.Н.Серазутдинов, Ф.С. Хайруллин; Казан. гос. технол. ун-т. Казань, 2009