

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

**Навчально-науковий інститут аерокосмічних технологій**

**Кафедра авіа- та ракетобудування**

«На правах рукопису»  
УДК 629.7.085.24

До захисту допущено:  
В. о. завідувача кафедри  
\_\_\_\_\_ Петро ЛУК'ЯНОВ  
«\_\_» \_\_\_\_\_ 2024 р.

**Магістерська дисертація**

**на здобуття ступеня магістра**

**за освітньо-професійною програмою «Літаки і вертольоти»**

**зі спеціальності 134 «Авіаційна та ракетно-космічна техніка»**

**на тему: «Катапульта типу «банджи» для запуску безпілотного повітряного судна»**

Виконав:

студент II курсу другого (магістерського) рівня, групи АЛ-21мп  
Козей Ярослав Миколайович \_\_\_\_\_

Керівник:

Проф. каф. АРБ, д.т.н., проф.,  
Сухов Віталій Вікторович \_\_\_\_\_

Рецензент:

проф. каф. СКЛА, д.ф.-м.н., проф.  
Чепілко Микола Михайлович \_\_\_\_\_

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

Студент \_\_\_\_\_

Київ – 2024 року

**Національний технічний університет України**  
**«Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»**  
**Навчально-науковий інститут аерокосмічних технологій**  
**Кафедра авіа- та ракетобудування**

Рівень вищої освіти – другий (магістерський)

Спеціальність – **134 «Авіаційна та ракетно-космічна техніка»**

Освітньо-професійна програма «**Літаки і вертольоти**»

ЗАТВЕРДЖУЮ

В. о. завідувача кафедри

\_\_\_\_\_ Петро ЛУК'ЯНОВ

«\_\_\_» \_\_\_\_\_ 2023 р.

**ЗАВДАННЯ**

**на магістерську дисертацію студенту**

**Козею Ярославу Миколайовичу**

1. Тема дисертації «Катапульта типу «банджи» для запуску безпілотного повітряного судна», науковий керівник дисертації професор Сухов Віталій Вікторович, д.т.н., затверджені наказом по університету від «03»11 2023 р.

№5134 – с

2. Термін подання студентом дисертації 26 грудня 2023 р.

3. Об'єкт дослідження: Катапульта типу «банджи» для запуску БПС

4. Вихідні дані      *Злітна вага БПС від 10 кг до 20 кг.*

*Мінімальна швидкість запуску 36 км/год.*

*Максимальна швидкість запуску 58 км/год.*

*Перенавантаження 6-10 кг/кг.*

*Кут запуску 15°.*

5. Перелік завдань, які потрібно розробити

5.1. Аналіз існуючих варіантів катапульти для запуску БПС. Вибір аналога.

5.2. Розробка конструктивно-силової схеми та математичної моделі катапульти.

5.3. Визначення масово-геометричних та динамічних параметрів катапульти.

5.4. Проектувальний розрахунок елементів конструкції катапульти.

5.5. Розробка просторової моделі катапульти.

5.6. Розрахунок елементів конструкції катапульти на міцність.

5.7. Розробка експериментальної моделі катапульти.

5.8. Розробка стартап-проекту.

6. Орієнтовний перелік графічного (ілюстративного) матеріалу

6.1. Аналіз існуючих варіантів катапульти для запуску БПС. Вибір аналога.

6.2. Конструктивно-силова схема та методика розрахунку.

6.3. Результат розрахунку.

6.4. Візуально-просторова модель катапульти.

6.5. Результати розрахунку елементів конструкції на міцність.

6.6. Складальний кресленик катапульти.

7. Орієнтовний перелік публікацій

7.1. Стаття у фаховому виданні

7.2. Доповідь на науково-технічній конференції з публікацією тез.

8. Дата видачі завдання 08.11. 2022р.

Календарний план

| № з/п | Назва етапів виконання магістерської дисертації                                    | Термін виконання етапів магістерської дисертації | Примітка |
|-------|--|--|----------|
| 1.    | Аналіз існуючих варіантів катапульти для запуску БПС. Вибір аналога.               | до 15.12.2022 р.                                 |          |
| 2.    | Розробка математичної моделі катапульти.   | до 01.02.2023 р.                                 |          |
| 3.    | Визначення масово-геометричних та динамічних параметрів катапульти.                | до 15.04.2023 р.                                 |          |
| 4.    | Проектувальний розрахунок конструкції катапульти                                   | до 01.06.2023 р.                                 |          |
| 5.    | Розробка просторової моделі катапульти.  | до 15.09.2023 р.                                 |          |
| 6.    | Розрахунок елементів конструкції катапульти на міцність                            | до 05.10.2023 р.                                 |          |
| 7.    | Розробка експериментальної моделі катапульти                                       | до 10.11.2023 р.                                 |          |
| 8.    | Розробка стартап-проекту   | до 10.12.2023 р.                                 |          |
| 9.    | Оформлення пояснювальної записки та ілюстративного матеріалу.<br>Попередній захист | до 26.12.2023 р.                                 |          |
| 10.   | Доопрацювання матеріалів дисертації.<br>Перевірка на плагіат                       | до 10.01.2024 р.                                 |          |

Студент

Ярослав КОЗЕЙ

Науковий керівник

Віталій СУХОВ

## Реферат

**Магістерська дисертація:** "Катапульта типу «банджи» для запуску безпілотного повітряного судна", 94 сторінки, 69 рисунків, 20 таблиць, 17 посилань.

**Актуальність:** зараз багато компаній зосереджені на розробці безпілотного повітряного судна (далі БПС). БПС 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 БПС, використовують катапульти.

**Мета роботи:** визначення масово-геометричних та динамічних параметрів катапульти і розробка експериментальної моделі.

**Об'єкт дослідження:** Катапульта типу «банджи».

**Предмет дослідження:** масово-геометричні характеристики катапульти.

**Методи дослідження:** розрахункове визначення за допомогою математичної моделі; геометричних характеристик катапульти, дослідження динамічних параметрів катапульти, проектний аналіз та вибір оптимальних матеріалів для розробки елементів катапульти.

**Наукова новизна одержаних результатів:** досліджено вплив банджі шнурів на динамічні параметри запуску БПС, проведено порівняння впливу матеріалу елементів катапульти на міцність та деформацію конструкції.

**Практичне значення одержаних результатів:** значне покращення динамічних та масово геометричних параметрів. Однією з головних переваг системи простота транспортування, складання, обслуговування та використання за рахунок легкої та безпечної конструкції. Завдяки модульній композиції, складним ніжкам та регулюванню довжини шнура, катапульти можна зібрати за короткий час.

**Апробація результатів дисертації:** науково-практична конференція студентів та молодих вчених "Авіа-ракетобудування: Перспективи та напрямки розвитку".

**Публікації:** " INTELLIGENCE. INTEGRATION. RELIABILITY " №15  
2023-го року.

**Ключові слова:** катапульта типу «банджі», банджі шнур, гумовий,  
пневматичний. безпілотне повітряне судно.

## **Abstract**

**Master's thesis:** "Bungy-type catapult for launching an unmanned aerial vehicle", 94 pages, 69 figures, 20 tables, 17 references.

**Relevance:** now many companies are focused on the development of BPS. BPS can solve a variety of tasks, such as reconnaissance, be used to strike land and sea targets, intercept air targets, set radio jams, relay messages and data, and deliver cargo. And in order to expand the territory where the use of BPS is possible, catapults are used.

**Purpose of the study:** determination of mass-geometric and dynamic parameters of the catapult and development of an experimental model

**The object of study:** Bungee type catapult.

**Subject of research:** mass-geometric characteristics of the catapult.

**Methods of research:** calculation determination using a mathematical model; determination of the geometric characteristics of the catapult, research of the dynamic parameters of the catapult, and design analysis and selection of optimal materials for the development of the catapult.

**The results and their novelty:** the effect of bungee cords on the dynamic parameters of the BPS launch was investigated, the effect of different materials on the strength and deformation of the structure was compared.

**Recommendations for the use of work:** significant improvement of dynamic and massive geometric parameters. One of the main advantages of the system is ease of transportation, assembly, maintenance and use due to a light and safe design. Thanks to the modular composition, folding legs and adjustment of the cord length, the catapult can be assembled in a short time.

**Approbation of the results of the dissertation:** the scientific and practical conference of students and young scientists "Aircraft and rocket construction and design: Perspectives and directions of development"

**Publications:** "INTELLIGENCE. INTEGRATION. RELIABILITY" №15 of 2023th year.

BUNGEE CATAPULT, BUNGEE CORD, RUBBER, PNEUMATIC,  
UNMANNED AIRCRAFT.

## ЗМІСТ

|   |    |
|---|----|
| 1. АНАЛІЗ ІСНУЮЧИХ ВАРІАНТІВ КАТАПУЛЬТ ДЛЯ ЗАПУСКУ БПС, ВИБІР АНАЛОГА.....      | 11 |
| 1.1 Аналіз існуючих варіантів реалізації катапульт для БПС.....                 | 11 |
| 1.2 Аналоги катапульт.....  | 16 |
| 1.3 Висновок по розділу.....  | 28 |
| 2. РОЗРОБКА КОНСТРУКЦІОННО-СИЛОВОЇ СХЕМИ ТА МАТЕМАТИЧНОЇ МОДЕЛІ КАТАПУЛЬТИ..... | 30 |
| 2.1 Висновки до розділу.....  | 35 |
| 3. ВИЗНАЧЕННЯ МАСОВО-ГЕОМЕТРИЧНИХ ТА ДИНАМІЧНИХ ПАРАМЕТРІВ КАТАПУЛЬТИ.....      | 36 |
| 3.1 Визначення динамічних параметрів катапульти.....                            | 36 |
| 3.2 Перевірка результатів.....  | 38 |
| 3.3 Перевірка кінцевих результатів .....  | 41 |
| 3.4 Висновки до розділу.....  | 42 |
| 4. ПРОЕКТНИЙ РОЗРАХУНОК ЕЛЕМЕНТІВ КОНСТРУКЦІЇ КАТАПУЛЬТИ.....                   | 44 |
| 4.1 Визначення форми контейнеру.....  | 44 |
| 4.2 Проектний розрахунок направляючої катапульти.....                           | 45 |
| 4.3 Проектний розрахунок направляючої катапульти для різного матеріалу.....     | 46 |
| 5. РОЗРОБКА ПРОСТОРОВОЇ МОДЕЛІ КАТАПУЛЬТИ .....                                 | 64 |
| 5.1 Розробка просторової моделі направляючої катапульти .....                   | 64 |
| 5.2 Розробка просторової моделі лебідки та амортизатора.....                    | 65 |
| 5.3 Просторова модель катапульти.....   | 66 |
| 5.4 Висновок до розділу.....  | 67 |
| 6. РОЗРАХУНОК ЕЛЕМЕНТІВ КОНСТРУКЦІЇ КАТАПУЛЬТИ НА МІЦНІСТЬ .....                | 68 |

|                 |             |                      |               |             |  |                                  |              |                |
|-----------------|-------------|----------------------|---------------|-------------|--|----------------------------------|--------------|----------------|
|                 |             |                      |               |             | <i>А/2106МП.16.40.00.00 ПЗ</i>   |                                  |              |                |
|                 |             |                      |               |             |  |                                  |              |                |
| <i>Змін.</i>    | <i>Арк.</i> | <i>№ документ.</i>   | <i>Підпис</i> | <i>Дата</i> | <i>Катапульта типу «банджи»<br/>для безпілотного повітряного<br/>судна</i> | <i>Літ.</i>                      | <i>Аркцш</i> | <i>Аркцшів</i> |
| <i>Розробив</i> |             | <i>Козей Я.М.</i>    |               |             |  |                                  |              |                |
| <i>Керівник</i> |             | <i>Сухов В.В.</i>    |               |             |  |                                  | <i>7</i>     | <i>86</i>      |
|                 |             |                      |               |             |  | <i>КПІ ім. Ігоря Сікорського</i> |              |                |
| <i>Н. кон.</i>  |             | <i>Поваров С.А.</i>  |               |             |  | <i>Каф.АРБ Гр.АЛ-21мп</i>        |              |                |
| <i>Затв.</i>    |             | <i>Лук'янов П.В.</i> |               |             |  |                                  |              |                |



|     |  |    |
|-----|--|----|
| 6.1 | Аналіз на міцність конструкції зі сталі .....        | 68 |
| 6.2 | Аналіз на міцність конструкції з алюмінія .....      | 69 |
| 6.3 | Аналіз на міцність конструкції з вуглепластику ..... | 71 |
| 6.4 | Висновки до розділу .....                            | 73 |
| 7.  | РОЗРОБКА ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЇ МОДЕЛІ КАТАПУЛЬТИ.....    | 74 |
| 8.  | РОЗРОБКА СТАРТАП ПРОЄКТУ .....                       | 82 |
| 8.1 | Опис ідеї проєкту.....                               | 82 |
| 8.2 | Технологічний аудит проєкту .....                    | 83 |
|     | Список використаної літератури .....                 | 93 |

## **Перелік скорочень**

БПС – безпілотне повітряне судно

ЛА – літальний апарат

ПУ – пускова установка

PLS – Portable Launching System (портативна система старту)

ПС – повітряне судно.

## Вступ

Безпілотні повітряні судна (БПС) в наш час виконують широкий спектр різнотипних задач як простого фото-відео спостереження за рухомими та статичними об'єктами, розвідки, застосовуватися для нанесення ударів по наземних і морських цілях, перехоплення повітряних цілей, доставки вантажів, спектрального аналізу чи ретрансляції сигналів зв'язку. І щоб розширити територію, де можливе застосування БПС, використовують катапульти.

Досі були розроблені деякі пускові установки (ПУ) для безпілотних повітряних суден (БПС). Під час їх використання були сприйняті переваги та недоліки кожного типу окремих ПУ. Це призвело до висновку, що ПУ повинна бути легкою, повинна мати можливість експлуатуватися з мінімальним персоналом і повинна мати невеликий габарити для зберігання. Ці фактори потрібно враховувати та включити в концептуальну конструкцію ПУ. Також пускова установка для БПС повинна мати можливість налаштувати та запустити БПС протягом п'ятнадцяти хвилин. Важливим фактором є ціна придбання та вартість технічного обслуговування ПУ, що, можливо, має вирішальне значення для бюджету. Існуючі ПУ можуть бути згруповані в три категорії:

- пневматичний;
- гідравлічний;
- гумові з використанням банджі-шнурів.

Дослідження базуються на результатах проведеного аналізу сучасної науково – технічної літератури. В ході пошуку встановлено, що найбільш доцільним типом пускової установки, який відповідає поставленому завданню є катапульта типу «банджи». Банджі шнур в поєднанні з конструктивною простотою такої катапульти є оптимальними по критерію вартість-ефективність.

На мою думку розробка катапульти для запуску БПС є актуальною і перспективною та має майбутнє щонайменше ближчі кілька десятиліть

# **1. АНАЛІЗ ІСНУЮЧИХ ВАРІАНТІВ КАТАПУЛЬТ ДЛЯ ЗАПУСКУ БПС, ВИБІР АНАЛОГА**

## **1.1 Аналіз існуючих варіантів реалізації катапульт для БПС**

Стартова катапульта безпілотного повітряного судна (далі БПС) служить для примусового розгону БПС на зльоті до швидкості відриву при допустимій максимальній перевантаженні за рахунок енергії пристроїв, які не належать БПС. Катапульта повинна бути автономною при пуску БПС, 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 БПС. Розміщуватися катапульта може на транспортному засобі або на причепі необхідної прохідності і маневреності.

Для зльоту малорозмірних БПС і середніх БПС літакового типу широко використовуються пускові пристрої типу катапульти, що дозволяють забезпечити швидкий і ефективний [1] зліт зазначених повітряних суден (далі – ПС) з силовою установкою порівняно невеликої потужності.

Конструкція катапульти повинна забезпечувати надійний пуск ПС, 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.

На даний час у світі сконструйовано та використовується багато типів катапульт[2] та стартових пристроїв з різними характеристиками, габаритами та масами.

З існуючих, на даний час, видів пускових пристроїв (ПП) можна виділити та об'єднати їх на дві характерні категорії критеріями як: тип конструкції та тип старту.

**За типом конструкції бувають:**

- лінійні катапульти;

- ротативна катапульта;

– Лінійна катапульта.

Найвідоміший і часто вживаний спосіб запуску малорозмірних безпілотних літальних апаратів з лінійною катапульти, обладнаної візком, переміщуваної розгінним пристроєм по направляючим. У цілому, такий спосіб можна описати таким чином. Перед запуском з допомогою стикувального пристрою літальний апарат приєднують до візка, розташованого на катапульти в стартовому положенні, а після її розгону, яким або способом до необхідної швидкості, літальний апарат від'єднують від візка, а візок зупиняють.

Так само сюди можуть входити різні допоміжні механізми для плавного прискорення, додаткові механізми для зміни напрямку швидкості в кінці розгону, демпфуючі механізми, механізми здійснюють повернення каретки в початкове положення, що створюють зустрічний потік та ін.

Проведені дослідження дозволяють при правильному розрахунку демпфуючого елемента домогтися відсутності ударних навантажень на літальний апарат і тим самим знизити міцнісні вимоги до кріплення і фюзеляжу літального апарату, при цьому збільшити корисну навантаження.

– Ротативна катапульта.

Ротативна катапульта дозволяє запускати широку номенклатуру літальних апаратів (різної маси) без трудомісткої попередньої переналагодження, а так само виключає необхідність орієнтації лінійних направляючих катапульти у напрямку запуску і ударні навантаження, які мають негативний вплив і виникають у момент пуску при використанні як розгінного пристрою гумового троса, пружини, піропатрона, стисненого газу і т.д. Особливістю такого комплексу є те що він використовує кутову швидкість обертання. Недоліком такого комплексу є його громіздкість[3].

**За типом старту бувають:**

- пружинні;

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

Але найбільш поширеними в застосуванні є резинові, гідравлічні та пневматичні.

#### 1. Гумова катапульта [1](рис. 1.1).

Катапультий пусковий пристрій, який використовує енергію, що зберігається у вискоеластичних шнурах-банджі, для запуску БПС. 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 БПС. 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 БПС до необхідної швидкості. Банді-шнурові пускові установки часто обмежуються легкими БПС[4].



Рис. 1.1. Гумова катапульта

## 2. Гідравлічна катапульта (рис 1.2).

Гідравлічні пускові пристрої, як правило, також проектуються як пускова установка для катапульти. Основами системи є використання 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 БПС. Для запуску БПС 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 БПС 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 БПС, оскільки йому не потрібно підтримувати високі прискорення, як наприклад з шнуром банджі[1],[5],[6].



Рис. 1.2. Гідравлічна катапульта

### 3. Пневматична катапульта (рис 1.3).

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 БПС. Силу, з якою здійснюється запуск, можна регулювати, регулюючи тиск і забезпечуючи підтримку БПС різної маси. Деякі мінуси цієї техніки полягають у тому, що компресор для тиску повітря потребує живлення, і для заповнення резервуарів акумулятора може знадобитися час[1],[7],[8].



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



Рис. 1.3 Пневматична катапульта

## 1.2 Аналоги катапульта

Основна частина мого дослідження базується на аналізі існуючих пускових установок БПС на ринку. Я проаналізував ці продукти, щоб вибрати ефективний метод запуску, порівняти переваги та недоліки катапульта. Більшість із досліджених пускових установок були сконструйовані для БПС які набагато більші, важчі, і для цього потрібні вищі швидкості запуску ніж наші. Десять існуючих продуктів були досліджені та оцінені на предмет їх унікальних методів запуску [1].

1. Пневматична катапульта компанії ROBONIC KONTIO (MC0315L) (рис. 1.4).

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



Рис 1.4. Пневматична катапульта компанії  
ROBONIC KONTIO (MC0315L)

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

Катапульти легко транспортувати та зберігати незалежно від експлуатаційної конфігурації.

З максимальним часом встановлення 15 хвилин MC0315L забезпечує надійний, швидкий та економічно ефективний спосіб запуску малих БПС та цільових безпілотників з максимальними експлуатаційними перевагами [10].

Основні характеристики катапульти MC0315L наведені в таблиці 1.1.

*Таблиця 1.1*

Технічні характеристики катапульти MC0315L

| Тип катапульти                     | Пневматична |
|------------------------------------|-------------|
| Максимальна швидкість запуску, м/с | 15          |
| Максимальна вага літака, кг.       | 40          |
| Кут запуску                        | 5° - 15°    |
| Загальна вага, кг                  | 255         |
| Довжина доріжки, м                 | 3,495       |
| Час налаштування, хв               | 15          |



## 2. Пневматична катапульта GLS-1A (рис. 1.5).

Пневматична катапульта пускова система GLS-1A призначена для запуску безпілотних літальних апаратів злітною масою до 45 кг зі швидкістю 17 м/с (61 км/год). При цьому швидкість старту більш легкого БПЛА може бути більшою – до 22 м/с (79 км/год). Пневматична катапульта GLS-1A здатна запускати БПЛА в різних погодних умовах і в діапазоні температур від  $-25^{\circ}$  до  $+50^{\circ}$  С. Ми пропонуємо всім замовникам повний курс навчання експлуатації пневматичної катапультаї пускової установки.

Система працює автономно і живиться від бензинового або дизельного генератора номінальною потужністю 2 кВт з напругою живлення змінного струму 220 В 50 Гц. Управління запуском здійснюється за допомогою пульта дистанційного керування. Накачування газового балона повітрям до заданого тиску може здійснюватися як в автоматичному, так і в ручному режимах. Рівень тиску в балонах контролюють за допомогою манометрів. Один з них встановлюється безпосередньо на компресорній станції, а другий розташований на пульті управління. Компресорна станція має можливість примусового аварійного скидання тиску. На компресорній станції встановлений запобіжний клапан, який спрацьовує, коли тиск в системі перевищує 12 бар. Під час накачування повітря в циліндри лафет із запущеним БПЛА протистоять запобіжним штифтом, який витягується безпосередньо перед стартом. [11].

Основні характеристики катапульти GLS-1A наведені в таблиці 1.2.



Рис 1.5. Пневматична катапульта GLS-1A

Таблиця 1.2

Технічні характеристики катапульти GLS-1A

|                                    |             |
|------------------------------------|-------------|
| Тип катапульти                     | пневматична |
| Максимальна швидкість запуску, м/с | 20          |
| Максимальна вага літака, кг.       | 40          |
| Кут запуску                        | 15 °        |
| Загальна вага, кг                  | 62          |
| Довжина доріжки, м                 | 4,9         |
| Час налаштування, хв               | 20          |

### 3. Пневматична катапульта компанії Альбатрос (рис. 1.6)

Пневматичний пусковий пристрій для запуску БПС типу літака. Катапульта підійде для зльоту з обмежених майданчиків, а також великої кількості запусків з невеликим інтервалом. Робочий тиск до 10 атмосфер дозволяє запускати БПЛА вагою до 16.5 кг. Катапульта виконана складальною

та компактною при транспортуванні. Підготовка до використання займає не більше 13 хвилин із урахуванням часу заправки повітрям. Компресор для заправки йде в комплекті і може живитись від бортової батареї БПС або акумулятора автомобіля[12].

Основні характеристики катапульти компанії Альбатрос наведені в таблиці 1.3.



Рис 1.6. Пневматична катапульта компанії Альбатрос

Таблиця 1.3

Технічні характеристики катапульти Альбатрос

|                                    |             |
|------------------------------------|-------------|
| Тип катапульти                     | пневматична |
| Максимальна швидкість запуску, м/с | 17          |
| Максимальна вага літака, кг.       | 16,5        |
| Кут запуску                        | 15°         |
| Загальна вага, кг                  | 26          |
| Довжина доріжки, м                 | 2           |
| Час налаштування, хв               | 12          |

#### 4. Банджи (резинова) катапульта C200R (рис. 1.7)

Міцна алюмінієва пускова установка для безпілотних літальних апаратів, що чудово задовольняє потреби професіоналів БПС. 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 1.7. 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 універсальних систем на ринку. Просто приєднайте власний інтерфейс, щоб відповідати вашому кріюкові 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 БПС, включених для звільнення [1],[13].

Основні характеристики катапульти C200R наведені в таблиці 1.4.

*Таблиця 1.4*

Технічні характеристики катапульти C200R

| Тип катапульти                     | Банджі    |
|------------------------------------|-----------|
| 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      |
| Час налаштування, хв               | 3         |

## 5. Пневматична катапульта C400P (рис. 1.8)

Компактна пневматична катапульта C400P дозволяє швидко і ефективно запустити професійні системи БПС. Його простота транспортування, складання та запуску дозволяє конфігурацію в будь-який час і в будь-який час з часом розгортання менше 10 хвилин.





Рис 1.8. 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 БПС 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 компонувань літаків, що дозволяє налаштувати систему на будь-яку вагу БПС 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 станції . Автономна

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

Сучасний рівень техніки безпеки. С400Р 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 БПС [1],[14].

Основні характеристики катапульти С400Р наведені в таблиці 1.5.

*Таблиця 1.5*

Технічні характеристики катапульти С400Р

|                                    |                |
|------------------------------------|----------------|
| 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            |

#### 6. Банджи (гумова) катапульта компанії Bramor (рис. 1.9)

Гумова пускова установка БПС розроблена компанією Bramor була розроблена для БПС Bramor С4ЕУЕ які знаходяться на озброєнні ЗСУ. Пускова установка легка та проста у використанні, виконана з алюмінієвого профілю. Вона призначена для запуску легкого та надлегкого класу БПС. Працює від гумового троса який кріпиться через блок, для збільшення робочої довжини тросу.

Основні характеристики катапульти компанії Bramor наведені в таблиці 1.6.



Рис 1.9. Гумова катапульта компанії Bramor

Таблиця 1.6

Технічні характеристики катапульти компанії Bramor

|                                    |               |
|------------------------------------|---------------|
| Тип катапульти                     | гумова        |
| Максимальна швидкість запуску, м/с | 18            |
| Максимальна вага літака, кг.       | До 15         |
| Кут запуску                        | дані відсутні |
| Загальна вага, кг                  | дані відсутні |
| Довжина доріжки, м                 | 2             |
| Час налаштування, хв               | <10           |

#### 7. Гумова катапульта ElevonX Scorpion (рис. 1.10)

Гумова пускова установка ElevonX Scorpion був розроблений знизу вгору з урахуванням безпеки, довговічності та простоти використання.

Однією з головних переваг системи катапульти ElevonX Scorpion це проста конструкція дозволяє одному оператору підготувати його до запуску та отримати доступ до віддалених районів за допомогою нашої сумки для транспортування пускової установки. Також до переваг можна віднести безпеку експлуатації. Кожен крок процедури запуску було ретельно вивчено, а відповідні заходи безпеки вбудовані в пускову установку або включені в контрольний список керованої процедури безпеки, що дозволяє оператору безпечно та успішно запускати БПС:

- Банджі шнури, укладені в пускову трубу – відсутність ризику пошкодження оператора або обладнання в разі поломки банджі шнурів
- Надійний механізм розблокування
- Механізм лебідки, встановлений позаду.

Пускова установка виконана з алюмінію та нержавіючої сталі. Вона призначена для запуску легкого та надлегкого класу БПС. Працює від гумового троса який кріпиться через блок, для збільшення робочої довжини троса.

Основні характеристики катапульти ElevonX Scorpion наведені в таблиці 1.7.





Рис 1.10. Гумова катапульта ElevonX Scorpion

Таблиця 1.7

Технічні характеристики катапульти ElevonX Scorpion

|                                    |               |
|------------------------------------|---------------|
| Тип катапульти                     | гумова        |
| Максимальна швидкість запуску, м/с | 20            |
| Максимальна вага літака, кг.       | До 10         |
| Кут запуску                        | дані відсутні |
| Загальна вага, кг                  | <20           |
| Довжина доріжки, м                 | 2,4           |
| Час налаштування, хв               | 10            |

### 1.3 Висновок по розділу

В ході роботи над даним розділом було зібрана та проаналізована інформація щодо характеристик, конструктивних схем та типу запуску п'яти катапульти: пневматичної MC0315L, пневматичної GLS-1A, пневматичної

катапульта компанії Альбатрос, пневматичної C400P, банджі(гумова) C200R, банджі катапульта компанії Bramor та банджі катапульта ElevonX Scorpion. В результаті, був зроблений висновок, що тип конструкції більш за все залежить від масових та швидкісних характеристик БПС.

Баджі (резинова) катапульта зазвичай служить для запуску легких БПС масою до 25 кг.

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 БПС але також можуть використовуватись для легких БПС.

Основні переваги пневматичної катапульти це:

- велика маса запуску БПС в порівнянні з баджі катапультию;
- великі швидкості запуску в порівнянні з баджі катапультию;

Отже можна зробити висновок, що для розглянутих БПС маса яких не перевищує 25 кг, більш практичною буде банджи катапульта.

## 2. РОЗРОБКА КОНСТРУКЦІОННО-СИЛОВОЇ СХЕМИ ТА МАТЕМАТИЧНОЇ МОДЕЛІ КАТАПУЛЬТИ

Умовні позначення

$v$  – Швидкість каретки з БПС

$v_F$  – кінцева швидкість каретки з БПС на кінці рейки

$t_F$  – остаточний час тривалості запуску

$a$  – прискорення

$\alpha$  – кут підйому направляючої рейки

$R_x, R_z$  – підйомна сила, сила опору

$q$  – жорсткість фіктивного еластичного шнура

$b$  – довжина шнура (неподовженого)

$\Delta x$  – подовження шнура

$L$  – ефективна довжина рейки

$m_{БПС}$  – маса безпілотного літального апарату

$m_K$  – маса каретки

$\mu$  – коефіцієнт статичного тертя

$N$  – перпендикулярна реакція похилої площини

$T$  – рушійна сила БПС

$F_e$  – сила фіктивного пружного шнура

$q_r$  – реальна жорсткість пружного шнура

$F_\mu$  – сила тертя ковзання

$t_0, \dot{x}_0, x_0$  – початкові значення диференціального рівняння

$E_k$  – кінетична енергія каретки з БПС

$A_g$  – робота сили тяжіння

$A_\mu$  – робота сили тертя ковзання

$A_c$  – фіктивна робота сили пружного шнура

$A_{CR}$  – реальна робота сили пружного шнура

$A_T$  – робота рушійної сили

$F_{er}$  – сила реального пружного шнура

$S$  – аеродинамічна поверхня крила

Для визначення закону руху на стартовій рейці диференціальні рівняння руху динамічної (матеріальної) системи катапульти (рис. 2.1) доцільно сформулювати з використанням принципу Даламбера. Для цього зв'язки розрізаються (роз'єднуються), а замість них вводяться реакції зв'язків, тобто в кожній точці динамічної системи додаються сили інерції [9]].

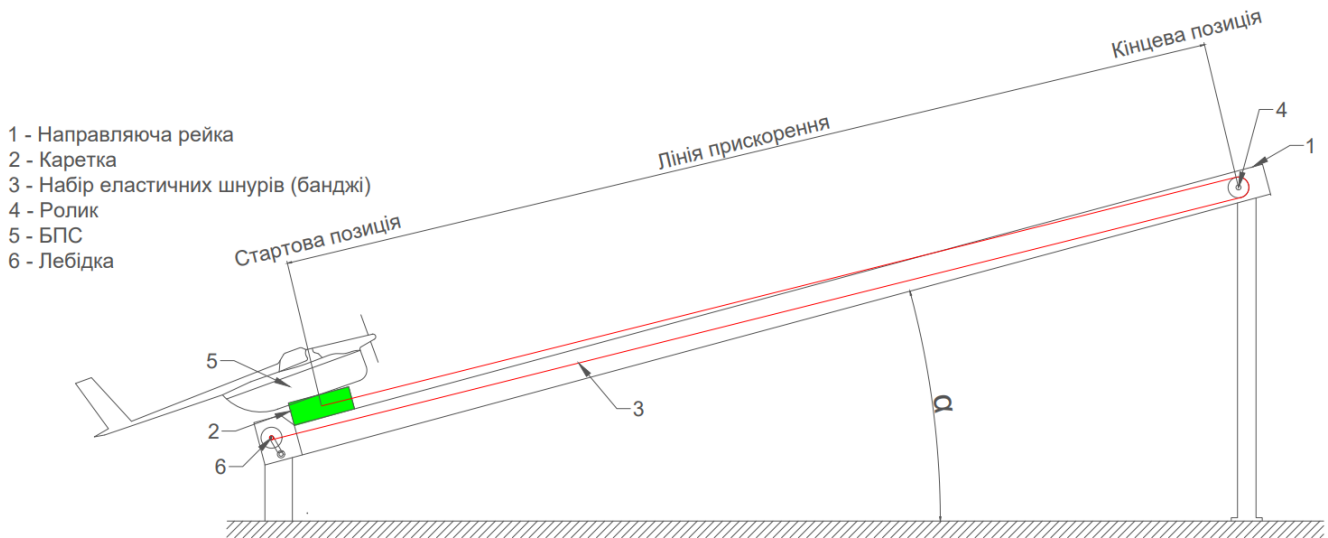


Рис 2.1. Функціональна схема банджі-катапульти

Результатом розгляду наступних припущень є спрощення робочих сил у динамічній системі банджі-катапульти (рис.2.2).

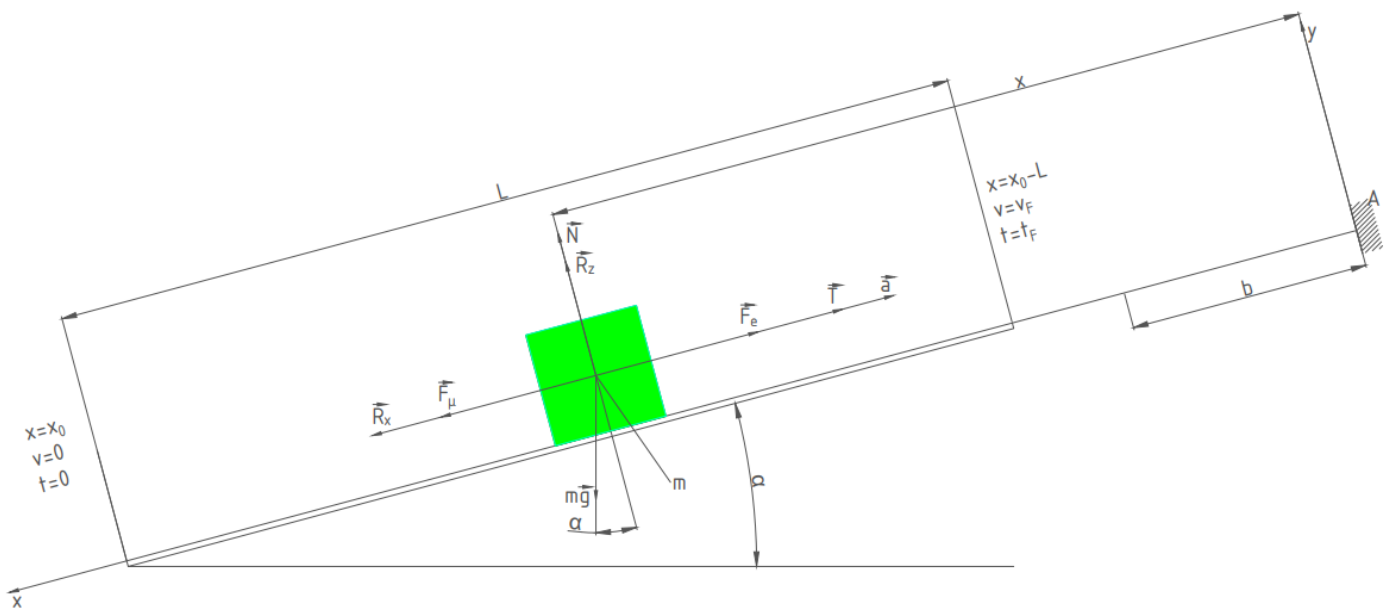


Рис 2.2. Розрахункова схема катапульти



### **Припущення 1.**

Катапульта - це динамічна система, яка розглядається як кінетика частинки.

– Оскільки БПС та каретка рухаються лінійно по похилій площині, це припущення можна прийняти на додаток до прийняття наступних двох припущень.

### **Припущення 2.**

Масою пружних шнурів знехтувати.

### **Припущення 3.**

Масою роликів знехтувати.

– Ці знехтувані маси насправді існують у динамічній системі катапульти (маса пружного шнура більш впливова), але їхній вплив має компенсуватися запасом енергії в еластичних шнурах.

### **Припущення 4.**

Напрямок сили пружних шнурів, які буксирують люльку з БПС, компланарний до похилої площини.

– Буксирна сила каретки завжди діє під кутом до похилої площини через конструктивні обмеження. Цей кут є найменшим, коли підставка знаходиться у початковому положенні, і зростає, коли підставка переміщується в кінцеве положення. З цієї причини передній ролик повинен бути встановлений якомога ближче до похилої площини, по якій рухається люлька.

### **Припущення 5.**

Силою тертя пружних шнурів по роликах знехтувати.

– Оскільки роликам надається власне обертання, це значно зменшує силу тертя еластичних шнурів об ролики.

### **Припущення 6.**

Жорсткість еластичних шнурів постійна.

### **Припущення 7.**

Роботою сили тертя при відриві БПС з каретки в кінцевому положенні нехтують.

- Робота сили тертя при відриві БПС з каретки порівняно невелика через малу дистанцію розбігу.

- Усі знехтувані сили тертя повинні бути компенсовані запасом енергії в еластичних шнурах.

### **Припущення 8.**

Сила підсумовуваних пружних шнурів  $F_e$  лінійна відносно подовження.

- Припущення справедливе, якщо подовження знаходиться в діапазоні від 20% до 80%.

### **Припущення 9.**

Вважається, що сили  $T$  і  $R_x$  компланарні похилій площині. Крім того, сила  $R_z$  колінеарна  $N$ , тобто вони діють перпендикулярно до похилої площини.

- Для досягнення достатньої підйомної сили БПС встановлюється на підставку під кутом  $\alpha_1$  до похилої площини.

- Оскільки кут  $\alpha_1$  є відносно малим ( $\cos\alpha_1 \sim 1$ ), це припущення можна прийняти як правильне.

Диференціальне рівняння руху вільних частинок у векторній формі має вигляд:

$$m\vec{a} = \sum_{i=1}^n \vec{F}_i^a + \sum_{i=1}^n \vec{F}_i^r \quad (1)$$

Застосовуючи (1) до математичної моделі катапульти, можна отримати:

$$m\vec{a} = \vec{F}_e + m\vec{g} + \vec{F}_\mu + \vec{R}_x + \vec{R}_z + \vec{T} + \vec{N} \quad (2)$$

Сила уявних пружних шнурів дорівнює:

$$F_e = q(x - b) \quad (3)$$

Маса БПС і каретки становить:

$$m = m_{\text{БПС}} + m_{\text{К}} \quad (3)$$

Сила опору БПС становить:

$$R_x = C_x \frac{\rho v^2}{2} S \quad (4)$$

Підйомна сила БПС становить:

$$R_z = C_z \frac{\rho v^2}{2} S \quad (5)$$

Тягова сила гвинта БПС [8] становить:

$$T = T_o \left(1 - \frac{v}{v_s}\right) \cong T(\dot{x}) \quad (6)$$

Сила тертя ковзання дорівнює:

$$F_\mu = \mu N \quad (7)$$

### **Припущення 10.**

Силою опору БПС  $R_x$  нехтують.

### **Припущення 11.**

Підйомною силою  $R_z$  БПС знехтувати.

Ці два припущення беруться до уваги, щоб спростити рівняння (2). Підйомна сила  $R_z$  БПС опосередковано зменшує силу тертя ковзання  $F_\mu$  на приблизну величину  $R_x$ .

### **Припущення 12.**

Вважається, що тягова сила  $T$  гвинта БПС постійна.

- Це припущення береться до уваги, щоб спростити рівняння (2). Значення  $T$  зменшується зі збільшенням швидкості. Передбачається, що середнє постійне значення  $T$  виконує ту саму роботу, що й реальне  $T$ .

Застосовуючи припущення 10 і 11, рівняння (2) набуває вигляду

$$m\vec{a} = \vec{F}_e + m\vec{g} + \vec{F}_\mu + \vec{T} + \vec{N} \quad (8)$$

Оскільки рух частинки є площинним і лінійним, то проекцією (9) на вісь  $x$  і на вісь  $y$  отримуємо:

$$ma = F_\mu + mg \cdot \sin \alpha - F_e - T \quad (9)$$

$$N = mg \cdot \sin \alpha \quad (10)$$

потім:

$$a + \frac{q}{m}x = g(\mu \cos \alpha + \sin \alpha) + \frac{q}{m}b - \frac{T}{m} \quad (11)$$

Розв'язком неоднорідного рівняння (12) є:

$$x(t) = C_1 \cos(\sqrt{\frac{q}{m}} t + C_2 \sin(\sqrt{\frac{q}{m}} t + \frac{mg}{q} (\mu \cos \alpha + \sin \alpha) + b - \frac{T}{q}) \quad (12)$$

Для початкових значень:  $t=0$ ,  $x=x_0$ ,  $\dot{x}_0=0$  рівняння (13) набуває вигляду:

$$x(t) = \left[ x_0 + \frac{T}{q} - \frac{mg}{q} (\mu \cos \alpha + \sin \alpha) - b \right] \cos \sqrt{\frac{q}{m}} t + \frac{mg}{q} (\mu \cos \alpha + \sin \alpha) + b - \frac{T}{q} \quad (13)$$

Рівняння (14) представляє закон руху катапульти. Знайшовши першу похідну від (14), вираз швидкості катапульти буде:

$$v(t) = \left[ x_0 + \frac{T}{q} - \frac{mg}{q} (\mu \cos \alpha + \sin \alpha) - b \right] \sqrt{\frac{q}{m}} \sin \sqrt{\frac{q}{m}} t \quad (14)$$

Застосовуючи кінцеві значення  $t=t_F$ ,  $x(t_F)=x_0-L$  у рівнянні (14), отримуємо вираз кінцевого моменту  $t_F$ , коли каретка досягає кінцевого положення:

$$t_F = \sqrt{\frac{m}{q}} \arccos \frac{x(t_F) - \frac{mg}{q} (\mu \cos \alpha + \sin \alpha) - b + \frac{T}{q}}{x_0 + \frac{T}{q} - \frac{mg}{q} (\mu \cos \alpha + \sin \alpha) - b} \quad (15)$$

Знаходячи похідну (15), вираз прискорення на катапульти має вигляд:

$$a(t) = - \left[ x_0 + \frac{T}{q} - \frac{mg}{q} (\mu \cos \alpha + \sin \alpha) - b \right] \frac{q}{m} \cos \sqrt{\frac{q}{m}} t \quad (16)$$

## 2.1 Висновки до розділу

В даному розділі були розглянуті математична модель розрахунку банджі катапульти. Показані схеми розрахункових моделей, розглянуті припущення які спрощують розрахунок та проведений розрахунок за даними моделями.

### 3. ВИЗНАЧЕННЯ МАСОВО-ГЕОМЕТРИЧНИХ ТА ДИНАМІЧНИХ ПАРАМЕТРІВ КАТАПУЛЬТИ

#### 3.1 Визначення динамічних параметрів катапульти

Потрібна сила:

$$F = m \cdot g \cdot n_{\max} = 1940,4 \text{ Н.}$$

Прискорення каретки с БПЛА.

$$a = g \cdot n_{\max}$$

На рис. 3.1 показана залежність прискорення від перенавантаження



Рис. 3.1. Залежності прискорення  $a$  від перенавантаження  $n$

Довжину направляючої при рівномірно прискореному русі

$$L_{\min} = \frac{V_{\max}^2}{2 \cdot a} = 2.5 \text{ м.}$$

Згідно з обраною функціональною схемою (рис. 2.1) і математичною моделлю (рис. 2.2), конструктивні характеристики ( $q$ ,  $L$ ,  $b$ ,) змінюються на (15), (16) і (17), щоб виконати всі вимоги Налаштування завдання на проектування баджи катапульти.

$$m = m_{\text{БПС}} + m_{\text{К}} = 20 + 2 = 22 \text{ кг}$$

$$L = 3 \text{ м}$$

$$b = 2,5 \text{ м}$$

( $b$  має бути вибрано, щоб задовольнити попереднє натягування шнура та робочий діапазон шнура),

$$\mu = 0,1;$$

$$\alpha = 15^\circ (0,175 \text{ рад});$$

$$T = 450 \text{ Н};$$

і початкові значення з (рис.3):

$$t = 0, x = x_0 = 5,6 \text{ м}, v_0 = 0$$

( $x_0$  - довжина шнура в початковому положенні: залежить від  $b$  - довжини нерозтягнутого шнура, відстані між осями роликів і  $L$  - ефективною довжиною рейки), кінцеві (рис.3) значення:

$$t = t_F, x = x_0 - L = 2,6 \text{ м}, v = v_F$$

отримана швидкість каретки в момент відльоту БПС з катапульти:  $t_F=0,6 \text{ с}$ ,  $v_F=15,8 \text{ м/с}$ , для сукупної жорсткості фіктивних еластичних шнурів:  $q=350 \text{ Н/м}$ .

Графік (рис. 3.2.) представляє зміну швидкості та прискорення на банджі-катапульти.

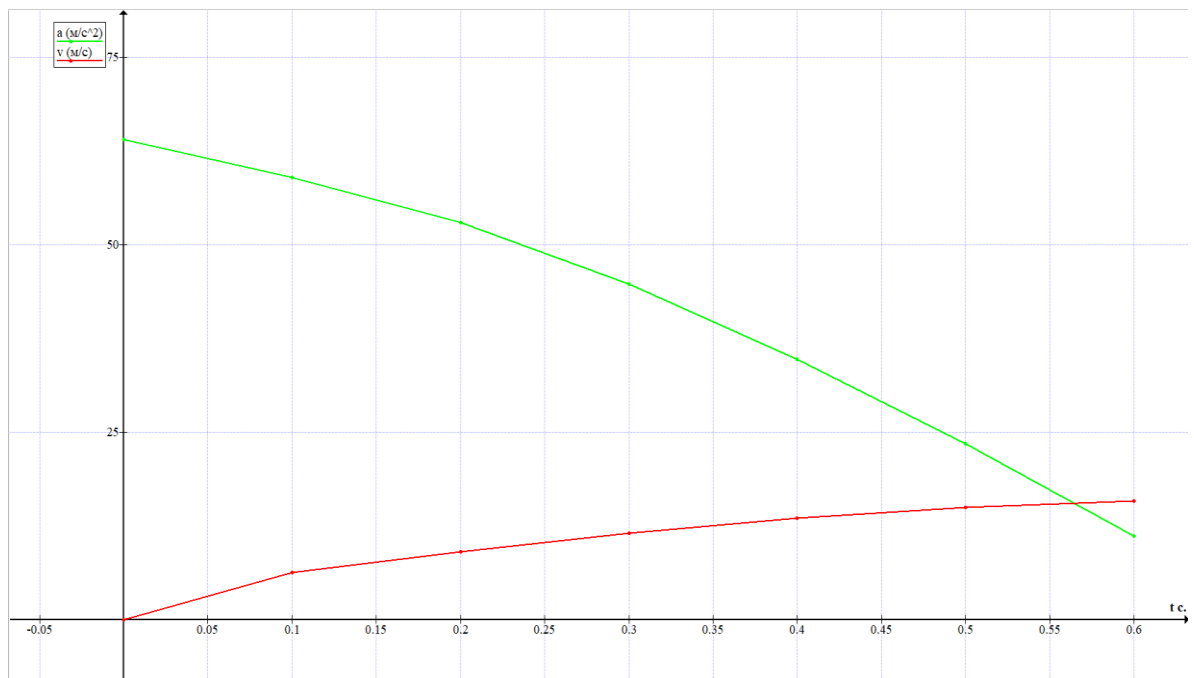


Рис 3.2. Попередня діаграма швидкості та прискорення під час запуску

### 3.2 Перевірка результатів

Перевірку результатів ( $v_F=15,8$  м/с,  $q=350$ Н/м) можна виконати за допомогою теореми про роботу кінетичної енергії[9][15].

$$E_{K_F} - E_{K_0} = \sum_i A_i \quad (17)$$

Еластичні шнури та двигун БПС забезпечують ефективну роботу банджі-катапульти. Ефективна робота  $A_C$  еластичних шнурів:

$$A_C = q \left( \frac{\Delta x_0^2}{2} - \frac{\Delta x^2}{2} \right) = 2020 \text{ Дж} \quad (18)$$

Ефективна робота рушійної установки БПС  $A_T$  становить:

$$A_T = T \cdot L = 1500 \text{ Дж} \quad (19)$$

Ефективна робота пружних шнурів і рушійної установки БПС перетворюється на кінетичну енергію ЕК БПС та підставки та витрачається на роботу сили тяжіння БПС та підставки  $A_g$ , а також на роботу сили тертя ковзання  $A_\mu$ .

$$E_K = m \frac{v_F^2}{2} \quad (20)$$

$$A_g = mg(y - y_0) = mgL \sin \alpha \quad (21)$$

$$A_\mu = F_\mu \cdot L = \mu mgL \cos \alpha \quad (22)$$

Результат:

$$A_C + A_T \sim E_K + A_g + A_\mu \quad (23)$$

(2989 Дж ~ 2976 Дж)

з похибкою менше 1%, розрахунок можна прийняти правильним.

Справжні еластичні шнури

Реальний пружний шнур вибирають за попередньо розрахованою ефективною роботою  $A_C=16000$  Дж. Реальний пружний шнур приймається з діаграми сила/подовження (рис. 3.3.), [13], щоб задовольнити наступну умову

$$A_{CR} \geq 2989 \text{ Дж} \quad (24)$$

### Припущення 13.

Гістерезисом шнурів банджі діаметром  $\leq 13$  мм нехтують.

- Виробники шнурів банджі представляють гістерезис на діаграмі сила/подовження банджі діаметром  $\geq 20$  мм, де його необхідно враховувати.

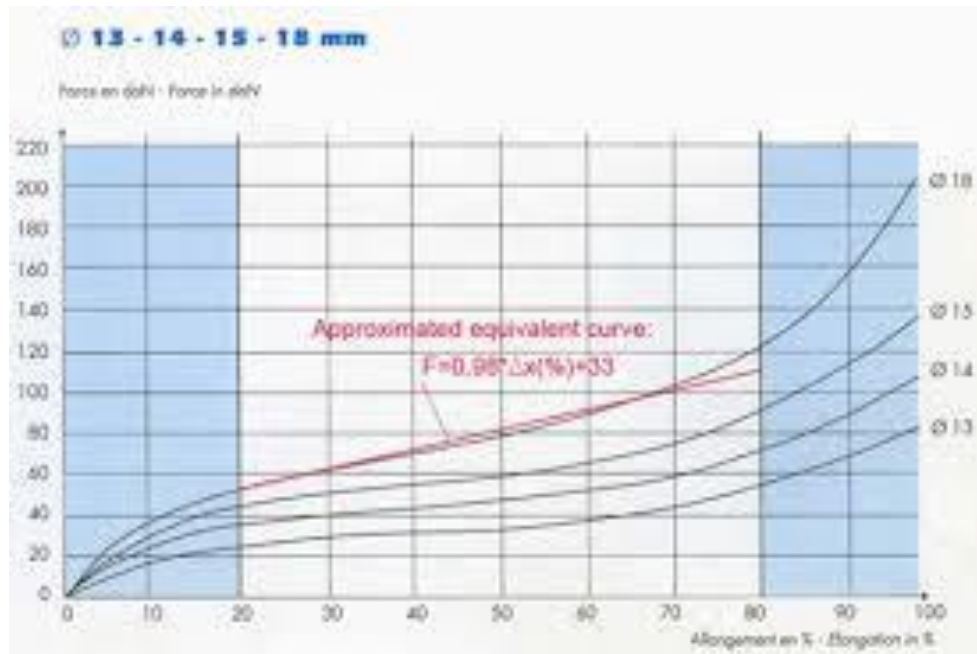


Рис 3.3. Діаграма сила/подовження справжніх шнурів для банджі

Шляхом апроксимації реальної кривої шнура банджі (рис. 3.2) прийнятого шнура Ø13, з еквівалентною прямою в діапазоні від 20% до 80%, отримано один вираз сили шнура у функції відносного подовження (%):

$$F_{er}^1 = 0.98 \cdot \Delta x(\%) + 33 \quad (25)$$

а саме, після перетворення відносного видовження в абсолютне вираз (25) набуває вигляду:

$$F_{er}^1 = 104,6 + 319 = q_r^1 x + n_r^1 \quad (26)$$

Використання двох прийнятих справжніх шнурів банджі Ø13 достатньо для задоволення вимог катапульти, оскільки умова (24) була задоволена. Підсумовувана сила чотирьох дійсних шнурів банджі дорівнює:

$$F_{er} = 2 \cdot F_{er}^1 = 209,2x + 638 = q_r x + n_r \quad (27)$$

Одна справжня ефективна робота банджі шнура:

$$A_{CR}^1 = \int_{1.5}^4 F_{er}^1 dx = 1517 \text{ Дж} \quad (28)$$



Ефективна робота сумованих двох шнурів:

$$A_{CR} = 2 \cdot A_{CR}^1 = 3034 \text{ Дж} \quad (29)$$

Беручи до уваги рекомендації виробників банджі-шнурів і діаграми сили/подовження справжніх банджі-шнурів, можна помітити, що уявна сила еластичних банджі-шнурів певною мірою відрізняється від реальної сили банджі-шнурів. Крім того, можна помітити, що ці сили виробляють приблизно однакову роботу (2989 Дж і 3034 Дж), але якщо (27) застосувати до (3), ми отримаємо таку форму реальної сили банджі-тросу:

$$F_{er} = q_r(x - b) + n_r \quad (30)$$

Після цього рівняння (14), (15), (16) і (17) отримали такі форми відповідно:

$$x(t) = \left[ x_0 + \frac{T + n_r}{q_r} - \frac{mg}{q_r} (\mu \cos \alpha + \sin \alpha) - b \right] \cos \sqrt{\frac{q_r}{m}} t + \frac{mg}{q_r} (\mu \cos \alpha + \sin \alpha) + b - \frac{T + n_r}{q_r} \quad (31)$$

$$v(t) = \left[ x_0 + \frac{T + n_r}{q_r} - \frac{mg}{q_r} (\mu \cos \alpha + \sin \alpha) - b \right] \sqrt{\frac{q_r}{m}} \sin \left( \sqrt{\frac{q_r}{m}} t \right) \quad (32)$$

$$t_F = \sqrt{\frac{m}{q}} \arccos \frac{x(t_F) - \frac{mg}{q_r} (\mu \cos \alpha + \sin \alpha) - b + \frac{T + n_r}{q_r}}{x_0 + \frac{T + n_r}{q_r} - \frac{mg}{q_r} (\mu \cos \alpha + \sin \alpha) - b} \quad (33)$$

$$a(t) = - \left[ x_0 + \frac{T + n_r}{q_r} - \frac{mg}{q_r} (\mu \cos \alpha + \sin \alpha) - b \right] \frac{q_r}{m} \cos \sqrt{\frac{q_r}{m}} t \quad (34)$$

Використовуючи значення та умови з числового прикладу та реальні характеристики банджі-тросу  $q_r=209,2$  Н/м та  $n_r=638$  Н, отримано значення  $t_F=0,41$  с,  $v_F=16,1$  м/с, а також зміну швидкості та графік прискорення (рис. 3.4.) реальної банджі катапульти.

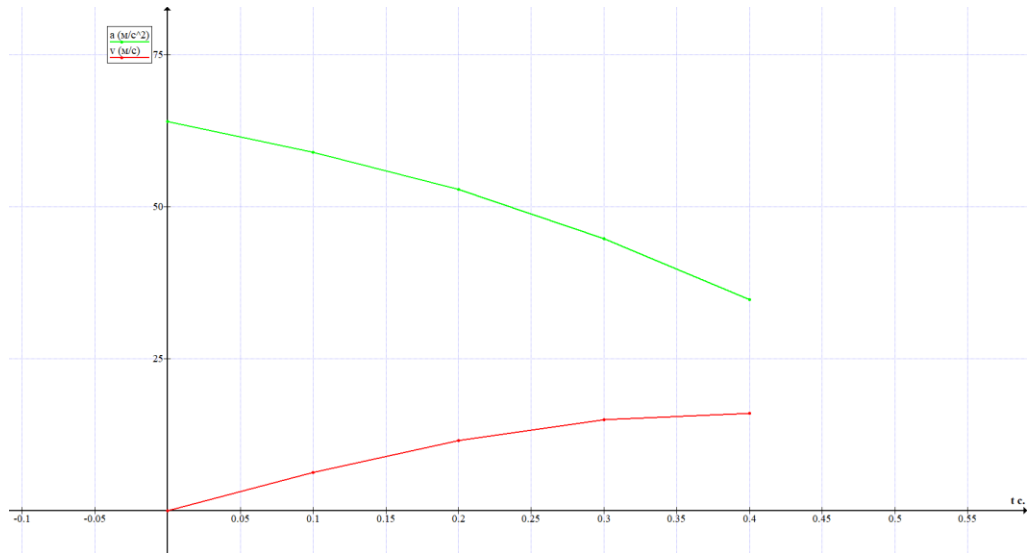


Рис 3.4. Діаграма швидкості та прискорення для справжніх шнурів банджі

### 3.3 Перевірка кінцевих результатів

Щоб підтвердити отримані результати з точки зору аеродинаміки, у цій главі ігноруються припущення 10 і 11, які виключають силу підйому і лобового опору з розрахунків; таким чином, рівняння (1) і (2) тепер змінено:

$$m\vec{a} = \vec{F}_e + m\vec{g} + \vec{F}_\mu + \vec{R}_x + \vec{R}_z + \vec{T} + \vec{N} \quad (35)$$

$$m\ddot{x} = F_e - mg \cdot \sin \alpha - F_\mu + T - R_x \quad (36)$$

$$m\ddot{y} = N - mg \cdot \cos \alpha + R_z = 0 \quad (37)$$

Рівняння (36) і (37) представляють систему нелінійних диференціальних рівнянь, яка описує рух у напрямку  $x$  (вздовж рейки в напрямку руху) та у напрямку (перпендикулярно до рейки, протилежно  $g$ ). Диференціальні рівняння розв'язуються чисельно за допомогою програми Excel. Результати розрахунків представлені на графіку (рис 3.5.), де видно, що для часу  $t_F \approx 0,41$  с стартова швидкість становить  $v_F \approx 16,1$  / м с.

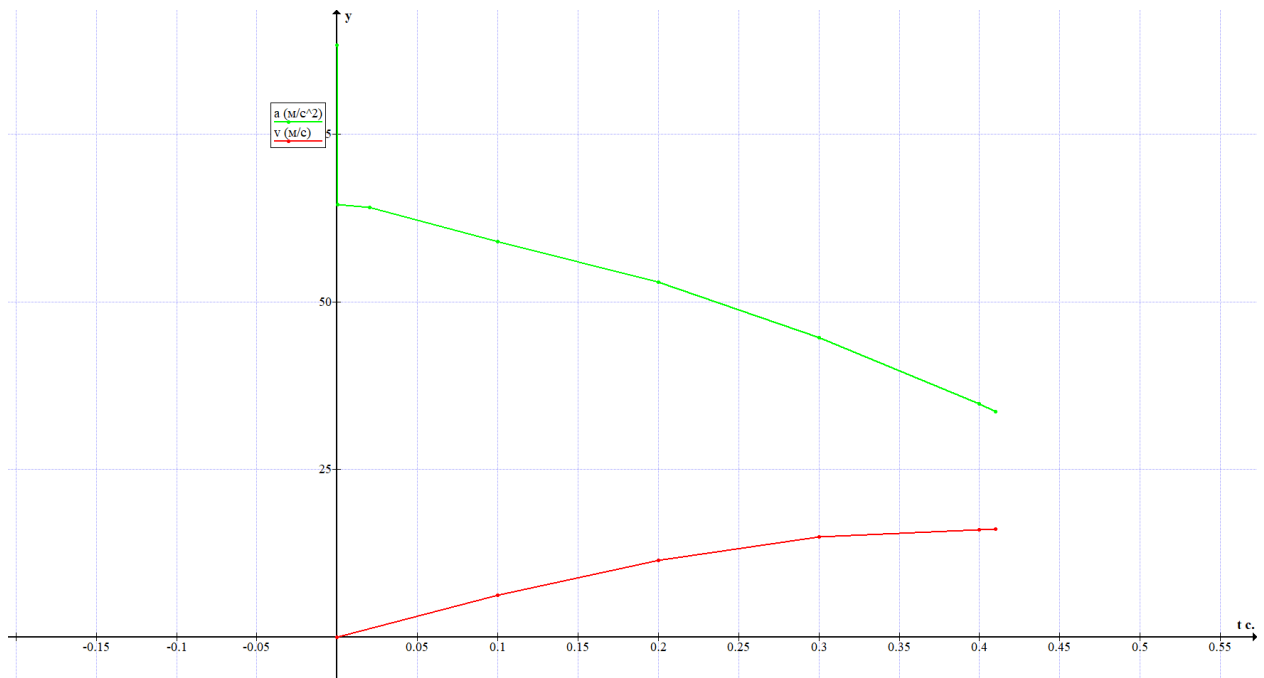


Рисунок 3.5. Результати швидкості та прискорення

З результатів розрахунків можна побачити, що введення припущення 10 і припущення 11 є виправданим, оскільки відмінності в результатах між моделлю з аеродинамічними силами та моделлю без аеродинамічних сил є мінімальними і ними можна знехтувати. Також слід сказати, що нехтування аеродинамічними силами виправдано, якщо швидкості старту не наближаються до 30 м/с, мають перевагу над пневматичними катапультами.

### 3.4 Висновки до розділу

Розрахунок фіктивного пружного шнура (який найчастіше зустрічається в літературі) не може бути визнаний достовірним, оскільки його графік прискорення значно відрізняється від прискорення, досягнутого реальним пружним шнуром (для порівняння рис. 3.2. і рис. 3.4.).

Початковий ривок фіктивного шнура становить  $6,3g$  після удару люльки об самоскид із прискоренням  $1,6g$ . У випадку справжнього шнура банджі ці значення становлять  $6,1g$  і  $2,9g$  відповідно. Ефективну роботу, досягнуту фіктивним шнуром, все ще можна вважати реалістичною, оскільки він досягає кінцевої швидкості 15,8 м/с. Згідно з цією умовою роботи  $A_{CR} \geq 2989$  Дж

вибрано справжній банджі шнур. Визначена математична модель справедлива для прийнятих гіпотез. Для всіх гіпотез, які прямо чи опосередковано зменшують жорсткість шнура (сила натягу шнура), компенсація буде здійснена за допомогою запасу потужності – додаткової жорсткості. Результати цих коригувань відображаються на кінцевій швидкості  $v_F = 16,1$  м/с, що значно перевищує необхідний запас міцності в 15%. Крім того, натяг шнура можна відкоригувати лебідкою якою натягують шнур, за допомогою чого максимальна сила розтягування може бути змінена на  $\pm 15\%$ . При однаковому подовженні корд повинен залишатися в межах від 20% до 80%. Це особливо корисно, якщо маса БПС змінюється через мінливе корисне навантаження. Розрахунок справжніх шнурів банджі дозволяє правильно вибрати кількість справжніх шнурів банджі.

## 4. ПРОЕКТНИЙ РОЗРАХУНОК ЕЛЕМЕНТІВ КОНСТРУКЦІЇ КАТАПУЛЬТИ

### 4.1 Визначення форми контейнеру

Під час проектного розрахунку направляючої були розглянуті прості геометричні форми, а саме, коло, квадрат і трикутник, так як вони є прості з огляду на простоту виготовлення, та економії коштів при виготовленні. Під час аналізу були обрані та зведені до таблиці 4.1 потрібні критерії, для полегшення вибору найкращої форми направляючої.

Таблиця 4.1

|                                       | Коло | Квадрат | Трикутник |
|---------------------------------------|------|---------|-----------|
| Технологічність конструкції           | 1    | 1       | 0         |
| Зручність транспортування             | 1    | 1       | 1         |
| Відсутність концентраторів напруження | 1    | 0       | 0         |
| Наявність контактної поверхні         | 0    | 1       | 1         |
| Зручність встановлення каретки        | 0    | 1       | 1         |
| Простота виготовлення                 | 1    | 1       | 0         |
| Сума плюсів                           | 4    | 5       | 3         |

Відповідно найкращою альтернативою форми направляючої для старту БПС являється тонкостінна труба квадратної форми. Обрана конструкція має один великий недолік – це наявність концентрації напружень.

## 4.2 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  $\sigma_{\max}$  і дотичним  $\tau_{\max}$  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 напругах представляються наступним чином:

$$\sigma_{\max} = \frac{|M_{\max}|}{W} \leq [\sigma] \quad (38)$$

$$\tau_{\max} = \frac{|Q_{\max}|}{J} \left( \frac{S_x(y)}{b(y)} \right)_{\max} \leq [\tau] \quad (39)$$

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

Умови третьої теорії міцності:

$$\sigma_{III} \equiv \sqrt{\sigma^2 + 4\tau^2} \leq [\sigma] \quad (40)$$

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 (38) - (39) 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  $\sigma_{\max}$  небезпечним є перетин, в якому згинальний момент  $M$  приймає найбільше значення.

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

У разі використання співвідношення (39) небезпечним є перетин, в якому еквівалентне напруження  $\sigma_{\text{ш}}$  має найбільше значення. Якщо  $M$  і  $Q$  приймають максимальні значення в одному перерізі, то в цьому ж перетині максимальним буде і  $\sigma_{\text{ш}}$ . Якщо ж найбільші значення  $M$  і  $Q$  виникають в різних перетинах, то виконання умови (39), слід перевірити для перетинів, в яких  $M$  і  $Q$  значні за величиною.

Напрути  $\sigma$  і  $\tau$  змінюються по висоті перетину. Умови (38), (39) записуються в відповідних точках максимуму  $\sigma$  і  $\tau$ . Виконання нерівності (39) слід перевірити для точок, в яких  $\sigma$  і  $\tau$  значні за величиною. Для проведення цієї перевірки в небезпечному перерізі балки будують епюри  $\sigma$  і  $\tau$  [1].

#### **4.3 Проектний розрахунок направляючої катапульти для різного матеріалу**

Проектний розрахунок направляючої катапульти проводиться для 3 видів матеріалу, а також для 3 положень каретки, в залежності до положення каретки буде змінюватись і прикладання сили  $F=2.15$  кН.

Перше положення каретки на початку направляючої, сила прикладена на відстані 0,05 м від початку направляючої .

Друге положення каретки по середині направляючої, сила прикладена на відстані 1,5 м від початку направляючої.

Третє положення каретки в кінці направляючої, сила прикладена на відстані 3 м від початку направляючої.

#### 4.4 Проектний розрахунок для направляючої зі сталі

##### 1) Каретка на початку руху

Схему навантаження направляючої зображено (рис. 4.1).

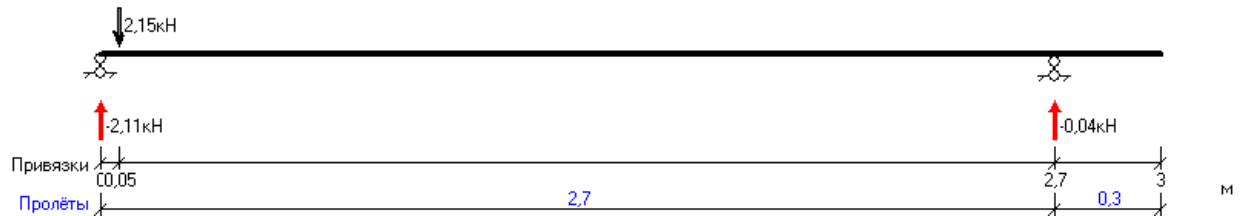


Рис. 4.1. Розрахункова схема направляючої

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. Епюра поперечних сил [кН]



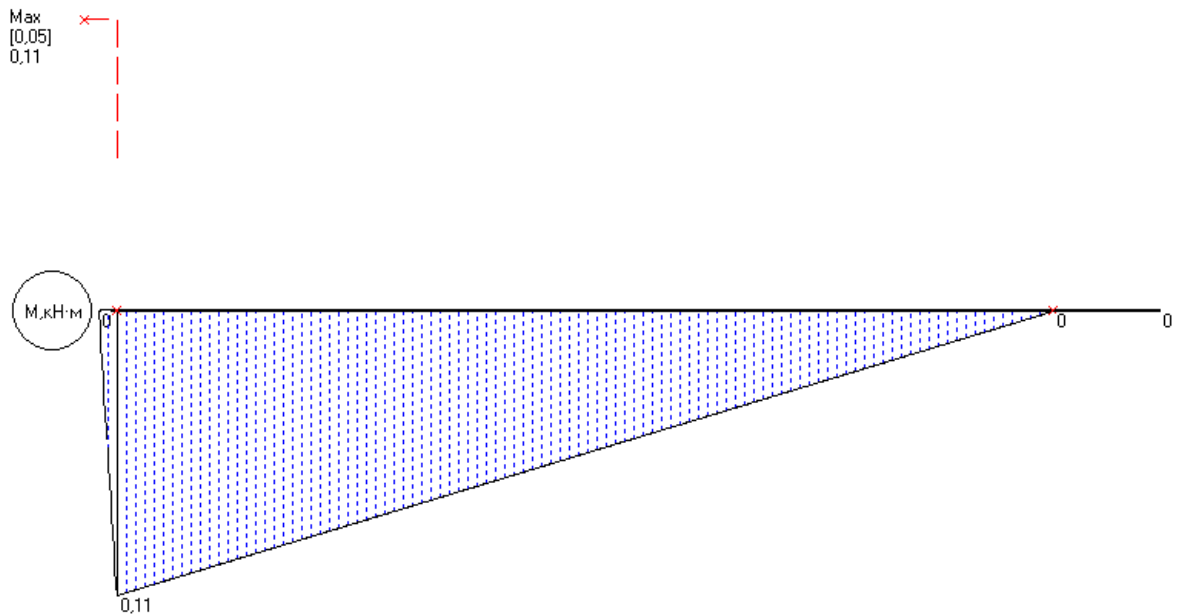


Рис. 4.3. Епюра згинаючих моментів [кН·м]

Результати розрахунку

Момент інерції,  $J_x = 8.781e-7 \text{ м}^4$

Момент інерції,  $J_y = 8.781e-7 \text{ м}^4$

Момент опору,  $W_x = 2.195e-5 \text{ м}^3$

Момент опору,  $W_y = 2.195e-5 \text{ м}^3$

Матеріал - Сталь 3 сп

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  $M_{\max}$ ): 3,70 МПа

- дотичне: (від  $Q_{\max}$ ) 12,27 МПа

Максимальний прогин (з к-том надійності) дорівнює 0,17 м<sup>3</sup>,

що становить 1/3325 від максимального прольоту 2,7 м.

Перетин елемента проходить за умовами міцності і жорсткості.

2) Каретка в середині руху

Схему навантаження направляючої зображено (рис. 4.4).

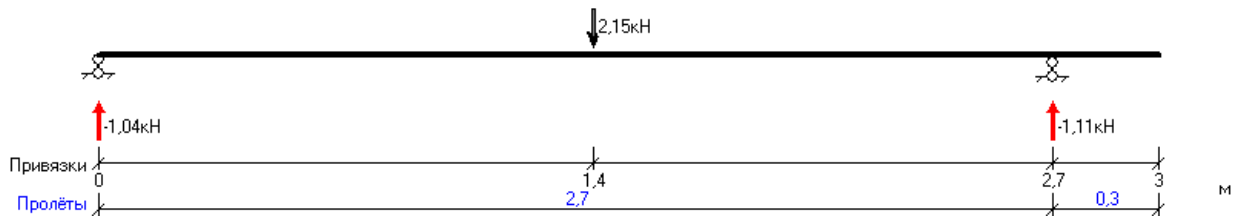


Рис. 4.4. Розрахункова схема направляючої

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).

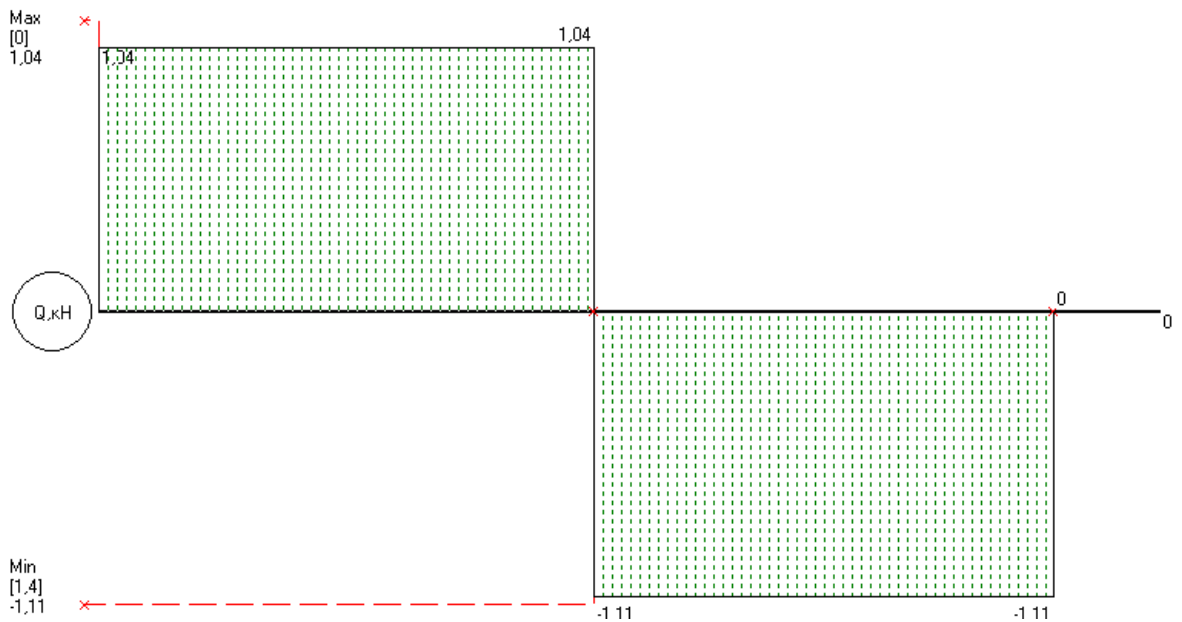


Рис. 4.5. Епюра поперечних сил [кН]

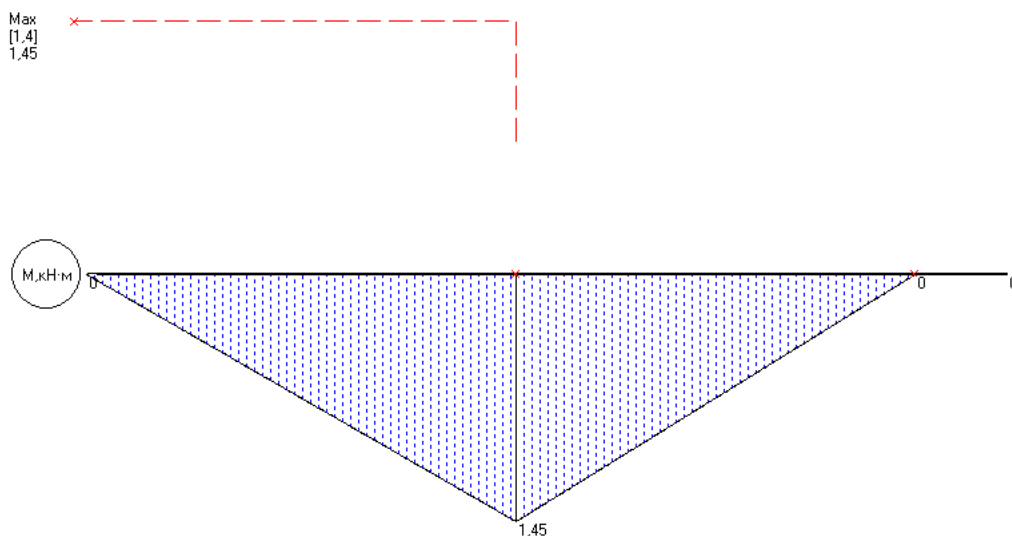


Рис. 4.6. Епюра згинаючих моментів [кН·м]

Результати розрахунку

Момент інерції,  $J_x = 8.781 \text{e-}7 \text{ м}^4$

Момент інерції,  $J_y = 8.781 \text{e-}7 \text{ м}^4$

Момент опору,  $W_x = 2.195 \text{e-}5 \text{ м}^3$

Момент опору,  $W_y = 2.195 \text{e-}5 \text{ м}^3$

Матеріал - Сталь 3сп

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  $M_{\text{max}}$ ): 50,85 МПа

- дотичне: (від  $Q_{\text{max}}$ ) 6,48 МПа

Максимальний прогин (з к-том надійності) дорівнює  $3,00 \text{ м}^3$ ,

що становить 1/901 від максимального прольоту 2,7 м.

Перетин елемента проходить за умовами міцності і жорсткості.

3) Каретка в кінці руху

Схему навантаження направляючої зображено (рис. 4.7).

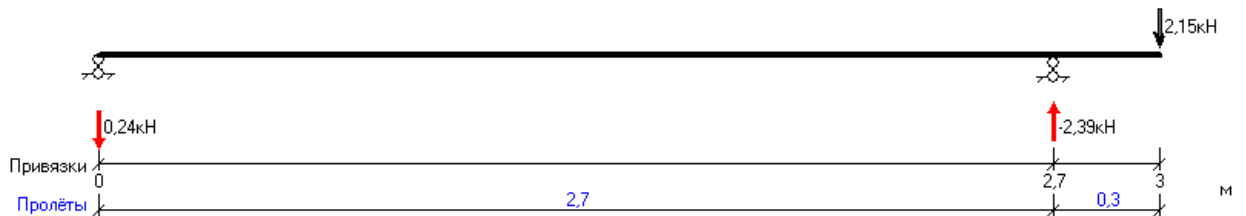


Рис. 4.7. Розрахункова схема направляючої

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).

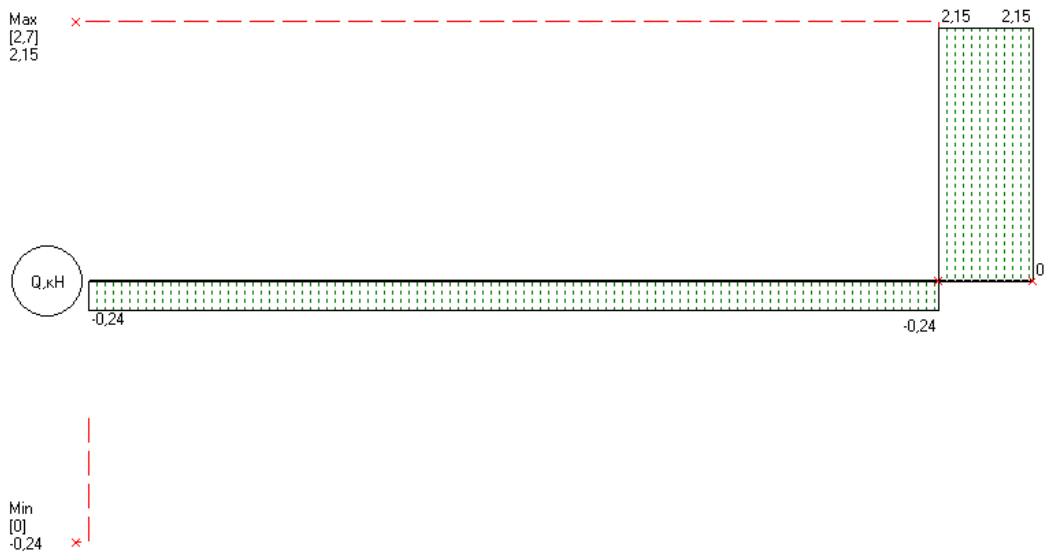


Рис. 4.8. Епюра поперечних сил [кН]

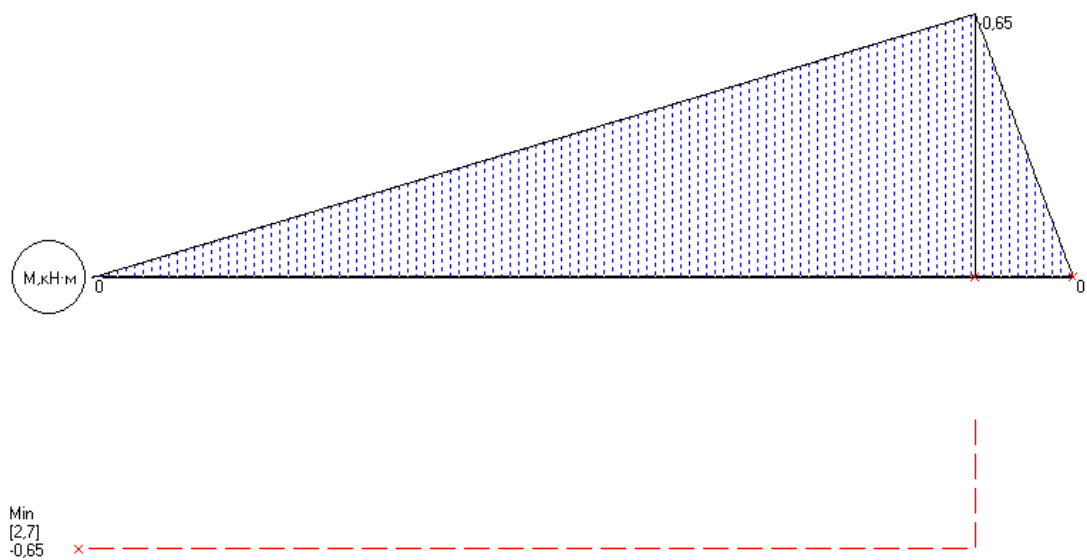


Рис. 4.9. Епюра згинаючих моментів [кН·м]

Результати розрахунку

Момент інерції,  $J_x = 8.781e-7 \text{ м}^4$

Момент інерції,  $J_y = 8.781e-7 \text{ м}^4$

Момент опору,  $W_x = 2.195e-5 \text{ м}^3$

Момент опору,  $W_y = 2.195e-5 \text{ м}^3$

Матеріал - Сталь 3сп

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  $M_{\max}$ ):  $22,63 \text{ МПа}$

- дотичне (від  $Q_{\max}$ ):  $12,5 \text{ МПа}$

Максимальний прогин (з к-том надійності) дорівнює  $1,03 \text{ м}^3$ ,

що становить  $1/1421$  від максимального прольоту  $2,7 \text{ м}$ .

Перетин елемента проходить за умовами міцності і жорсткості.

#### 4.5 Проектний розрахунок для направляючої з алюмінія

1) Каретка на початку руху

Схему навантаження направляючої зображено (рис. 4.1).

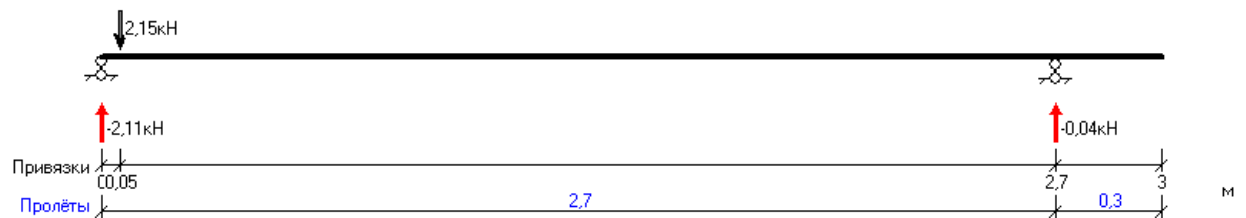


Рис. 4.10. Розрахункова схема направляючої

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. 4.11. Епюра поперечних сил [кН]

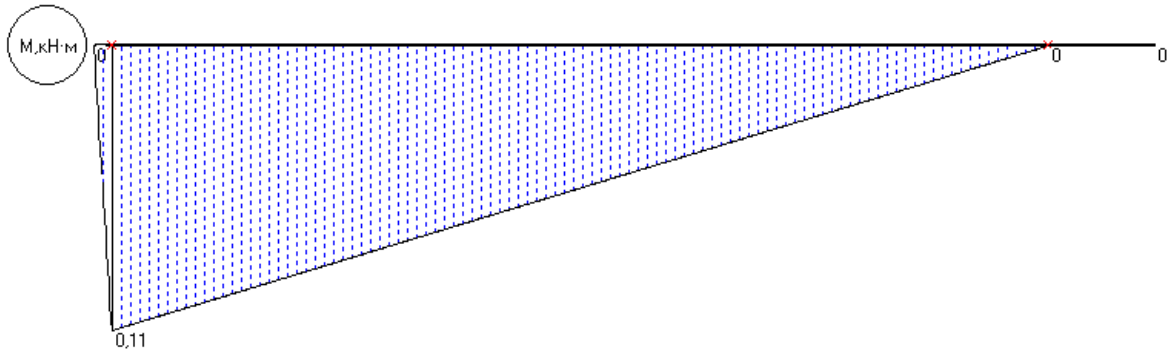


Рис. 4.12. Епюра згинаючих моментів [кН·м]

Результати розрахунку

Момент інерції,  $J_x = 8.781e-7 \text{ м}^4$

Момент інерції,  $J_y = 8.781e-7 \text{ м}^4$

Момент опору,  $W_x = 2.195e-5 \text{ м}^3$

Момент опору,  $W_y = 2.195e-5 \text{ м}^3$

Матеріал – алюміній д16

Розрахунковий опір алюмінія,  $R_y = 175 \text{ МПа}$

Відносний прогин - 1/250 прольоту

Модуль пружності,  $E = 70000 \text{ МПа}$

Напруження в балці, без урахування власної ваги:

- нормальне (від  $M_{\max}$ ): 3,70 МПа

- дотичне: (від  $Q_{\max}$ ) 12,27 МПа

Максимальний прогин (з к-том надійності) дорівнює  $0,50 \text{ м}^3$ ,

що становить 1/5360 від максимального прольоту 2,7 м.

Перетин елемента проходить за умовами міцності і жорсткості.

2) Каретка в середині руху

Схему навантаження направляючої зображено (рис. 4.4).

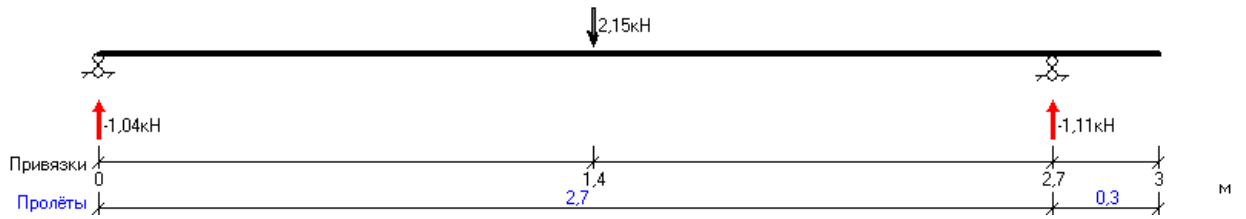


Рис. 4.13. Розрахункова схема направляючої

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).

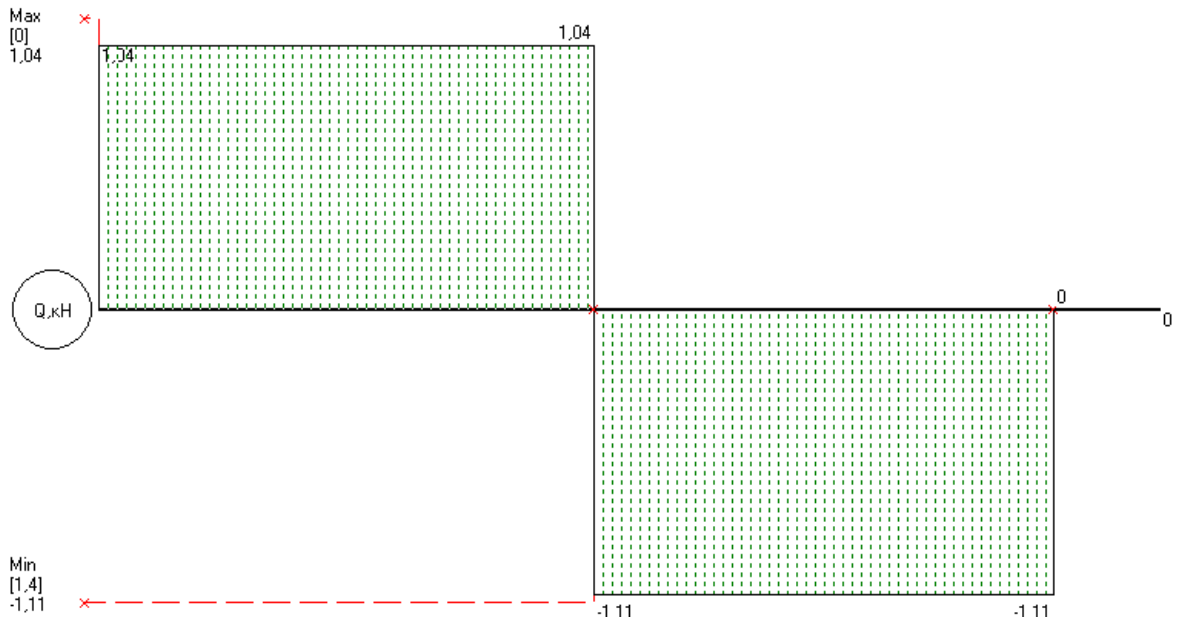


Рис. 4.14. Епюра поперечних сил [кН]

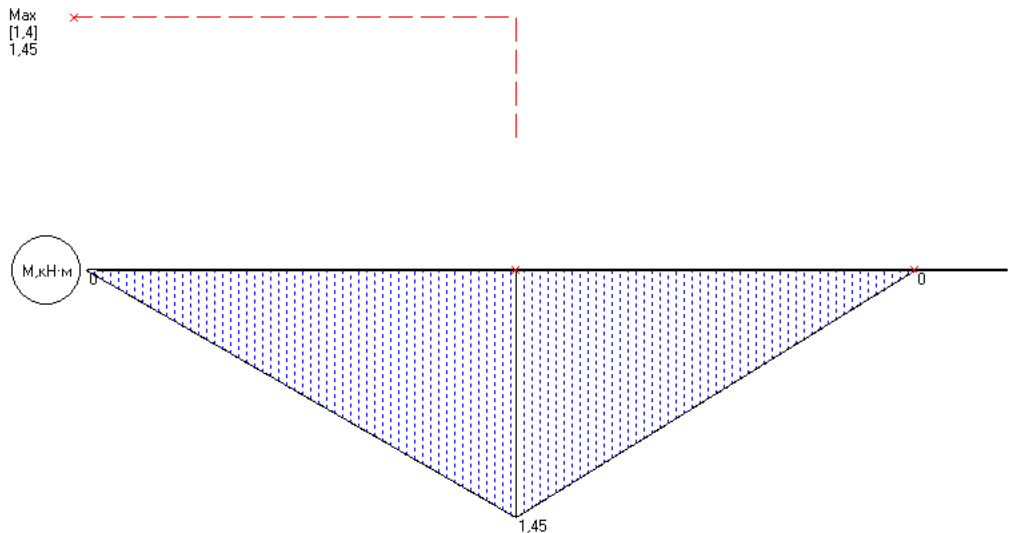


Рис. 4.15. Епюра згинаючих моментів [кН·м]

Результати розрахунку

Момент інерції,  $J_x = 8.781 \text{e-}7 \text{ м}^4$

Момент інерції,  $J_y = 8.781 \text{e-}7 \text{ м}^4$

Момент опору,  $W_x = 2.195 \text{e-}5 \text{ м}^3$

Момент опору,  $W_y = 2.195 \text{e-}5 \text{ м}^3$

Матеріал – алюміній д16

Розрахунковий опір алюмінія,  $R_y = 175 \text{ МПа}$

Відносний прогин - 1/250 прольоту

Модуль пружності,  $E = 70000 \text{ МПа}$

Напруження в балці, без урахування власної ваги:

- нормальне (від  $M_{\text{max}}$ ): 50,85 МПа

- дотичне: (від  $Q_{\text{max}}$ ) 6,48 МПа

Максимальний прогин (з к-том надійності) дорівнює  $8,82 \text{ м}^3$ ,

що становить 1/306 від максимального прольоту  $2,7 \text{ м}^3$ .

Перетин елемента проходить за умовами міцності і жорсткості.

3) Каретка в кінці руху

Схему навантаження направляючої зображено (рис. 4.7).



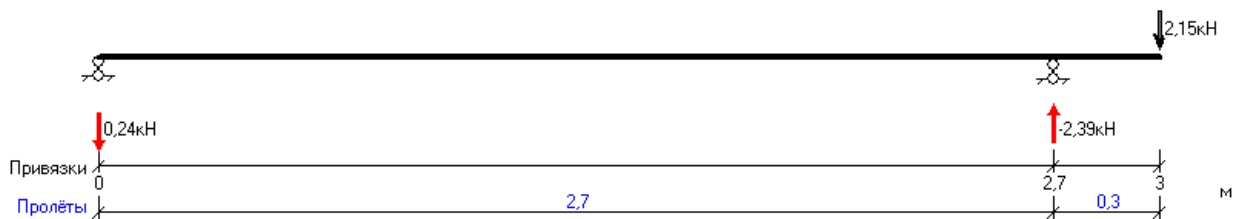


Рис. 4.16. Розрахункова схема направляючої

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).

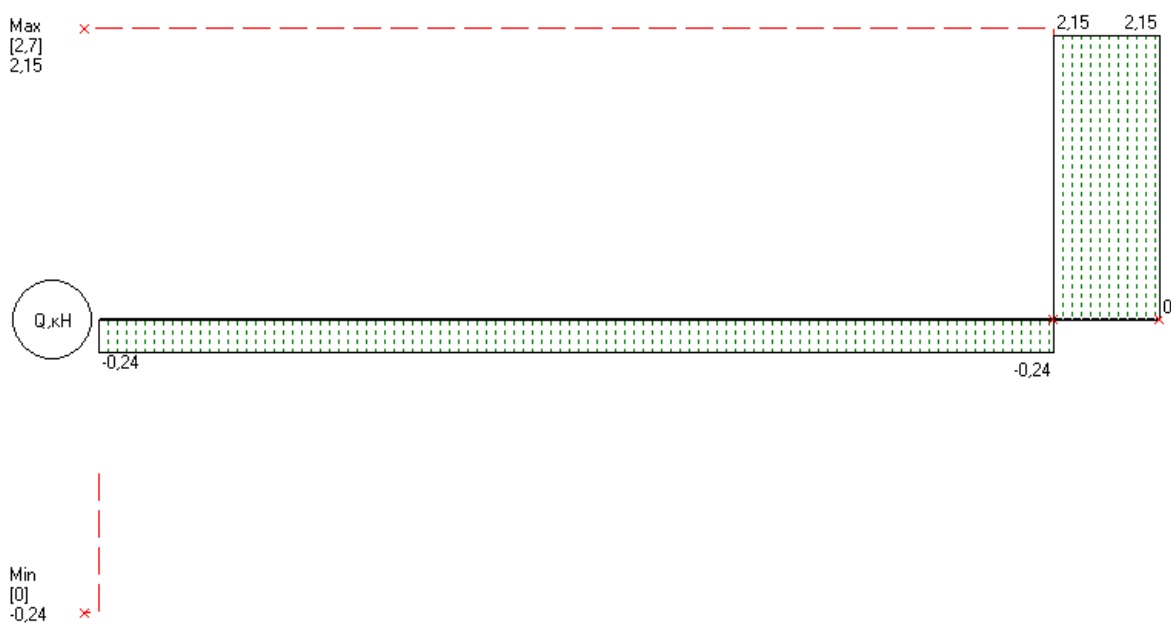


Рис. 4.17. Епюра поперечних сил [кН]

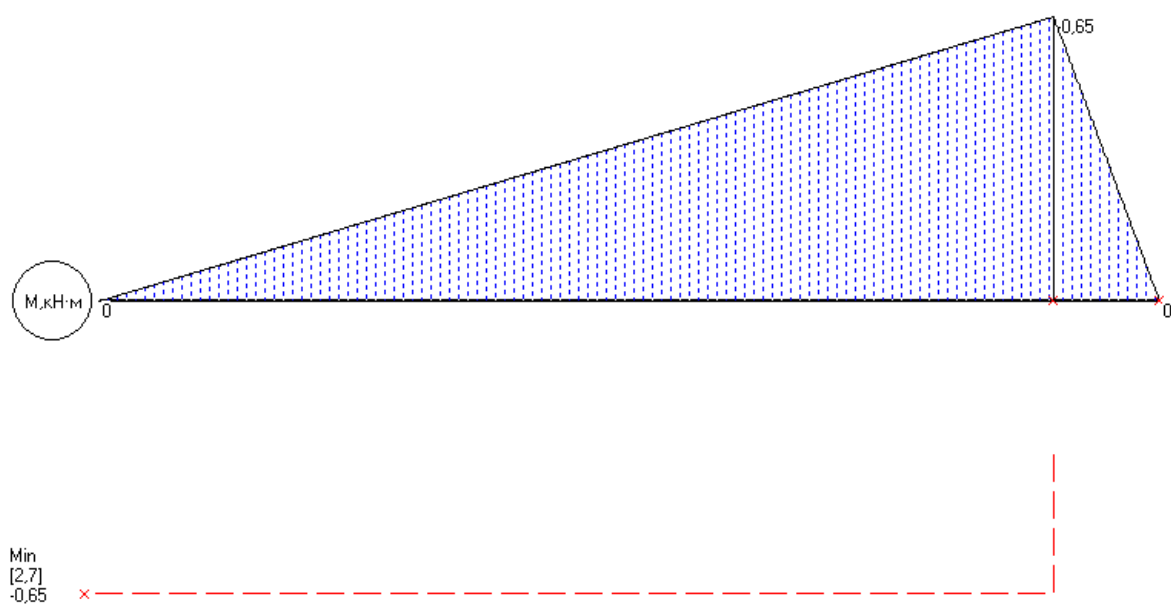


Рис. 4.18. Епюра згинаючих моментів [кН·м]

Результати розрахунку

Момент інерції,  $J_x = 8.781 \cdot 10^{-7} \text{ м}^4$

Момент інерції,  $J_y = 8.781 \cdot 10^{-7} \text{ м}^4$

Момент опору,  $W_x = 2.195 \cdot 10^{-5} \text{ м}^3$

Момент опору,  $W_y = 2.195 \cdot 10^{-5} \text{ м}^3$

Матеріал – алюміній д16

Розрахунковий опір алюмінія,  $R_y = 175 \text{ МПа}$

Відносний прогин - 1/250 прольоту

Модуль пружності,  $E = 70000 \text{ МПа}$

Напруження в балці, без урахування власної ваги:

- нормальне (від  $M_{\max}$ ): 22,63 МПа

- дотичне (від  $Q_{\max}$ ): 12,5 МПа

Максимальний прогин (з к-том надійності) дорівнює  $3,02 \cdot 10^{-3} \text{ м}$ ,

що становить 1/893 від максимального прольоту 2,7 м.

Перетин елемента проходить за умовами міцності і жорсткості.

#### 4.6 Проектний розрахунок для направляючої з вуглепластику

4) Каретка на початку руху

Схему навантаження направляючої зображено (рис. 4.1).

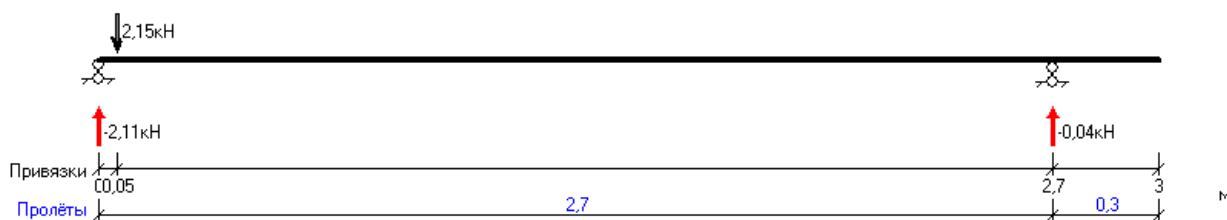


Рис. 4.19. Розрахункова схема направляючої

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.

4.20. Епюра поперечних сил [кН]

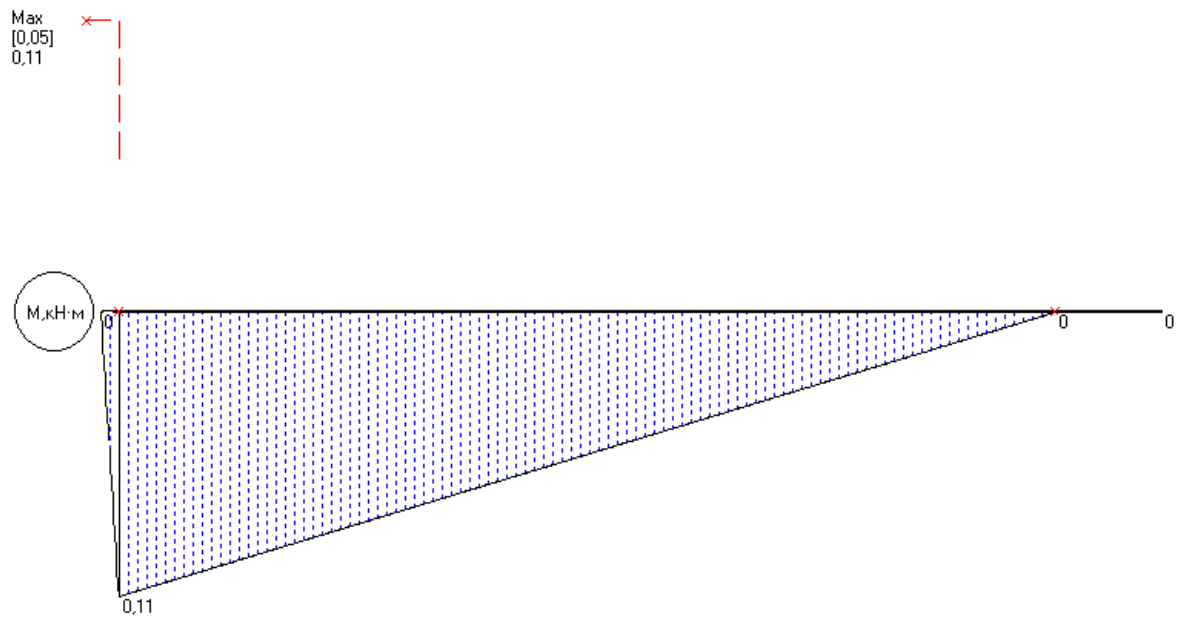


Рис. 4.21. Епюра згинаючих моментів [кН·м]

Результати розрахунку

Момент інерції,  $J_x = 8.781e-7 \text{ м}^4$

Момент інерції,  $J_y = 8.781e-7 \text{ м}^4$

Момент опору,  $W_x = 2.195e-5 \text{ м}^3$

Момент опору,  $W_y = 2.195e-5 \text{ м}^3$

Матеріал – вуглепластик

Розрахунковий опір вуглепластика,  $R_y = 486 \text{ МПа}$

Відносний прогин -  $1/250$  прольоту

Модуль пружності,  $E = 70000 \text{ МПа}$

Напруження в балці, без урахування власної ваги:

- нормальне (від  $M_{\max}$ ):  $3,70 \text{ МПа}$
- дотичне: (від  $Q_{\max}$ )  $12,27 \text{ МПа}$

Максимальний прогин (з к-том надійності) дорівнює  $0,50 \text{ м}^3$ ,

що становить  $1/5360$  від максимального прольоту  $2,7 \text{ м}$ .

Перетин елемента проходить за умовами міцності і жорсткості.

5) Каретка в середині руху

Схему навантаження направляючої зображено (рис. 4.4).

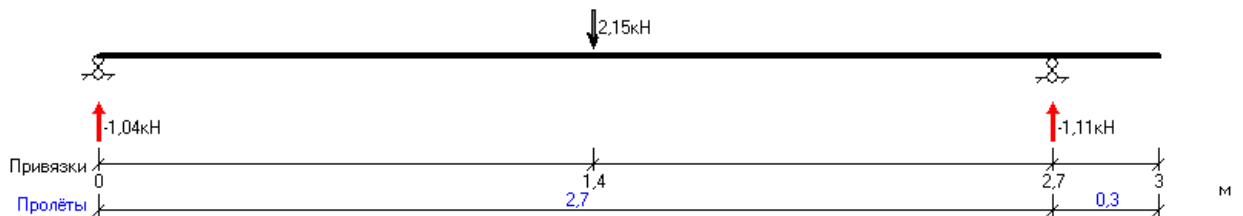


Рис. 4.22. Розрахункова схема направляючої

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).

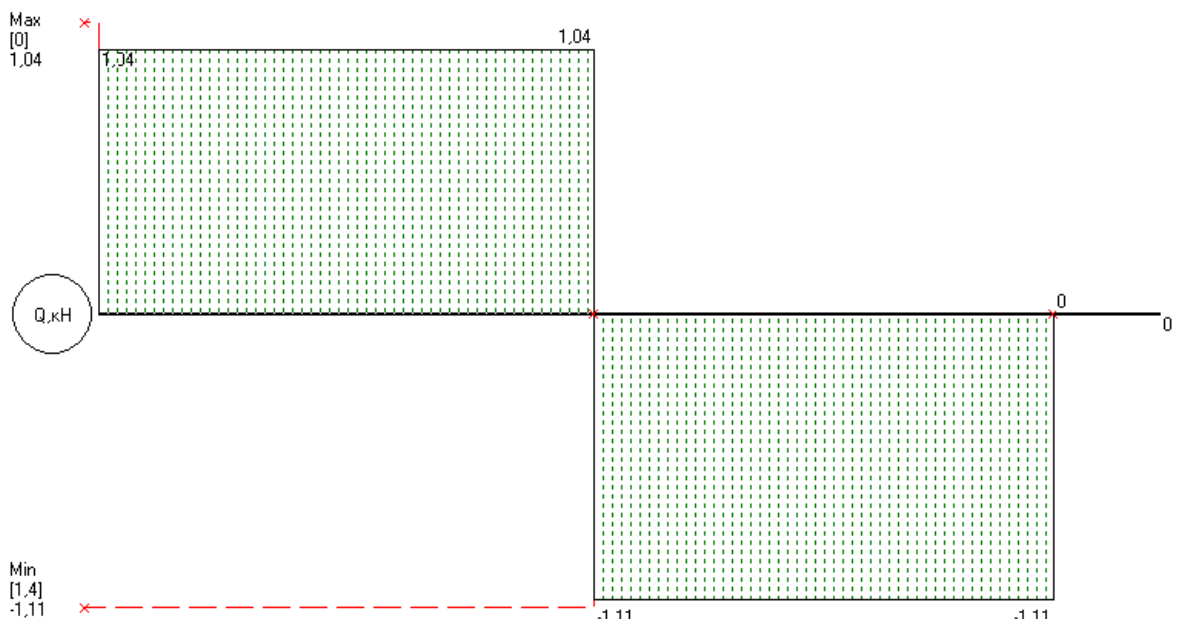


Рис. 4.23. Епюра поперечних сил [кН]

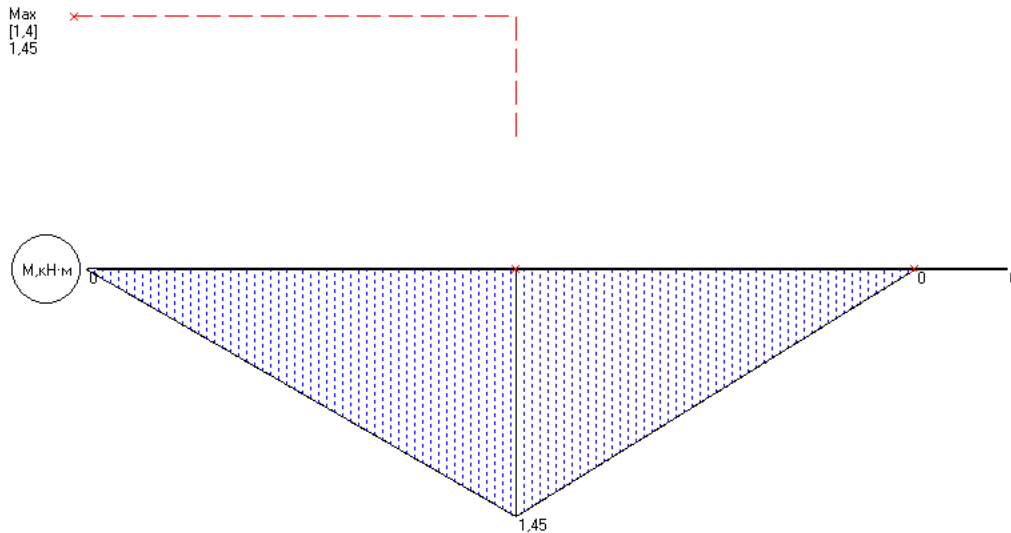


Рис. 4.24. Епюра згинаючих моментів [кН·м]

Результати розрахунку

Момент інерції,  $J_x = 8.781e-7 \text{ м}^4$

Момент інерції,  $J_y = 8.781e-7 \text{ м}^4$

Момент опору,  $W_x = 2.195e-5 \text{ м}^3$

Момент опору,  $W_y = 2.195e-5 \text{ м}^3$

Матеріал – вуглепластик

Розрахунковий опір вуглепластика,  $R_y = 486 \text{ МПа}$

Відносний прогин - 1/250 прольоту

Модуль пружності,  $E = 70000 \text{ МПа}$

Напруження в балці, без урахування власної ваги:

- нормальне (від  $M_{\max}$ ): 50,85 МПа

- дотичне: (від  $Q_{\max}$ ) 6,48 МПа

Максимальний прогин (з к-том надійності) дорівнює  $8,82 \text{ м}^3$ ,

що становить 1/306 від максимального прольоту 2,7 м.

Перетин елемента проходить за умовами міцності і жорсткості.

б) Каретка в кінці руху

Схему навантаження направляючої зображено (рис. 4.7).

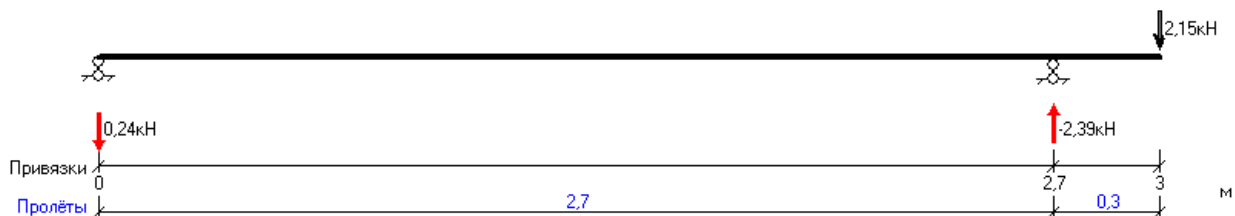


Рис. 4.25. Розрахункова схема направляючої

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).

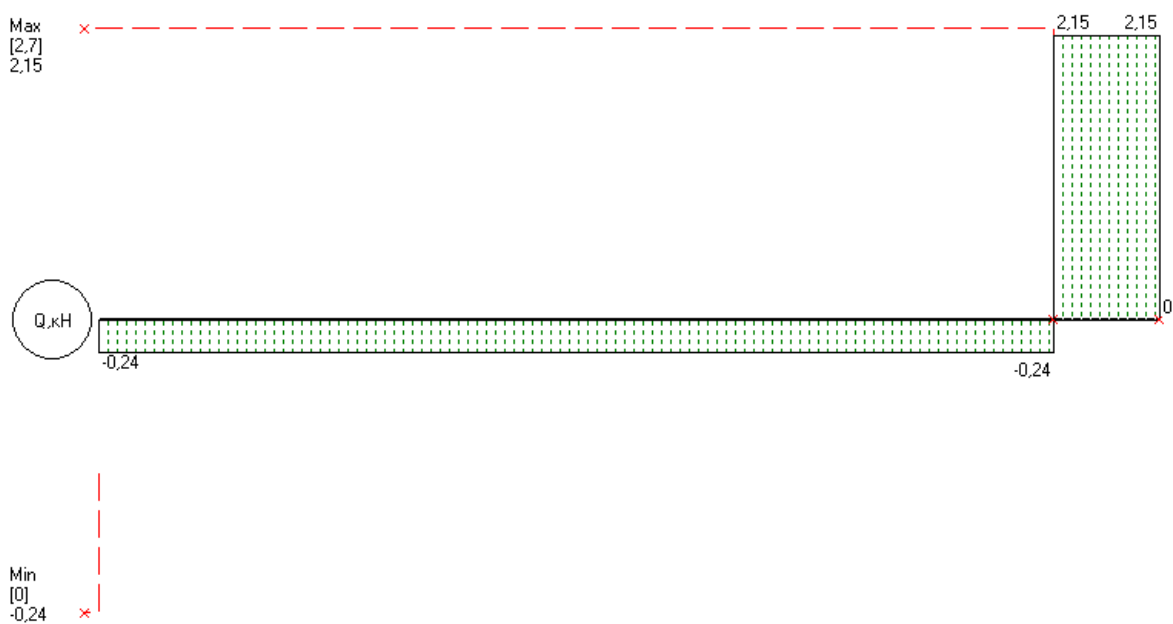


Рис. 4.26. Епюра поперечних сил [кН]

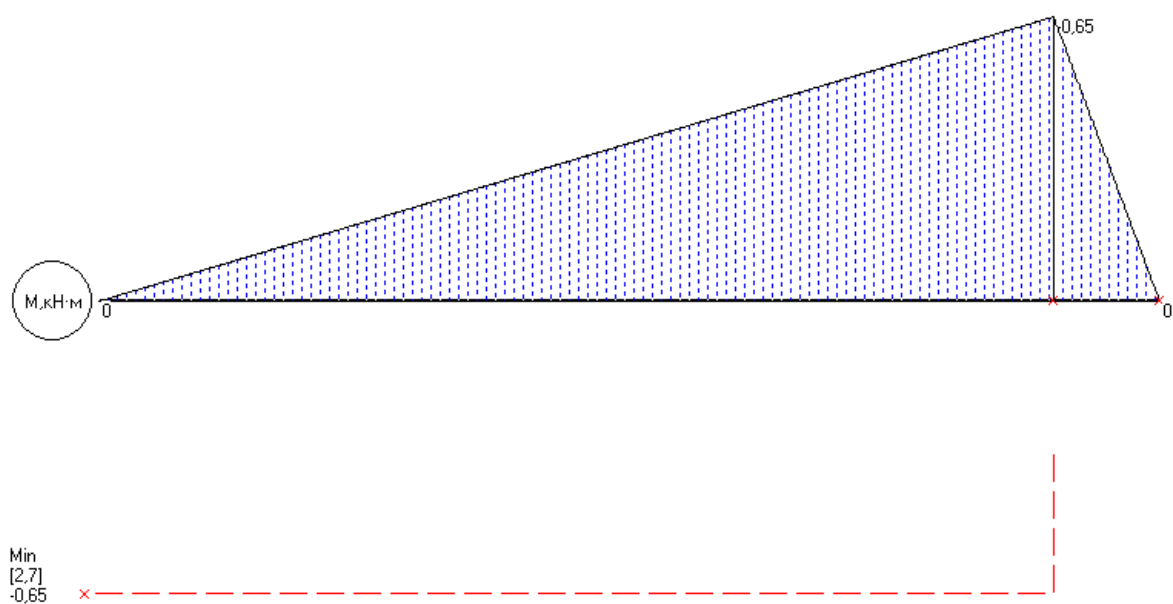


Рис. 4.27. Епюра згинаючих моментів [кН·м]

Результати розрахунку

Момент інерції,  $J_x = 8.781e-7 \text{ м}^4$

Момент інерції,  $J_y = 8.781e-7 \text{ м}^4$

Момент опору,  $W_x = 2.195e-5 \text{ м}^3$

Момент опору,  $W_y = 2.195e-5 \text{ м}^3$

Матеріал – вуглепластик

Розрахунковий опір вуглепластика,  $R_y = 486 \text{ МПа}$

Відносний прогин - 1/250 прольоту

Модуль пружності,  $E = 70000 \text{ МПа}$

Напруження в балці, без урахування власної ваги:

- нормальне (від  $M_{\max}$ ): 22,63 МПа

- дотичне (від  $Q_{\max}$ ) : 12,5 МПа

Максимальний прогин (з к-том надійності) дорівнює 3,02 м<sup>3</sup>,

що становить 1/893 від максимального прольоту 2,7 м.

Перетин елемента проходить за умовами міцності і жорсткості.

#### 4.7 Розрахунок сторони квадратного профілю

Знаючи момент інерції,  $J_x = 8.781e-7 \text{ м}^4$  і момент опору,  $W_x = 2.195e-5 \text{ м}^3$ ,  
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 а:

$$a = \sqrt[4]{J_x \cdot 12} = \sqrt[4]{8.781e-7 \cdot 12} = 0,057 \text{ м} = 57 \text{ мм}$$

$$a = \sqrt[3]{W_x \cdot 6} = \sqrt[3]{2.195e-5 \cdot 6} = 0,051 \text{ м} = 51 \text{ мм}$$

Отже можна зробити висновок, що мінімальна довжина сторони є 57 мм. Але щоб забезпечити більш надійну конструкцію та ресурс я збільшу довжину сторони до 80 мм.

#### **4.5 Висновок до 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

Для побудови просторової моделі було використано дані розрахунків попередніх розділів. Для побудови просторової моделі було використано програмне забезпечення Autodesk Inventor.

### 5.1 Розробка просторової моделі направляючої катапульти

Для виготовлення направляючої катапульти (рис 5.1) було вибрано квадратну трубу 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 [1] (рис 5.2).

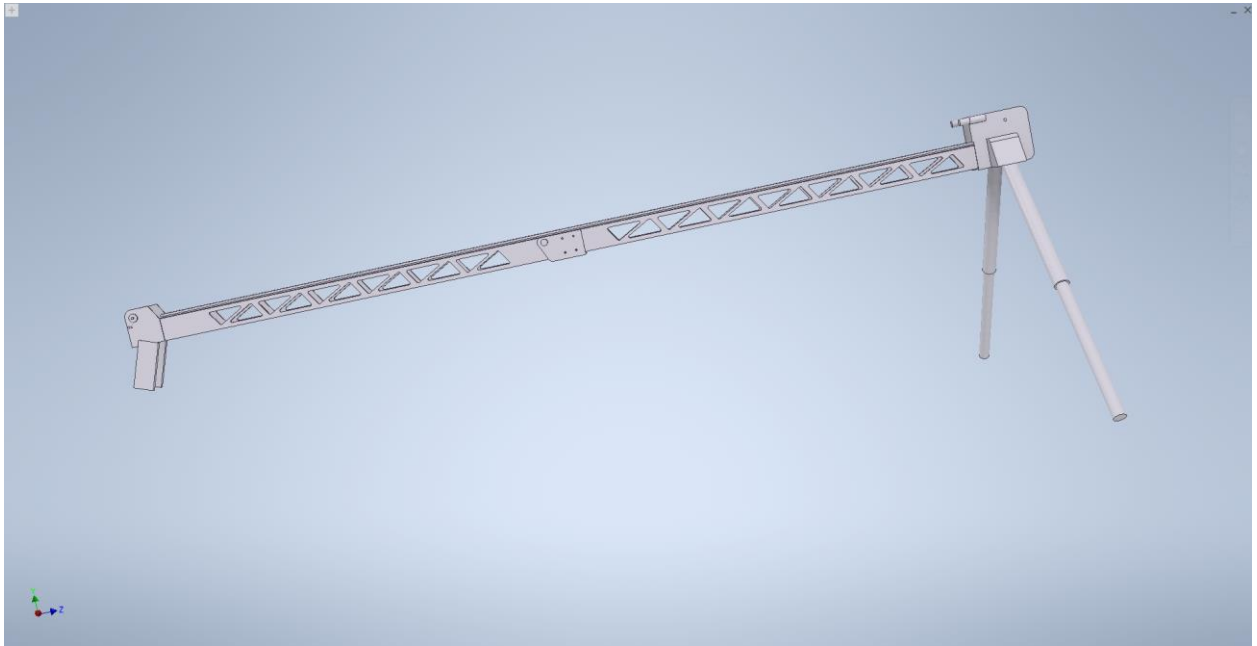


Рис 5.2. Просторова модель направляючої з опорами та кареткою

## 5.2 Розробка просторової моделі лебідки та амортизатора

Далі проектуємо лебідку для натягування банджі шнура і амортизатору для гасіння удару під час запуску 5.3 та 5.4.

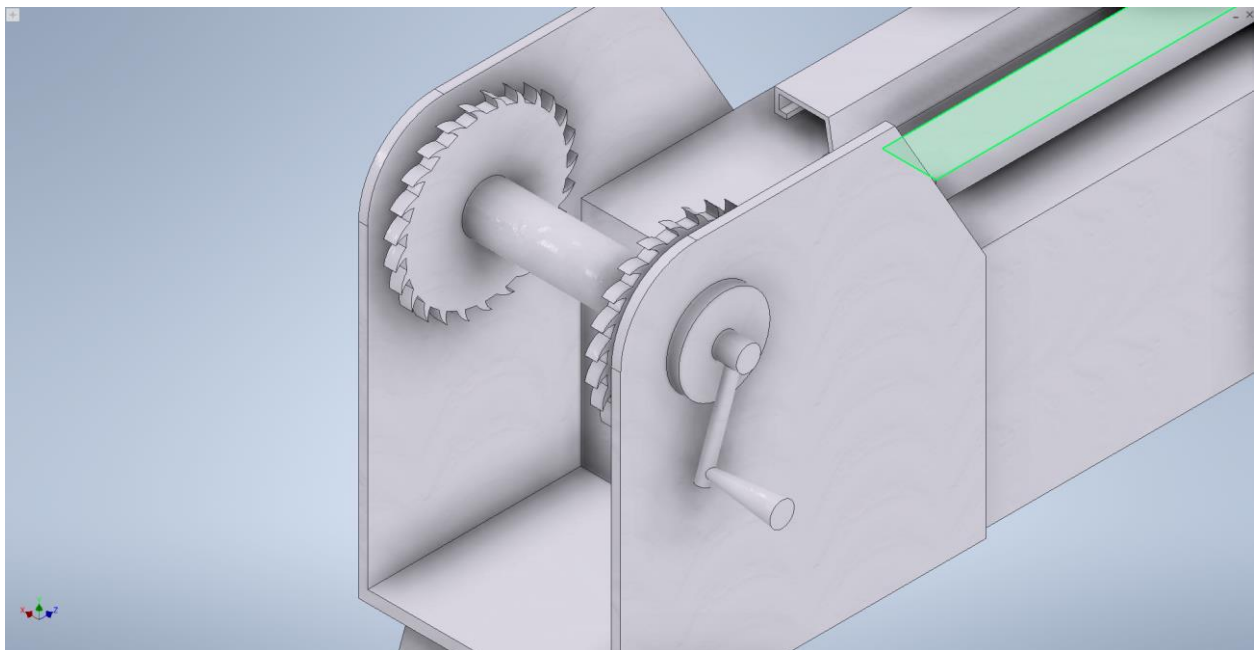


Рис 5.3. Просторова модель лебідки

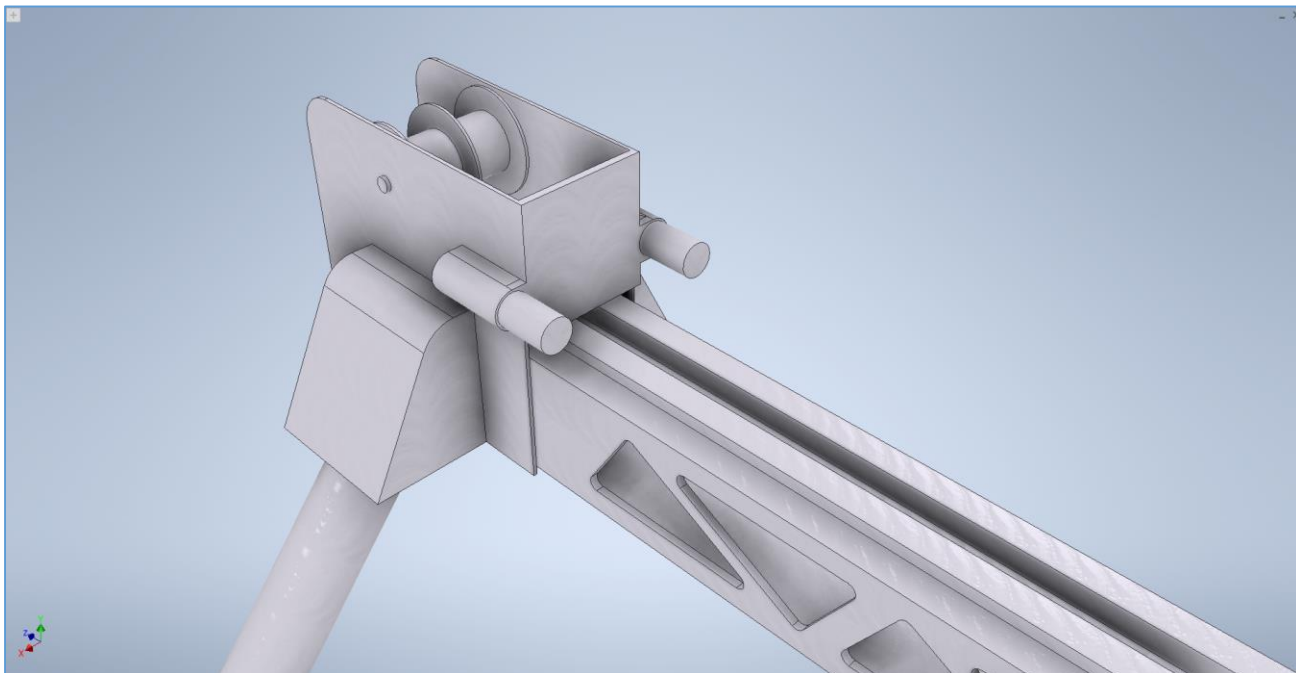


Рис 5.4. Просторова модель амортизатору та ролику

### 5.3 Просторова модель катапульти

З'єднуємо все комплектуючі і отримуємо просторову модель катапульти, яку зображено на рисунку 5.5



Рис 5.5. Просторова модель катапульти

#### **5.4 Висновок до розділу**

В даному розділі була побудована просторова модель катапульти, на основі розрахунків які були отримані в попередніх розділах.

## 6. РОЗРАХУНОК ЕЛЕМЕНТІВ КОНСТРУКЦІЇ КАТАПУЛЬТИ НА МІЦНІСТЬ

Розрахунок моделі на міцність проводиться в програмному забезпеченні Autodesk Inventor. Результати розрахунку представлені у вигляді епюр розподілу нормальних напружень в елементах конструкції, переміщень та коефіцієнту запасу міцності. Для дослідження було вибрано декілька видів матеріалу, таких як сталь, алюміній та вуглепластик.

### 6.1 Аналіз на міцність конструкції зі сталі

Перший аналіз виконується для направляючої виконаної зі сталі, сила прикладається на найбільш вразливу ділянку, а саме місце складання катапульти  $F=2,15$  кН.

Після моделювання було отримані результати зображені на рисунках 6.1., 6.2 і 6.3:



Рис 6.1. Розрахункова епюра нормальних напружень

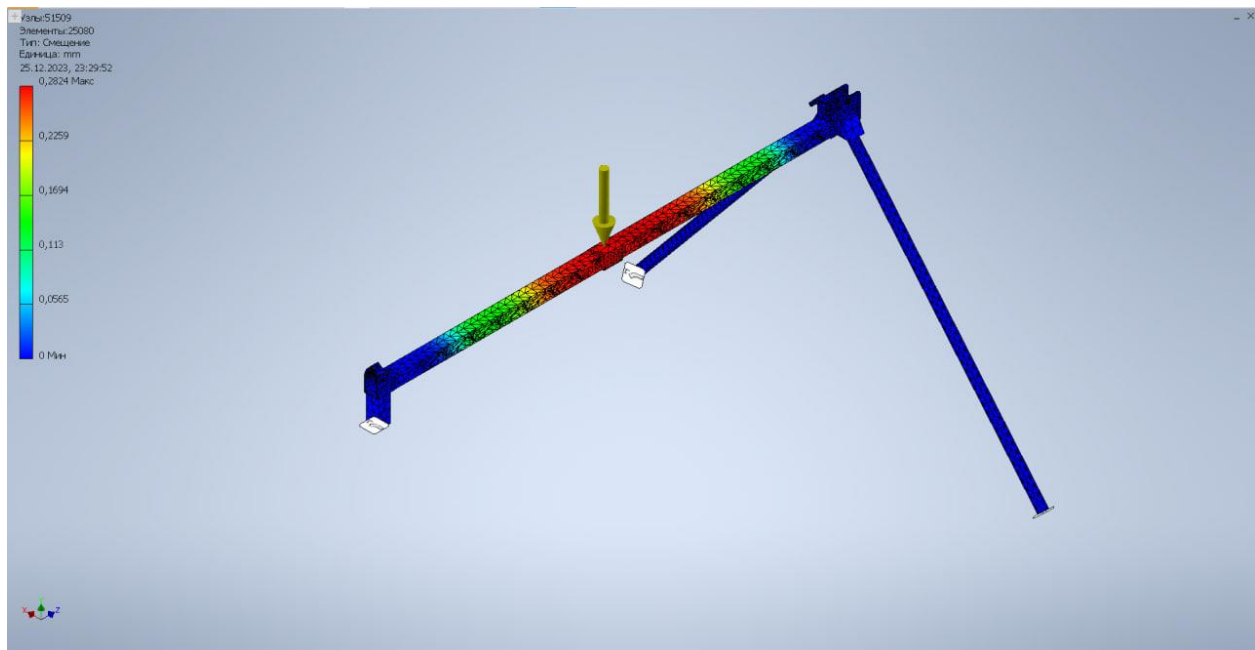


Рис 6.2. Розрахункова епюра переміщень



Рис 6.3. Розрахункова епюра коефіцієнту запасу міцності

## 6.2 Аналіз на міцність конструкції з алюмінія

Другий аналіз виконується для направляючої виконаної зі алюмінія, сила прикладається на найбільш вразливу ділянку, а саме місце складання катапульти  $F=2,15$  кН.

Після моделювання було отримані результати зображені на рисунках 6.4., 6.5 і 6.6:



Рис 6.4. Розрахункова епюра нормальних напружень



Рис 6.5. Розрахункова епюра переміщень



Рис 6.6. Розрахункова епюра коефіцієнту запасу міцності

### 6.3 Аналіз на міцність конструкції з вуглепластику

Третій аналіз виконується для направляючої виконаної зі вуглепластику, сила прикладається на найбільш вразливу ділянку, а саме місце складання катапульти  $F=2,15$  кН.

Після моделювання було отримані результати зображені на рисунках 6.7., 6.8 і 6.9:



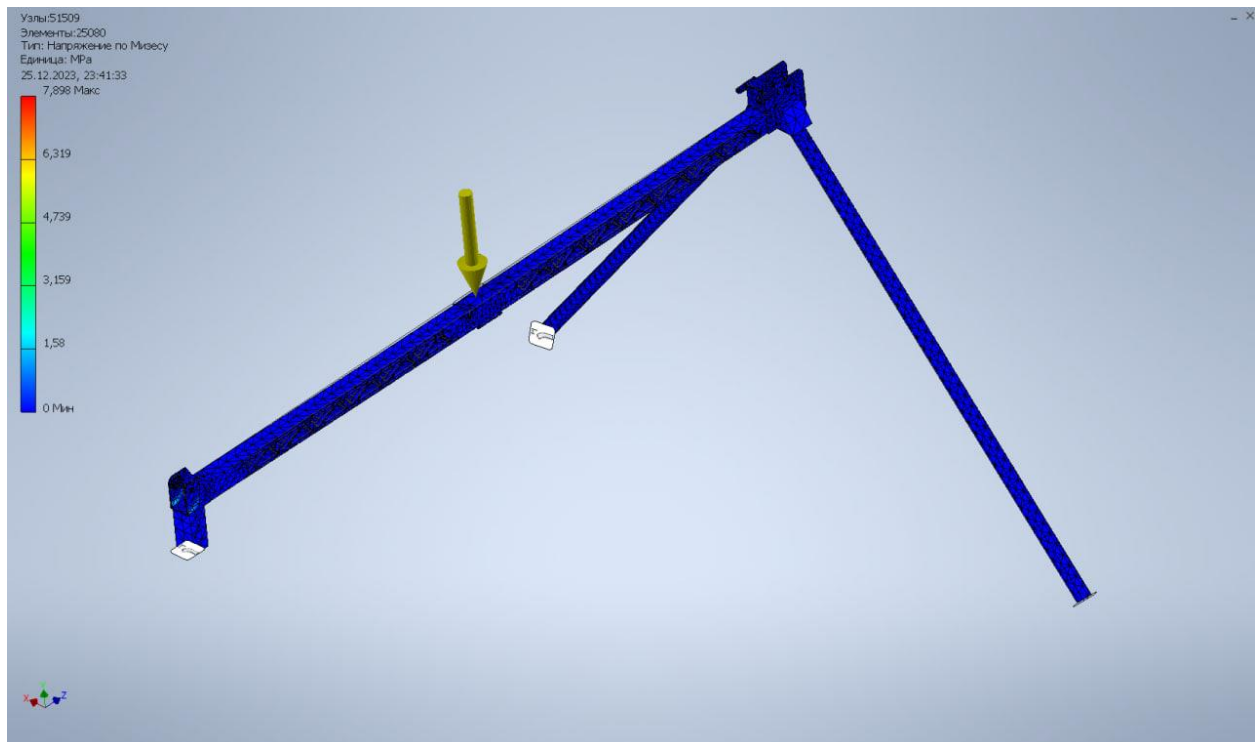


Рис 6.7. Розрахункова епюра нормальних напружень

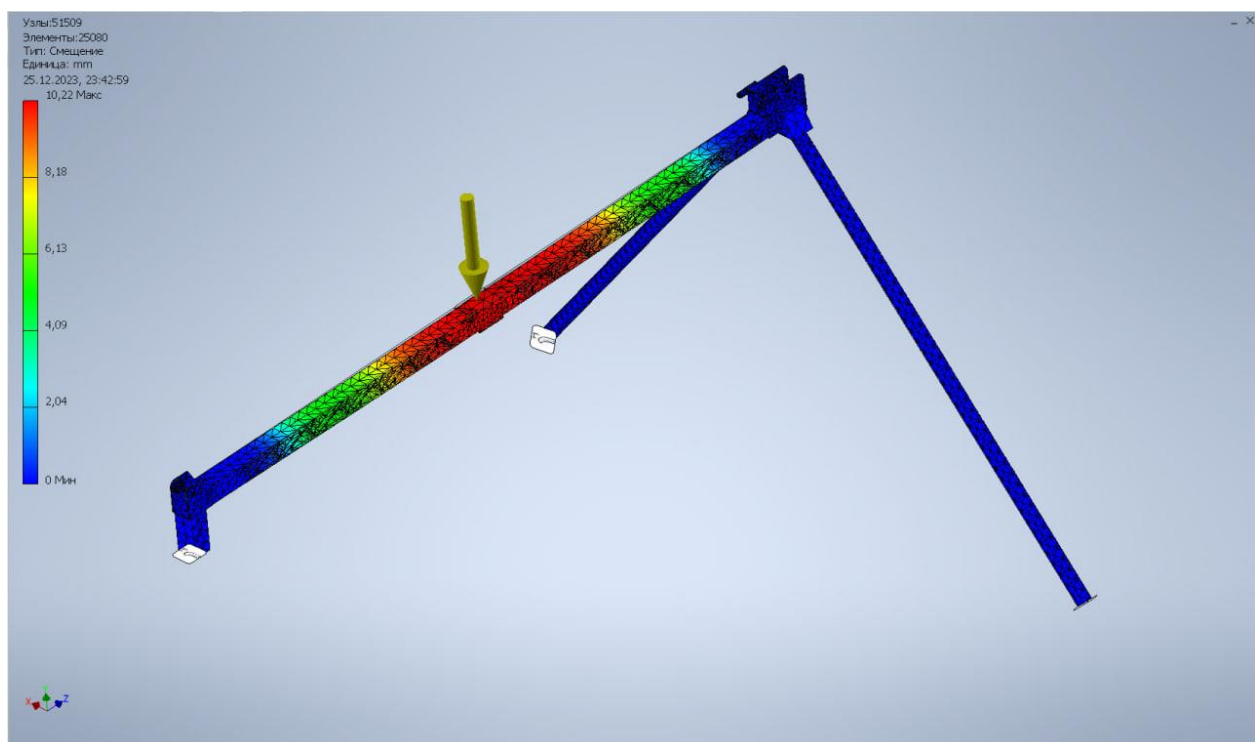


Рис 6.8. Розрахункова епюра переміщень

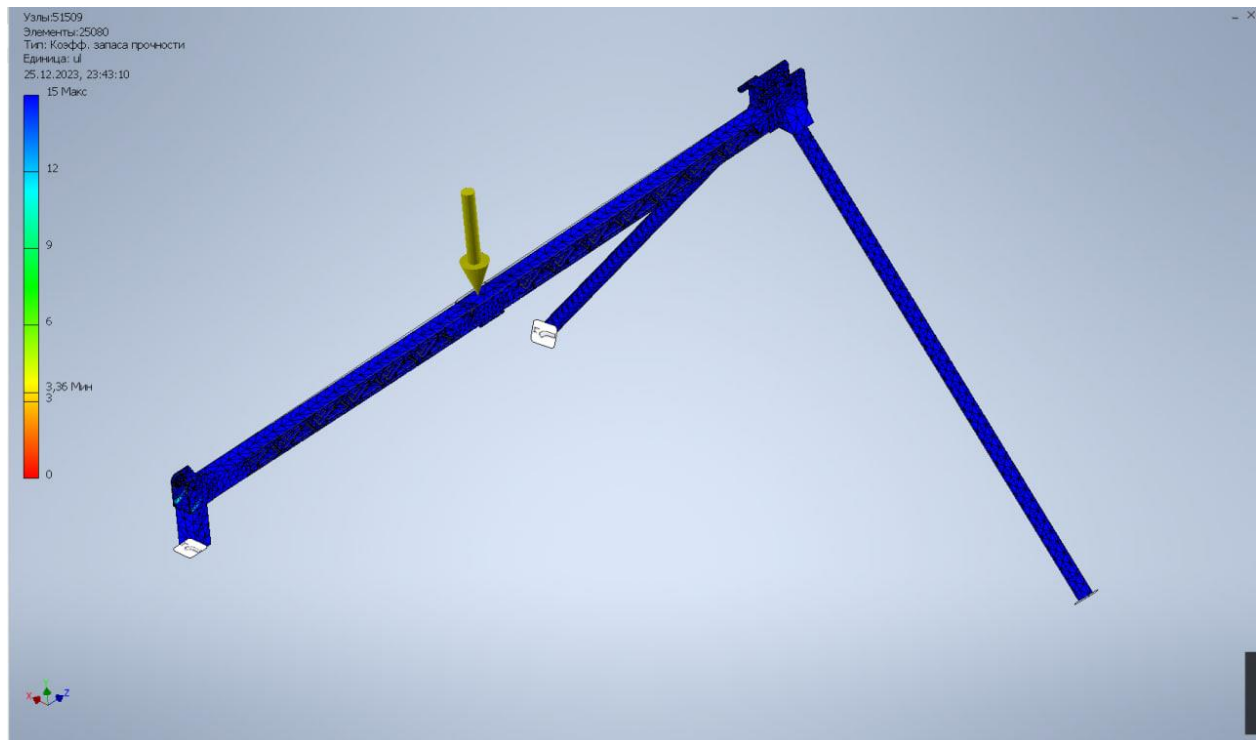


Рис 6.9. Розрахункова епюра коефіцієнту запасу міцності

#### 6.4 Висновки до розділу

В даному розділі були розрахована конструкція катапульти на міцність. Під час перевірки були використані такі матеріали: сталь 3сп, алюміній Д16 і вуглепластик. Виконавши перевірку трьох моделей на міцність можна зробити висновок, що всі моделі витримали задані навантаження. З епюр переміщення можна побачити, що конструкція зі сталі має найменше переміщення в порівнянні з алюмінієвою та вугле-пластиковою конструкцією. Але так як переміщення алюмінієвої та вугле-пластикової конструкції не критичні і є допустимими, то найкраще використовувати під час створення виробу використовувати саме вуглепластик, адже маса такої конструкції буде в рази легшою за аналоги і дорівнюватиме приблизно 14-16 кг.

## 7. РОЗРОБКА ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЇ МОДЕЛІ КАТАПУЛЬТИ

### 7.1 Вибір та комплектація елементів банджі катапульти

Для створення моделі були підібрані такі комплектуючі, як лебідка, банджі шнур, ролик, монорейка, комплект роликів для каретки.

1. Лебідка барабанна важільна INTERTOOL GT1455 (Рис. 7.1)



Рис 7.1. Лебідка барабанна важільна INTERTOOL GT1455

Барабанна лебідка із тросом застосовується для виконання важкої роботи без зусиль з боку оператора. З її допомогою переміщують вантажі у горизонтальній та похилій площині до 900 кг.

Пристрій має компактну, мобільну конструкцію, при цьому досить міцну та потужну для виконання свого завдання. Складається з металевого корпусу із

встановленим загартованим механізмом та важелем. Робочий вал із вуглецевої сталі з оцинкованим покриттям для максимальної міцності та тривалого терміну служби.

Як тяговий орган у барабанній лебідці використовується сталевий міцний трос, діаметром 4.5 мм, довжиною 10 м, він кріпиться до барабана. Для підняття вантажу передбачено гак із запобіжним захопленням. Важіль з ручкою для простої та зручної роботи. Перед використанням лебідку необхідно закріпити на балці або рейці, яка зможе витримати не тільки вагу самого пристрою, але і вантажу, що переміщується.

Встановлено також храповий механізм, який запобігає довільному розмотуванню тросу та падінню вантажу, таким чином служить простою гальмівною системою для безпечного використання інструменту.

## 2. Банджі шнур



Рис 7.2. Банджі шнур

Банджі шнур виготовлена з гумового сердечника, двошарової поліпропіленової нитки, зносостійкої та стійкої до розриву.

- Банджі шнур поглинає удари, допомагає транспортувати та закріплювати предмети, він міцний і легко ріжеться.

- Ви можете своїми руками виготовляти шнури для банджі, тримачі для весл для каяків, комплекти для палуб для каяків, візки для байдарок, шнурки, тримачі для вудок, сітки, ремені для гамака, запчастини для ремонту та заміни тощо.

- Еластичні шнури підходять для полювання, каякінгу, банджі-джампінгу, подорожей, катання на човні, кемпінгу, багажників на даху та багатьох інших повсякденних цілей.

### 3. Ролик двопазовий ПМд8 (Рис. 7.3)



Рис 7.3. Ролик двопазовий ПМд8

Вантажопідйомний ролик двопазовий з підшипником використовується у випадках, коли вам за допомогою мотузки або троса потрібно підняти або надати рух нерухомого вантажу.

Ролик сталевий, встановлено два 203-х підшипника, запресовані якісно.

Шків вміщує трос до 15мм. Канавка глибока, трос топиться повністю і не виглядає за межі канавки.

Діаметр ролика: 92 мм зовнішній, 17 мм внутрішній.

Вага ролика: 0,8 кг.

Вантажопідйомність: 350кг.

4. Монорейка (Рис. 7.4)

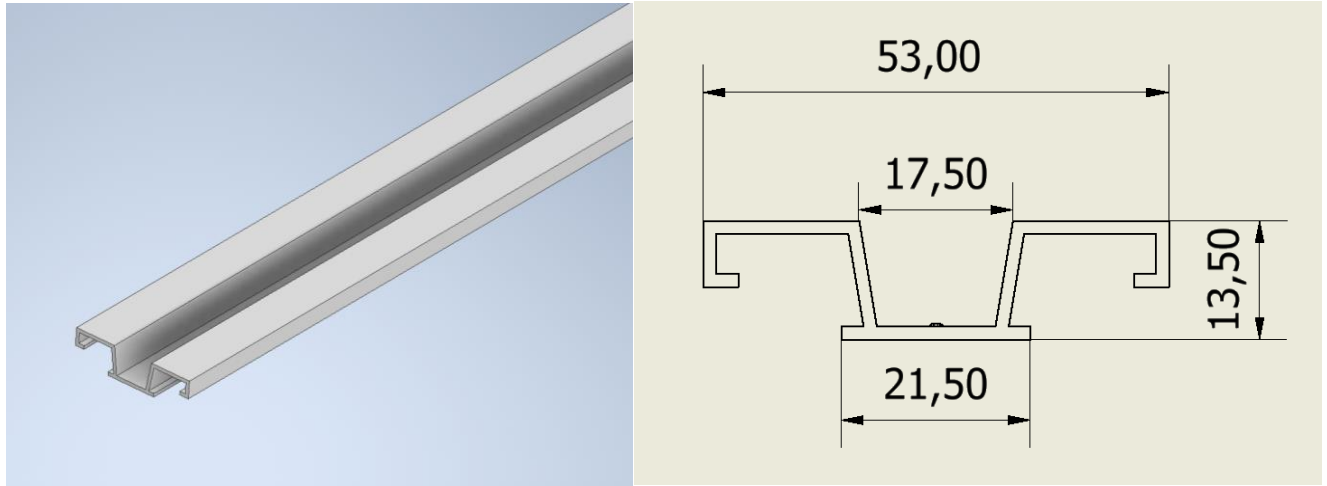


Рис 7.4. Монорейка

Монорейка призначена для запобігання розхитування роликів і направляє їх до нижнього обмежувача. Виготовлена із вуглепластику.

5. Напрямний ролик TORWEGGE T-30x11x9-UR (b) (Рис. 7.5)



Рис 7.5. Напрямний ролик TORWEGGE T-30x11x9-UR (b)

Колесо серії T-UR (brown) з високоякісного поліуретанового еластомеру світло-коричневого кольору, твердістю 95 Shore A.

Основні характеристики:

діаметр ролика – 30 мм,

ширина ролика – 11 мм

осьовий отвір – 9мм

допустиме навантаження – 22кг

Контактний шар відливається безпосередньо на шарикопідшипник, за рахунок чого виходить дуже міцна сполука, заснована на хімічному зв'язку. Ролики відрізняються низьким рівнем шумів, що видаються при русі, низьким опором коченню. Вони дуже стійкі до абразивного зносу, мають високу стійкість до порізів.

Робоча температура від -30 до +70°C.

6. Каретка для БПС (рис. 7.6.).

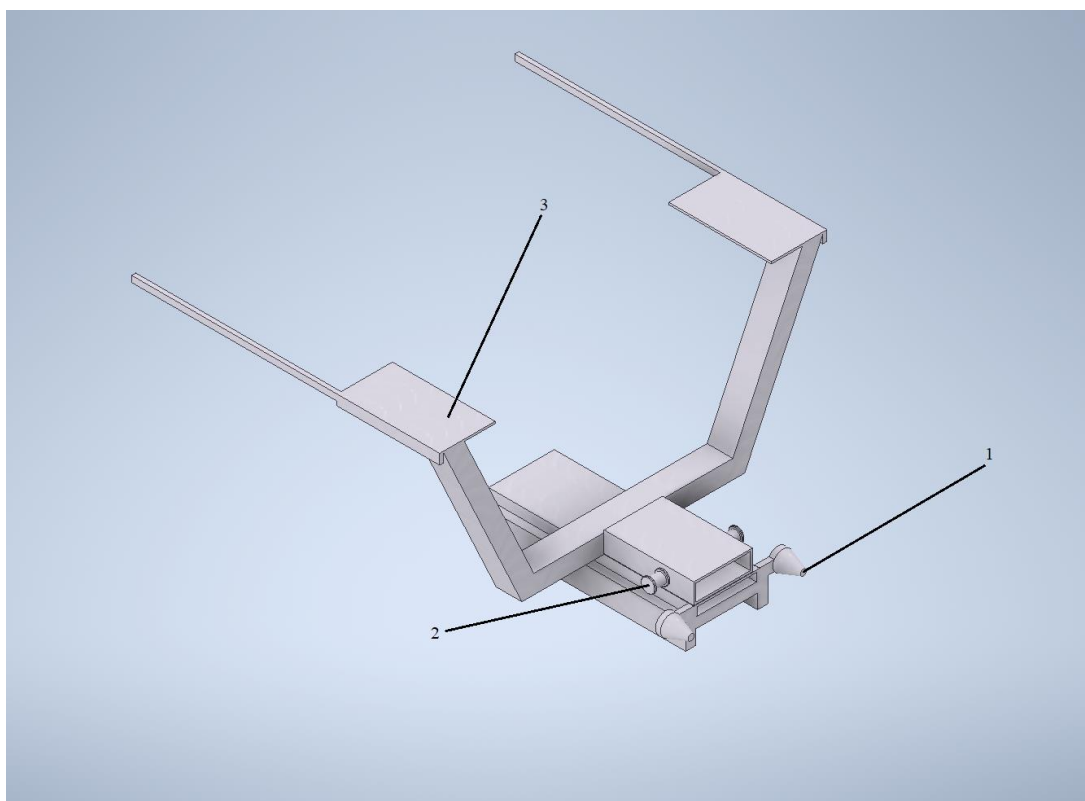


Рис 7.6. Просторова модель каретки (1 – амортизатор для гасіння удару 2 – місце зацепу банджі шнура 3 – кріплення для БПС)

Каретка виготовлена з композитного матеріалу, під час запуску БПС кріпиться до каретки і до каретки приєднуються банджі шнури. Під час запуску коли каретка вдаряється в стопор БПС відривається від каретки та виконує політ.

## 7.2 Загальний вид та 3D-модель банджі катапульти

На основі проведених розрахунків можна розробити експериментальну модель катапульти.

Особливості цієї моделі є те, що основні складові моделі, такі як направляюча, сошки та каретка зроблені з композитного матеріалу, що значно зменшує вагу катапульти.

На рис. 7.7, 7.8, 7.9, 7.10 представлено результати виконаної роботи

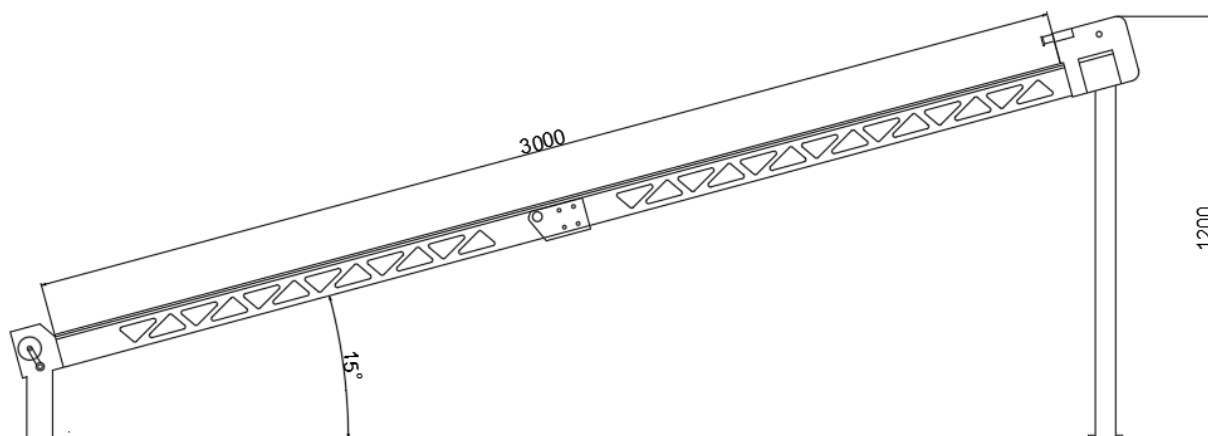


Рис 7.7. Загальний вигляд транспортного мультикоптеру



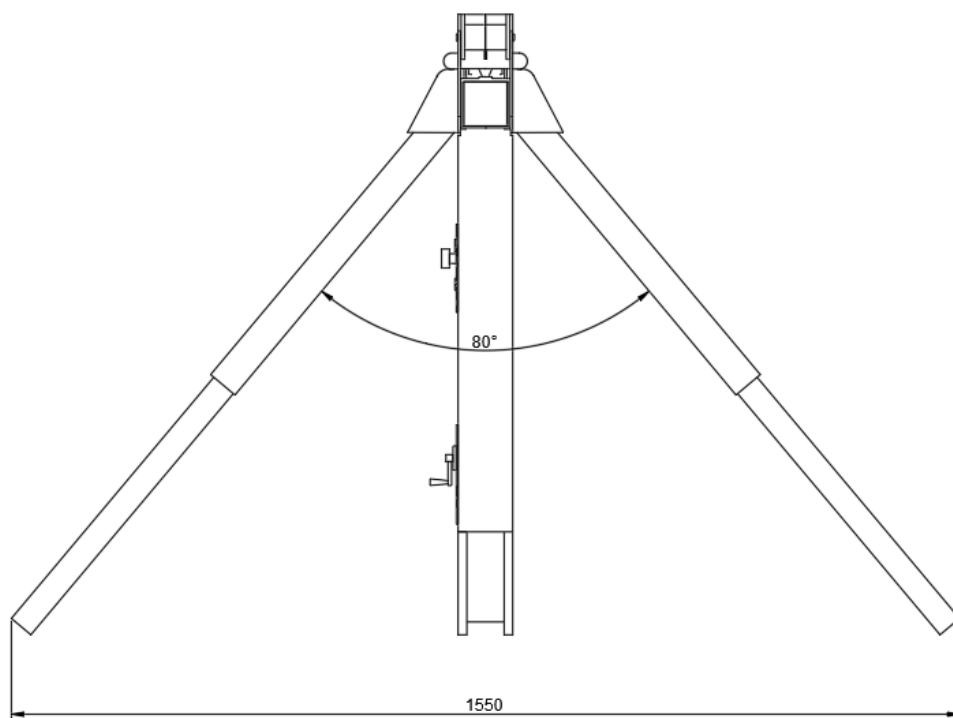


Рис 7.8. Загальний вигляд транспортного мультикоптеру

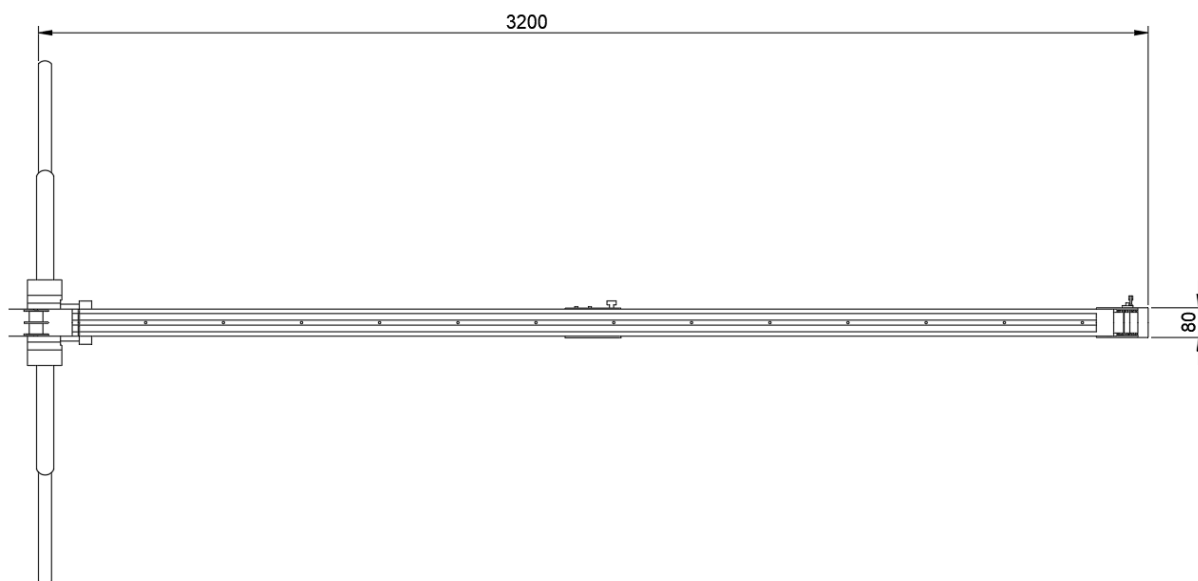


Рис 7.9. Загальний вигляд транспортного мультикоптеру

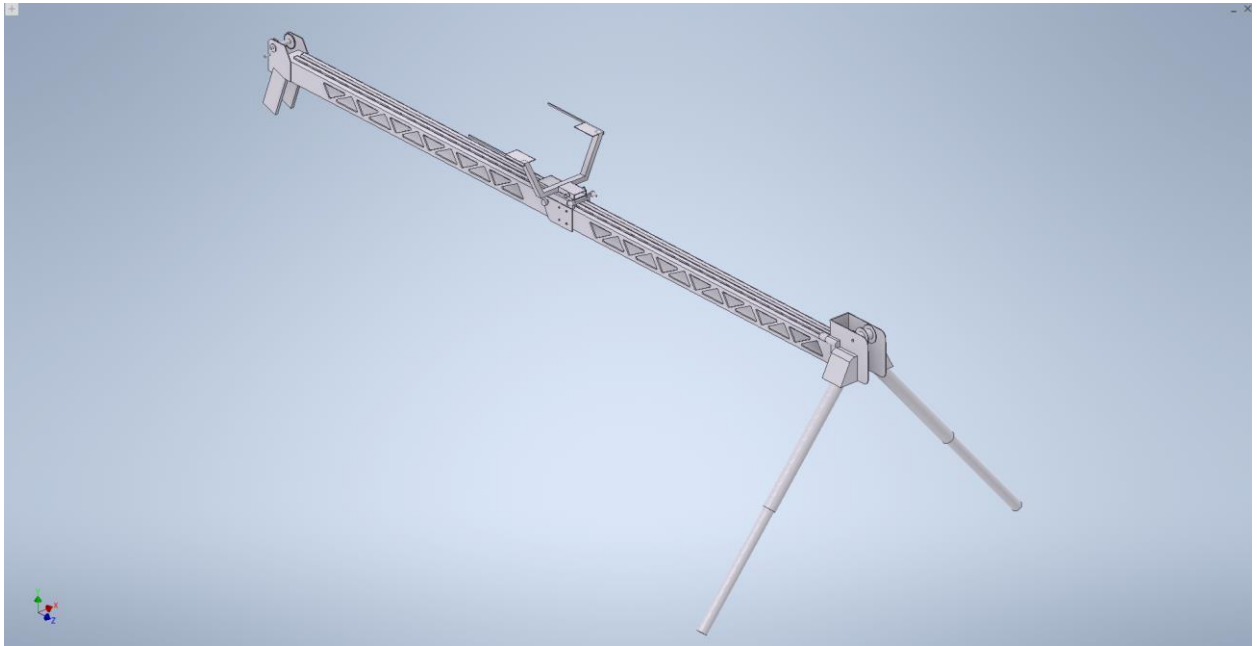


Рис 7.10. 3D – модель банджі катапульти з кареткою виконана за допомогою Autodesk Inventor

### **7.3 Висновки по розділу**

В цьому розділі представлено компоненти які були підібрані для експериментальної моделі катапульти, виконану 3D-модель банджі катапульти та його основні види з габаритними розмірами, описано особливості конструкції.

## 8. РОЗРОБКА СТАРТАП – ПРОЄКТУ

### 8.1 Опис ідеї проєкту

Опираючись на потребах сучасного ринку технологій, в якому прогресивно набирають інтереси БПС, була вибрана тема стартап проєкту, яка стосується проєктування та виробництво пускового пристрою «катапульта типу «банджі» для БПС». Опис цієї ідеї представлено в таблиці 8.1

Таблиця 8.1

Опис ідеї стартап-проєкту

| Зміст ідеї   | Напрямки застосування   | Вигоди для замовника  |
|--|---|---|
| Серійне виробництво нової катапульти та розвиток системи запуску БПС | Запуск БПС у місцях де не можливо запустити з поломи, швидкі та багаторазові запуски у невеликий період, можливе використання військовими та ДСНС, використання на змаганнях. | Проста у використанні, має малу вагу порівняно з аналогами, можливість використання з різними БПС за рахунок підбору каретки для кожного БПС. |

На 2023 рік в Україні на даний момент дуже мало фірм які розробляють подібні пристрої. Але є велика кількість приватних фірм, що можуть використати даний проєкт для виробництва. Ї визначення сильних, слабких та нейтральних характеристик проєкту представлено у таблиці 8.2 та таблиці 8.3.

Таблиця 8.2

SWOT-аналіз проєкту з проєктування транспортного мультикоптеру

| Мета проєкту |   |  |
|--------------|---|--|
| +            | <b>S</b><br>Точність, мобільність, економічна ефективність, екологічність, оперативність, простота управління, продуктивність, працездатність. Досвідчена проєктна команда. Хороша якість матеріалів. | <b>O</b><br>Вихід на міжнародний ринок. Забезпечення замовленнями підприємства. Високий попит на БПЛА для використання у військових цілях. |
|              | <b>W</b><br>Залежність від погодних умов.   | <b>T</b><br>Нестабільна економічна ситуація.   |

|  |  |  |
|--|--|--|
|  | Необхідність постійного спостереження. | Складність контролю в окремих ситуаціях. |
|--|--|--|

Таблиця 8.3

### Пошук конструктивного рішення

| Мета проекту |   |   |
|--------------|---|---|
|              | О   | Т   |
| S            | Максимальне використання потенціалу команди, проведення колективних нарад, нарад експертних груп, періодичні консультації з іноземними фахівцями. Розвиток довгострокових партнерських відносин | Постійний моніторинг новітніх технологій в сфері БПС. Гнучкість та швидка адаптація до змін на ринку та у законодавстві. Скорочення тривалості проекту за рахунок оптимізації процесів. |
| W            | Декомпозиція виробу на складові функціональні модулі. Підбір надійних постачальників матеріалів та компонентів для виробу. Підвищення якості продукції задля отримання брендовості своєї марки. |   |

## 8.2 Технологічний аудит проекту

Для визначення базових потреб перед запуском проектування та виробництва катапульти необхідно провести аналіз технологічного забезпечення, яке може бути наявними на початку існування проекту. Цей аналіз представлено в таблиці 8.4.

Таблиця 8.4

### Технологічний аудит проекту

| Ідея проекту                       | Технології реалізації | Наявність технології | Доступність технології            |
|------------------------------------|-----------------------|----------------------|-----------------------------------|
| Запровадження банджі катапульти як | Спеціальне ПЗ         | Створено             | Наявність на ринку необхідного ПЗ |

|  |  |          |   |
|--|--|----------|---|
| пусковий пристрій для БПС                                    |  |          |   |
| Виготовлення корпусу катапульти, направляючої рейки, каретки | Спеціальні стапелі, готові елементи лебідка, вантажопідйомні ролики, ролики напрямний, банджі шнур | Створено | Необхідно безперебійне постачання комплектуючих та матеріалів, оренда та обслуговування обладнання та приміщень |
| Створення технологічної документації                         | Спеціальне ПЗ та бази даних  | Створено | Наявність на ринку необхідного ПЗ. Розробка альтернативного ПЗ спеціалістами фірми                              |
| Випробування   | Виготовлення тестової моделі для проведення випробувань, використання спеціального ПЗ              | Створено | Обладнання для фіксації результатів випробувань, використання спеціального ПЗ                                   |

Висновок: в результаті аналізу технологічного аудиту, можна стверджувати про необхідність постійного фінансування проекту, та наявність стартового капіталу щоб запустити виробництво. Необхідно проводити постійний поглиблений пошук потенційних замовників та інвесторів задля створення матеріально-технічної бази виробництва. На даний момент в такому проекті можуть бути зацікавлені як приватні так і державні установи.

### **8.3 Аналіз ринкових можливостей запуску стартап-проекту**

Необхідність цього етапу перед реалізацією ідеї обумовлена тим, що вона дає представлення щодо можливості входу на ринок та потенційної можливості для займання певної ніші на ньому[17].

В таблиці 8.5 приведено інформацію щодо аналізу потенційного ринку. Оскільки ринок систем для БПС є дуже перспективним та постійно розширюється, вибір цього ринку є перспективним.

Таблиця 8.5

Попередня характеристика потенційного ринку стартап-проєкту

| № п/п | Показники стану ринку                               | Характеристика         |
|-------|---|------------------------|
| 1     | Кількість головних гравців, од                      | 2                      |
| 2     | Загальний обсяг продаж, ум. од                      | Залежить від замовника |
| 3     | Динаміка ринку                                      | Зростає                |
| 4     | Наявність обмежень для входу                        | Масштабність           |
| 5     | Специфічні вимоги до стандартизації та сертифікації | ДСТУ, ISO              |
| 6     | Середня норма рентабельності в галузі, %            | 65                     |

Результатом аналізу таблиці робиться висновок, що ринок є привабливим для входження.

Визначення цільової аудиторії також сприяє більш точному формуванню клієнтської бази та визначення основних маркетингових стратегій і реалізації діяльності компанії. В таблиці 8.6 визначаються потенційні групи клієнтів, їх характеристики, та формується орієнтовний перелік вимог до товару для кожної групи.

Таблиця 8.6

Характеристика потенційних клієнтів проєкту

| Потреба, що формує ринок  | Цільова аудиторія                            | Вимоги замовника до послуги  |
|---|--|--|
| Необхідність запуску БПС в місцях де немає ЗПС, запуск кількох БПС за короткий проміжок часу. | ДСНС, військові, фірми, які розробляють БПС. | Повне сервісно-гарантійне обслуговування та супроводження виробу впродовж всього |

|  |  |   |
|--|--|---|
|  |  | життєвого циклу,<br>забезпечення<br>технічною<br>експлуатаційною<br>документацією |
|--|--|---|

Далі проводиться поглиблений аналіз факторів загрози та можливі реакції компаній на них, визначаються потенційні загрози та можливості проекту на ринку.

Цей аналіз сформульований у наступних двох таблицях 8.7 та 8.8, у яких перераховано негативні та позитивні фактори впливу відповідно.

Основні загрози включають відсутність надійних постачальників, а також труднощі з налагодженням оптимального робочого процесу на перших етапах впровадження.

*Таблиця 8.7*

#### Фактори загроз

| Фактор  | Зміст загрози  | Можлива реакція компанії  |
|---|--|---|
| Інтелектуальна власність та закони про захист інтелектуальної власності | Не відповідність законодавства. Викрадення та копіювання ідей. | Найм фахівця із захисту інтелектуальної власності патентування, засекречування розробок та ідей. Охорона приміщення та персональних комп'ютерів |
| Перевитрати коштів  | Кількість необхідних ресурсів для роботи вище заплановано      | Оптимізація виробничих та невиробничих процесів. Зміна структури проведення роботи  |
| Закони України про приватну власність                                   | Несправедливе законодавство.                                   | Захист від недобросовісних конкурентів. Боротьба  |

|   |   |  |
|---|---|--|
|   |   | за справедливість правовими методами.    |
| Військові дії та нестабільна політична ситуація в Україні | Небезпека утворення нестабільної ситуації та заворушень | Універсальність запропонованих проєктів. |

Таблиця 8.8

Фактори можливостей

| Фактор   | Зміст можливості                                       | Можлива реакція компанії   |
|--|--|--|
| Страхування  | Захист від стихійних явищ та аварій.                   | Багатоетапна організація та планування праці, для зменшення кількості помилок в роботі.  |
| Закони України про правовий захист підприємства: закони про підприємництво та роботу і організацію підприємства. | Безпека праці, захист майна, інтелектуальної власності | Плата податків. Участь на виборах та активна участь в контролі влади   |
| Міжнародне та Європейське законодавство щодо функціонування підприємств та міждержавні угоди                     | Нові клієнти в Європі та світі.                        | Знання міжнародного та Європейського законодавства та відмова до співпраці в країнах де можуть бути несправедливе правове забезпечення |
| Військові дії та нестабільна політична ситуація в Україні  | Нові замовлення для військового комплексу України      | Універсальність запропонованих проєктів.   |

Далі виконується аналіз конкуренції в галузі за М. Портером (таблиця 10.9) для отримання об'єктивної оцінки потенційних конкурентів.



Таблиця 8.9

## Аналіз конкуренції в галузі за М. Портеро

|               |  |   |  |   |
|---------------|--|---|--|---|
| Склад аналізу | Прямі конкуренти в галузі  | Потенційні конкуренти в галузі  | Поставники                                   | Клієнти   |
|               | Інші відносно невеликі фірми-виробники катапульти                          | Літакобудівні компанії, Світові великі компанії-виробники БПС, які можуть виробляти самостійно ПУ для БПС | Фірми, що постачають матеріали та обладнання | Державні та приватні установи, військові частини        |
| Висновки      | Мала конкуренція через те, що не велика кількість фірм виробляє катапульти | Наявність потенційних конкурентів на даний момент   | Формують Ціни                                | Встановлюють терміни виробництва та кількість замовлень |

## 8.4 Розроблення ринкової стратегії проєкту

Першим кроком в розробленні ринкової стратегії є визначення стратегії охоплення ринку: опис цільових груп потенційних споживачів. В таблиці 8.10 наведено вибір цільових груп потенційних споживачів.

Таблиця 8.10

## Вибір цільових груп потенційних споживачів

| № п/п | Опис профілю цільової групи потенційних клієнтів | Готовність споживачів прийняти продукт | Орієнтовний попит в межах цільової групи | Інтенсивність конкуренції | Простота входу в сегмент |
|-------|--|--|--|---------------------------|--------------------------|
| 1     | Військові  | висока                                 | високий                                  | високий                   | середній                 |
| 2     | ДСНС   | середня                                | середній                                 | низький                   | високий                  |
| 3     | Фірми які виготовляють БПС                       | висока                                 | високий                                  | високий                   | середній                 |

Вибір базової стратегії розвитку підприємства представлено в таблиці 8.11.

Таблиця 8.11

Вибір базової стратегії розвитку підприємства

|                                     |  |   |                                  |
|-------------------------------------|--|---|----------------------------------|
| Чи є проєкт першопроходець на ринку | Пошук нових споживачів, або забирати існуючих у конкурента | Чи буде компанія копіювати основні характеристики та послуги конкурента | Стратегія конкурентної поведінки |
| Частково                            | Пошук існуючих споживачів                                  | Частково  | Стратегія виклику лідера         |

### 8.5 Розроблення маркетингової програми стартап-проєкту

Одним із перших кроків є формування маркетингової програми проєкту. Для цього визначимо основні ключові переваги, які отримає клієнт (табл. 8.12).

Таблиця 8.12

Визначення ключових переваг концепції потенційного товару

| № п/п | Потреба                              | Вигода яку пропонує послуга        | Ключові переваги перед конкурентом           |
|-------|--------------------------------------|------------------------------------|--|
| 1     | Проектування банджи катапульти       | Готові характеристики та 3D модель | Час реалізації, технічна підтримка           |
| 2     | Виробництво банджі катапульти        | Готовий виріб                      | Якість виготовлення та терміни виготовлення, |
| 3     | Консультаційна та технічна підтримка | Керівництво щодо експлуатації.     | Рекомендації щодо використання продукції     |

## **8.6 Висновки до розділу**

Під час виконання стартап проєкту було проведено концептуальний аналіз створення компанії, яка займається розробкою та виробництвом катапульти типу «Баджі».

В розділі визначено слабкі та сильні сторони проєкту порівняно з потенційними проєктами конкурентів в ринкових нішах.. Описані можливі загрози, можливості та реакцію компанії на них. Необхідний аналіз було проведено відповідно до потреб реалізації та технічного огляду проєкту. Технологічний аудит та огляд показує необхідність залучення капіталу для старту виробництва та нарощення матеріально-технічної бази виробництва. Визначено потенційних конкурентів та замовників та розроблено стратегію розвитку підприємства та стратегію конкурентної поведінки. Проведений маркетинговий аналіз концепту проєкту.

## Висновки

В даній роботі розглянуті теоретичне узагальнення і вирішення актуальної наукової задачі – визначення параметрів та методи проектування банджі катапульти. Проектування банджі катапульти є актуальною та перспективною темою.

Метою роботи було спроектувати банджі катапульти для запуску БПС, розробити експериментальну модель та створити стартап магістерської дисертації.

Теоретичне значення отриманих результатів полягає у визначенні закономірностей впливу параметрів банджі шнура та компонування катапульти на динамічні та геометричні характеристики катапульти.

Практичне значення отриманих результатів полягає в значному покращенні масових характеристик та характеристик безпеки під час роботи з банджі катапультою.

На підставі виконаних досліджень зроблені наступні висновки:

1. Виведені основні рівняння математичної моделі банджі катапульти. Рівняння представлені у аналітичній формі, оскільки у такій формі вони мають більшу практичну цінність. Адаптивність математичної моделі банджі катапульти дозволяє легко розрахувати основні параметри катапульти.

2. На підставі результатів розрахунку початковий ривок фіктивного шнура становить 6,3g після удару люльки об самоскид із прискоренням 1,6g. У випадку справжнього шнура банджі ці значення становлять 6,1g і 2,9g відповідно. Ефективну роботу, досягнуту фіктивним шнуром, все ще можна вважати реалістичною, оскільки він досягає кінцевої швидкості 15,8 м/с. Згідно з цією умовою роботи  $A_{CR} \geq 2989$  Дж вибрано справжній банджі шнур

3. Визначена математична модель справедлива для прийнятих гіпотез. Для всіх гіпотез, які прямо чи опосередковано зменшують жорсткість шнура (сила натягу шнура), компенсація буде здійснена за допомогою запасу потужності – додаткової жорсткості. Результати цих коригувань відображаються

на кінцевій швидкості  $v_F = 16,1$  м/с, що значно перевищує необхідний запас міцності в 15%. Крім того, натяг шнура можна відкоригувати лебідкою якою натягують шнур, за допомогою чого максимальна сила розтягування може бути змінена на  $\pm 15\%$ . При однаковому подовженні корд повинен залишатися в межах від 20% до 80%. Це особливо корисно, якщо маса БПС змінюється через мінливе корисне навантаження. Розрахунок справжніх шнурів банджі дозволяє правильно вибрати кількість справжніх шнурів банджі.

4. Показані результати розрахунку конструкції катапульти на міцність. Та обраний кращий матеріал для подальшої розробки експериментальної моделі

5. Досліджено можливість та ефективність ринкової комерціалізації проекту, визначено загальні напрями використання та проаналізовано ринкові можливості щодо реалізації стартап-проекту.

### Список використаної літератури

1. Козей Я. М. Катапульта для безпілотного літального апарату [Бакалаврська робота] / Ярослав Миколайович Козей. – 2021. – 71 с. – Режим доступу до роботи: <https://arb.kpi.ua/files/119/bakalavr2021/261/%D0%9F%D0%97-%D0%9A%D0%BE%D0%B7%D0%B5%D0%B9.pdf>.
2. УСТРОЙСТВА ЗАПУСКА БЕСПИЛОТНЫХ ЛЕТАТЕЛЬНЫХ АППАРАТОВ [Електронний ресурс] / А.С. Замыслов, В.В. Левкович,, В.А. Томило,, В.А. Францкевич // Инженер механик. – 2013. – Режим доступу до ресурсу: <https://rep.bntu.by/bitstream/handle/data/119411/27-30.pdf?sequence=1&isAllowed=y>.
3. Bone E. Unmanned Aerial Vehicles: Background and Issues for Congress [Електронний ресурс] / E. Bone, C. Bolkcom // The Library of Congress. – 2005. – Режим доступу до ресурсу: <https://irp.fas.org/crs/RL31872.pdf>.
4. UAV Catapult / Jody Cearns, Sean Huxley, David Garcia, Ben Lacasse., 2019.
5. Барекян А. Ш. Основы гидравлики и гидропневмоприводов / А. Ш. Барекян. – Тверь: Тверского государственного технического университета 170026, 2006. – 85 с.
6. Мордасов М. М. АНАЛИЗ И СИНТЕЗ ПНЕВМАТИЧЕСКИХ УСТРОЙСТВ / М. М. Мордасов, А. В. Трофимов. – Москва: Машиностроение-1, 2005. – 109 с.
7. Davi R. Mechanical design and optimization of swarm-capable UAV launch systems / Raymond L Davi. – California: NAVAL POSTGRADUATE SCHOOL, 2015. – 139 с.
8. Voogd A. Robird autonomous take-off: pneumatic launching system / Voogd Alan, 2017. – 34 с.

9. "Sandow Technic\" catalogue of bungee cords [Електронний ресурс] // Sandow Technic. – 2023. – Режим доступу до ресурсу: <https://www.sandowtechnic.com/>.
10. 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](https://www.robonic.fi/wp-content/uploads/2019/07/MC0315L_brochure_A4_07-2019.pdf).
11. Pneumatic UAV launching system GLS-1A [Електронний ресурс] // Ukrspecsyste.ms. – 2021. – Режим доступу до ресурсу: <https://ukrspecsystems.com/uascomponents/pneumatic-uav-launching-system-gls-1a>.
12. Пневматическая катапульта для БПЛА [Електронний ресурс] // Альбатрос. – 2023. – Режим доступу до ресурсу: <https://alb.aero/catalog/komplektuyushchie/nazemnoe-oborudovanie/pnevmaticheskaya-katapulta-dlya-bpla/>.
13. C200R Rope Catapult [Електронний ресурс] – Режим доступу до ресурсу: <https://www.embention.com/product/c200r-catapult/>
14. C400P Pneumatic Catapult [Електронний ресурс] – Режим доступу до ресурсу: <https://www.embention.com/product/c400p-pneumatic/>.
15. Novaković Z. Analysis of a UAV Bungee Cord Launching Device [Електронний ресурс] / Z. Novaković, N. Medar // Scientific Technical Review. – 2013. – Режим доступу до ресурсу: <http://www.vti.mod.gov.rs/ntp/rad2013/3-13/6/6.pdf> - 47 с.
16. Расчет балки при плоском изгибе: Учебное пособие / М.Н.Серазутдинов, Ф.С. Хайруллин; Казан. гос. технол. ун-т. Казань, 2009 64 с.
17. Розроблення стартап-проекту [Електронний ресурс] : Методичні рекомендації до виконання розділу магістерських дисертацій для студентів інженерних спеціальностей / За заг. ред. О.А. Гавриша. – Київ : НТУУ «КПІ», 2016. – 28 с