

МАГІСТЕРСЬКА РОБОТА  
МР.ПМКм-30.00.00.000.ПЗ

Група ПМКм-23-1  
Кобилянська Ілона

Василівна

2024



Івано-Франківський національний технічний університет нафти і газу  
(повне найменування закладу вищої освіти)

Інститут інститут інженерної механіки та робототехніки

Кафедра комп'ютеризованого машинобудування

Освітній рівень магістр

Спеціальність 131 – Прикладна механіка

(шифр і назва)

**ЗАТВЕРДЖУЮ**

Завідувач кафедри \_\_\_\_\_

« \_\_\_\_ » \_\_\_\_\_ 20\_\_ року

## **З А В Д А Н Н Я** **НА МАГІСТЕРСЬКУ РОБОТУ СТУДЕНТОВІ**

Кобилянській Ілоні Василівні

(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема роботи: Установка дослідження скляного волокна на розривну міцність  
керівник роботи Шуляр Б. Р., доцент кафедри КМВ

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

затвержені наказом закладу вищої освіти від “22” листопада 2024 року № 780/7

2. Строки подання студентом роботи грудня 2024р.

3. Вихідні дані до роботи: зразок матеріалу скляного волокна

4. Зміст розрахунково-пояснювальної записки (перелік питань, які потрібно розробити)

1. Теоретичні основи дослідження. 2. Проектування механічної частини. 3. Проектування електронної частини. 4. Реалізація установки

5. Перелік графічного матеріалу (з точним зазначенням обов'язкових креслень)

1. 1 Складальне креслення – 1 лист А1. 2. Креслення деталей для 3Д друку – 1 лист А1, 4 листи А4. 3. Специфікація – 2 листи А4.

## 6. Консультанти розділів роботи

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	завдання прийняв
1	<u>Шуляр Б. Р., доцент кафедри КМВ</u>		
2	<u>Шуляр Б. Р., доцент кафедри КМВ</u>		
3	<u>Шуляр Б. Р., доцент кафедри КМВ</u>		

7. Дата видачі завдання \_\_\_\_\_

## КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва етапів магістерської роботи	Термін виконання етапів роботи	Примітки
1	Теоретичні основи дослідження	01.04.2024	
2	Проектування механічної частини	01.06.2024	
3	Проектування електронної частини	05.08.2024	
4	Реалізація установки	01.10.2024	
6	Захист магістерської роботи	23.12.2024	

Студент \_\_\_\_\_ Кобилянська І. В.  
( підпис ) ( прізвище та ініціали )Керівник роботи \_\_\_\_\_ Шуляр Б. Р.  
( підпис ) ( прізвище та ініціали )

“ \_\_\_ ” \_\_\_\_\_ 2024 р.

## Реферат

Магістерська кваліфікаційна робота на тему: «Установка дослідження скляного волокна на розривну міцність». Дана робота складається зі 69 аркушів. До неї входять 46 рисунків, 5 таблиць, 11 додатків. Для розрахунку роботи було використано 16 бібліографічних найменувань.

Об'єкт дослідження: скляне волокно як матеріал з високими фізико-механічними властивостями.

Предмет дослідження: методи визначення розривної міцності скляного волокна та розробка установки для їх вимірювання.

Мета роботи: розробка та реалізація установки для дослідження розривної міцності скляного волокна, що є економічною, технологічно простою, доступною та ефективною в експлуатації для використання в наукових та промислових цілях.

Основним завданням роботи є: проведення аналізу фізико-механічних властивостей скляного волокна та методів визначення його розривної міцності. Оцінка існуючих методів і обладнання для тестування розривної міцності. Розробка технічного завдання, принципової схеми механічної та електронної частин установки. Виготовлення експериментальної моделі установки.

Відповідно до поставленої задачі були виконані роботи за кожним розділом, згідно з планом:

1. Теоретичні основи дослідження. Було проведено аналіз фізико-механічних властивостей скляного волокна, вивчено його структуру та області застосування в різних галузях промисловості. Окремо розглянуті методи випробувань матеріалів на розривну міцність, зокрема методи, що можуть бути застосовані для дослідження скляного волокна. Оцінено існуюче обладнання та визначено вимоги до тестування, що були враховані при розробці установки.

2. Проектування механічної частини. Розроблено принципову схему механічної частини установки, яка включала деталі для механічного закріплення зразка, систему подачі навантаження та елементи позиціонування. Виконано

вибір матеріалів і конструктивних елементів для забезпечення надійності та функціональності установки. Створено 3D-модель механічної частини для точного визначення параметрів та розмірів елементів.

3. Проектування електронної частини. Було розроблено принципову схему електронної частини, яка включала вибір мікроконтролера, датчиків, драйверів і дисплея. Вибрані компоненти забезпечують необхідну точність вимірювань та управління установкою. Для підключення тензодатчика, двигуна та дисплея була реалізована відповідна електрична схема, що забезпечує взаємодію усіх компонентів.

4. Програмне забезпечення для керування установкою. Для автоматизації процесу вимірювань було розроблено програмне забезпечення на базі мікроконтролера Arduino Due. Встановлено алгоритми для зчитування даних з тензодатчика, управління двигуном для точного позиціонування зразків і виведення результатів на TFT-дисплей. Програмне забезпечення забезпечує інтеграцію всіх компонентів і автоматичне виконання необхідних операцій.

5. Реалізація установки. Зібрано механічну та електронну частини установки, проведено їх інтеграцію та перевірку працездатності. Виконано калібрування драйверів, перевірку точності вимірювань зразків скляного волокна на розривну міцність.

Практична значущість: розроблена установка є доступним і технологічно простим рішенням для визначення розривної міцності скляного волокна. Вона може бути використана в навчальних лабораторіях та на підприємствах для вдосконалення процесів контролю якості матеріалів. Установка також дозволяє значно знизити витрати на тестування, забезпечуючи високу точність вимірювань.

Ключові слова: скляне волокно, розривна міцність, установка для випробувань, механічні властивості, тестування матеріалів, програмне забезпечення, Arduino, 3D-друк.

Студент Кобилянська І. В.

## Summary

Master's qualification work on the topic: "Design of a setup for studying the tensile strength of glass fiber." This work consists of 69 pages, including 46 figures, 5 tables, and 11 appendices. A total of 16 bibliographic sources were used for the calculations.

Object of research: Glass fiber as a material with high physical and mechanical properties.

Subject of research: Methods for determining the tensile strength of glass fibers and the development of a setup for their measurement.

Purpose: To develop and implement a setup for studying the tensile strength of glass fibers that is economical, technologically simple, affordable, and efficient in operation for use in scientific and industrial applications.

The main objectives of the work are as follows: to analyze the physical and mechanical properties of glass fiber and methods for determining its tensile strength; to evaluate existing methods and equipment for testing tensile strength; to develop technical specifications, schematic diagrams of the mechanical and electronic parts of the setup; and to manufacture an experimental model of the setup.

In accordance with the task, the work on each section was carried out according to the following plan:

1. Theoretical foundations of the study. The physical and mechanical properties of glass fiber were analyzed, its structure and areas of application in various industries were studied. Methods for testing materials for tensile strength, especially those applicable to glass fiber, were reviewed. Existing equipment was evaluated, and testing requirements were determined and taken into account during the development of the setup.

2. Design of the mechanical part. A schematic diagram of the mechanical part of the setup was developed, which included parts for the mechanical fixation of the sample, the load application system, and positioning elements. Materials and structural

elements were selected to ensure the reliability and functionality of the setup. A 3D model of the mechanical part was created to precisely define the parameters and dimensions of the components.

3. Design of the electronic part. A schematic diagram of the electronic part was developed, including the selection of the microcontroller, sensors, drivers, and display. The selected components ensure the required measurement accuracy and control of the setup. A corresponding electrical circuit was implemented to connect the load cell, motor, and display, ensuring the proper interaction of all components.

4. Software for controlling the setup. Software based on the Arduino Due microcontroller was developed to automate the measurement process. Algorithms were implemented for reading data from the strain gauge, controlling the motor for precise sample positioning, and displaying results on the TFT display. The software ensures the integration of all components and automatic execution of necessary operations.

5. Implementation of the setup. The mechanical and electronic parts were assembled, integrated, and tested. The drivers were calibrated, and the accuracy of measurements for glass fiber tensile strength was checked.

Practical significance: The developed setup is an affordable and technologically simple solution for determining the tensile strength of glass fiber. It can be used in educational laboratories and enterprises to improve material quality control processes. Additionally, it significantly reduces testing costs while providing high measurement accuracy.

Keywords: Glass fiber, tensile strength, testing setup, mechanical properties, materials testing, software, Arduino, 3D printing.

Student Kobylanska I. V.

## Зміст

ВСТУП	9
1. ТЕОРЕТИЧНІ ОСНОВИ ДОСЛІДЖЕННЯ	11
1.1 Скляне волокно: властивості, структура та сфера застосування	11
1.2 Методи випробувань матеріалів на розривну міцність	15
1.3 Огляд існуючих установок та обладнання для випробувань на розривну міцність	17
1.4 Методи закріплення скляного волокна у випробувальних установках	21
2. ПРОЄКТУВАННЯ МЕХАНІЧНОЇ ЧАСТИНИ	24
2.1 Формування технічного завдання	24
2.2 Розробка принципової схеми механічної частини установки	26
2.3 Вибір матеріалів та конструктивних елементів	28
2.4 Моделювання механічної частини установки	37
3. ПРОЄКТУВАННЯ ЕЛЕКТРОННОЇ ЧАСТИНИ	40
3.1. Вибір контролера та периферійних компонентів	40
3.2 Розробка системи керування на базі Arduino Due	45
3.3. Розробка електричної принципової схеми	47
3.4 Програмне забезпечення для керування установкою	52
4. РЕАЛІЗАЦІЯ УСТАНОВКИ	55
4.1. Підготовка компонентів механічної частини	55
4.2. Підготовка компонентів електронної частини	58
4.3. Збірка механічної та електронної частин установки	63
Висновки	66
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ	68
Додатки	70

					<b>МР.ПМКм-30.00.00.000 ПЗ</b>			
Зм.	Арк.	№ Докум.	Підпис	Дата	<b>Пояснювальна записка</b>	Літ.	Арк.	Аркуші
Розроб.		Кобилянська І.						
Перевір.		Шуляр Б. Р.					8	
Рецензент		Роп'як Л. Я.				<b>ІФНТУНГ</b>		
Затверд.		Панчук В.Г.				<b>ПМКм-23-1</b>		

## ВСТУП

Актуальність теми обумовлена широким використанням скляного волокна у сучасних галузях промисловості, таких як будівництво, авіація, автомобілебудування та електроніка. Надійність і довговічність матеріалів, створених на основі скляного волокна, безпосередньо залежать від його механічних характеристик, зокрема розривної міцності. Однак сучасні методи випробувань часто є дорогими або потребують складного обладнання, що обмежує їх доступність для невеликих лабораторій. Тому розробка економічної, простої в експлуатації установки для дослідження розривної міцності скляного волокна є важливим завданням, яке сприятиме підвищенню ефективності контролю якості матеріалів.

**Мета:** Розробка, створення та експериментальне тестування економічної та простої установки для визначення розривної міцності скляного волокна.

**Завдання:**

Провести аналіз фізико-механічних властивостей скляного волокна та методів визначення його розривної міцності.

Розглянути існуючі методи та обладнання для тестування розривної міцності, визначити їх переваги та недоліки.

Сформулювати технічне завдання на розробку установки.

Розробити принципову схему установки та вибрати необхідні компоненти.

Виготовити експериментальну модель установки та провести її тестування.

Провести аналіз отриманих даних і порівняти результати з характеристиками існуючого обладнання.

**Об'єкт дослідження:** Скляне волокно як матеріал із високими фізико-механічними властивостями.

**Предмет дослідження:** Розривна міцність скляного волокна та методи її визначення за допомогою спеціалізованого обладнання.

**Методи дослідження**

					МР.ПМКМ-30.00.00.000 ПЗ	Арк.
						9
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Аналіз літературних джерел та патентної документації для визначення основних принципів випробування скляного волокна.

Теоретичні розрахунки для розробки конструкції установки.

Експериментальні методи:

Випробування зразків скляного волокна на розрив за допомогою розробленої установки.

Вимірювання силового навантаження та деформації за допомогою датчиків.

Методи обробки даних:

Статистичний аналіз результатів випробувань.

Порівняння отриманих даних із теоретичними прогнозами.

Наукова новизна роботи

Вперше розроблено економічну установку для випробування скляного волокна на розривну міцність із використанням доступних компонентів.

Запропоновано вдосконалену методику вимірювання розривної міцності, яка забезпечує високу точність при мінімальних витратах.

Продемонстровано взаємозв'язок між конструкцією установки та точністю отриманих результатів.

Практичне значення результатів

Розроблена установка може бути використана у навчальних лабораторіях вищих навчальних закладів для вивчення механічних властивостей матеріалів.

Запропонована конструкція дозволяє значно зменшити витрати на тестування матеріалів у порівнянні з існуючим обладнанням.

Отримані результати можуть бути використані для вдосконалення процесів контролю якості скляного волокна у промисловому виробництві.

					МР.ПМКМ-30.00.00.000 ПЗ	Арк.
						10
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

# 1. ТЕОРЕТИЧНІ ОСНОВИ ДОСЛІДЖЕННЯ

## 1.1 Склоєне волокно: властивості, структура та сфера застосування

Скловолокно є одним із ключових матеріалів, що знаходить широке застосування в різних галузях промисловості завдяки своїм унікальним властивостям, таким як висока міцність, легкість і стійкість до корозії. Вивчення його механічних властивостей, зокрема розривної міцності, має велике значення для забезпечення надійності виробів, що виготовляються на його основі.

Скловолокно — штучне волокно суворо циліндричної форми з гладенькою поверхнею, виготовляють витягуванням або розчленуванням розплавленого скла. У такій формі скло демонструє незвичайні для скла властивості: не б'ється і не ламається, а натомість легко гнеться без руйнування. Це дозволяє ткати з нього склотканину, виготовляти гнучкі світлопроводи та застосовувати в безлічі інших галузей техніки.[1]



Рисунок 1.1 – Склоєне волокно [2]

Застосування склоєного волокна

Будівництво та архітектура:

					МР.ПМКМ-30.00.00.000 ПЗ	Арк.
						11
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

- Армування бетону.
- Виробництво склопластику для створення легких і міцних конструкцій.

Енергетика:

- Використання в ізоляційних матеріалах для проводів і кабелів.
- Матеріал для лопатей вітряних турбін.

Транспорт:

- Автомобільна і авіакосмічна промисловість (обшивка, корпуси, декоративні елементи).

Оптичні комунікації:

- Оптичні кабелі для передачі даних.

Медицина:

- Протези, ортопедичні пристрої, стоматологічні конструкції.

Інші сфери:

- Виробництво спортивного обладнання.
- Використання в мистецтві (наприклад, декоративні склопластики).
- Використання в сфері краси (база з скловолокном для нарощування нігтів від Adore)[5].



Рисунок 1.2 – ADORE Fiber Base [6]

					МР.ПМКМ-30.00.00.000 ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ док.м.	Підпис	Дата		12

Основними характеристиками скловолокна є:

- Висока міцність на розрив міцність (1.5–2 ГПа) і низьке подовження, що дозволяє використовувати його в умовах високих механічних навантажень.
- Високий коефіцієнт пружності та хороша жорсткість.
- Подовження в межах пружності велике, а міцність на розрив висока, тому поглинання енергії удару велике.
- Низька густина (2.6 г/см<sup>3</sup>), що сприяє створенню легких, але міцних конструкцій.
- Це неорганічне волокно, яке є негорючим і має гарну хімічну стійкість.
- Мале водопоглинання.
- Стабільність розмірів і висока термічна стійкість (до 600 °С), що дозволяє використовувати матеріал у середовищах із високими температурами.
- Хороша оброблюваність, може бути виготовлена у пасма, пучки, плетіння та інші вироби в різних формах.
- Стійкість до впливу агресивних хімічних середовищ, що забезпечує тривалий термін експлуатації.
- Висока електроізоляційна здатність, стійкість до електричних розрядів.
- Стійкість до впливу кислот і лугів, низька схильність до корозії.
- Він прозорий і може пропускати світло.
- Хороша адгезія зі смолою.
- Ціна дешева.
- Його можна розплавити при високій температурі.[4]

Властивості нитки визначаються її мікроструктурою, яка складається з тисяч тонких скляних волокон діаметром від 3 до 20 мкм. При виробництві скловолокно покривають спеціальними складами для зменшення тертя між волокнами, що підвищує його міцність.

Скловолокно виготовляється з кварцового піску, соди, сульфату натрію, поташу, польового шпату та різноманітних рафінуючих і фарбуючих хімічних

					МР.ПМКМ-30.00.00.000 ПЗ	Арк.
						13
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

речовин. Особливості, а значить і класифікація скляних волокон, що випускаються, диктуються комбінацією сировини і пропорціями [2]. Класифікація скловолокна:

- C-glass
- D-glass
- E-glass
- AE-glass
- ECR-glass
- AR-glass
- R-glass
- S-glass
- S2-glass

Основні рівняння, для аналізу властивостей скловолокна:

Розривна міцність ( $\sigma$ ):

$$\sigma = \frac{A}{F}; \quad (1.1)$$

де:

F — сила натягу, Н (ньютонів);

A — площа поперечного перерізу нитки, м<sup>2</sup>.

Подовження при розтягуванні ( $\epsilon$ ):

$$\epsilon = \frac{\Delta L}{L}; \quad (1.2)$$

де:

$\Delta L$  — зміна довжини нитки, м;

L — початкова довжина нитки, м.

Модуль пружності (E):

$$E = \frac{\sigma}{\epsilon}; \quad (1.3)$$

де:

E — модуль пружності матеріалу, Па;

$\sigma$  — напруження, Па;

$\epsilon$  — відносне подовження (безрозмірна величина).

					МР.ПМКМ-30.00.00.000 ПЗ	Арк.
						14
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

## 1.2 Методи випробувань матеріалів на розривну міцність

Розривна міцність — це властивість матеріалу протистояти силі, що діє на нього до його руйнування або розриву. Вона залежить від багатьох факторів, таких як структура матеріалу, температура, швидкість навантаження, а також від методів тестування. Для розриву скловолокна важливо враховувати як механічні характеристики матеріалу, так і параметри, що стосуються самого процесу розриву.

Теорія розривної міцності:

Розрив скловолокна може бути описаний за допомогою таких аспектів:

- Теорія максимальних напруг. Це підхід, при якому вважається, що матеріал розривається, коли напруга в ньому перевищує певний поріг. Для скловолокна, особливо в тонких волокнах, найважливіша роль належить розподілу навантаження та дефектам на поверхні волокна.

- Теорія крихкості: Для скловолокна характерна крихкість при розриві, тобто без значної пластичної деформації. Скловолокно може раптово лопнути при досягненні критичних напруг, що спричинено внутрішніми дефектами або слабкими зонами в матеріалі.

Фактори, що впливають на розривну міцність скловолокна:

- Тип волокон. Різні типи волокон (наприклад, E-glass, S-glass) мають різні механічні властивості. Вони можуть відрізнятися за міцністю на розрив, в'язкістю та іншими характеристиками.

- Напруга і швидкість навантаження. Міцність на розрив може змінюватися залежно від швидкості застосування навантаження (динамічні навантаження можуть знижувати міцність).

- Температурний режим. Міцність на розрив може змінюватися при зміні температури. При низьких температурах скловолокно стає більш крихким.

- Вологість. Вплив вологи може зменшувати міцність матеріалу через зміни в структурі скловолокна.

					МР.ПМКМ-30.00.00.000 ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		15

Для визначення розривної міцності скловолокна застосовуються такі методи тестування:

- Тест на розрив. При цьому методі волокно або матеріал розтягується до розриву, і реєструється максимальна сила на розрив.

- Тест на відрив. Визначає силу, при якій скловолокно відривається від підкладки або іншої поверхні.

- Моделювання і чисельні методи. Існують комп'ютерні моделі, які використовуються для оцінки розривної міцності, враховуючи внутрішні дефекти та структуру волокна.

					MP.ПМКМ-30.00.00.000 ПЗ	Арк.
						16
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

### 1.3 Огляд існуючих установок та обладнання для випробувань на розривну міцність

Instron Series 3300.[7]

Принцип роботи: Установа використовує сервоприводну систему для забезпечення рівномірного прикладення навантаження. Тестувальні зразки закріплюються в тримачах, і під час тесту реєструється сила розриву та подовження.

Переваги:

- Висока точність вимірювань.
- Широкий діапазон випробувань (розрив, стискання, вигин тощо).
- Простий у використанні інтерфейс.

Недоліки:

- Висока вартість.
- Вимагає регулярного калібрування.



Рисунок 1.3 – Instron Series 3300 [15]

					МР.ПМКМ-30.00.00.000 ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		17

## ZwickRoell Z2.5 [8]

Принцип роботи: Використовує електромеханічний привід для прикладення статичного навантаження. Дані реєструються з високою роздільною здатністю для визначення міцності матеріалу.

### Переваги:

- Компактний розмір.
- Можливість тестування тонких волокон.
- Сумісність із різними видами кріплень.

### Недоліки:

- Обмежена максимальна сила навантаження.
- Не підходить для тестування великих зразків.



Рисунок 1.4 – ZwickRoell Z2.5 [16]

					МР.ПМКМ-30.00.00.000 ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		18

## Shimadzu AGS-X Series [9]

Принцип роботи: Використовує сервоконтроль для прикладення навантаження, що забезпечує точність і повторюваність тестів. Дані про силу та подовження передаються на комп'ютер.

### Переваги:

- Швидке налаштування.
- Висока чутливість до малих деформацій.
- Інтуїтивне програмне забезпечення.

### Недоліки:

- Відносно складний монтаж зразків.
- Висока вартість запчастин.



Рисунок 1.5 – Shimadzu AGS-X Series

Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата

МР.ПМКМ-30.00.00.000 ПЗ

Арк.

19

## Tinius Olsen Model 5ST [11]

### Принцип роботи:

Електромеханічна система з приводом, що забезпечує плавне прикладення навантаження. Вимірює силу розтягування за допомогою точного тензOMETричного датчика.

### Переваги:

- Доступна вартість порівняно з преміум-сегментом.
- Компактні розміри.
- Простий інтерфейс для налаштування тестів.

### Недоліки:

- Обмежена максимальна сила (до 500 Н).
- Відсутність підтримки складних тестових сценаріїв.



Рисунок 1.6 – Tinius Olsen Model 5ST [10]

					МР.ПМКМ-30.00.00.000 ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		20

## 1.4 Методи закріплення скляного волокна у випробувальних установках

Закріплення скловолокна в установку для тестування на розрив — це ключовий етап, оскільки матеріал є тонким, тендітним і чутливим до нерівномірного розподілу навантаження. Неправильне закріплення може призвести до помилок у вимірюваннях або до руйнування зразка поза тестовою зоною.

Основні способи закріплення скловолокна:

### 1. Затискні губки (механічні зажими):

Принцип роботи:

Скловолокно закріплюється між двома плоскими або рифленими поверхнями, що змикаються під дією гвинтового, пневматичного або гідравлічного механізму.

Переваги:

- Простота використання.
- Широкий діапазон зразків за довжиною та формою.

Недоліки:

- Ризик пошкодження волокна через високий тиск.
- Можливе ковзання, якщо поверхня зажиму не адаптована до матеріалу.

### 2. Пневматичні затиски:

Принцип роботи:

Використовується стиснене повітря для рівномірного затискання зразка. Це забезпечує постійний і контрольований тиск.

Переваги:

- Менша ймовірність пошкодження волокна.
- Автоматизація та повторюваність результатів.

Недоліки:

- Необхідність компресора або іншого джерела стисненого повітря.
- Вищі початкові витрати.

### 3. Клеєві кріплення:

					МР.ПМКМ-30.00.00.000 ПЗ	Арк.
						21
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Принцип роботи:

Кінці зразка закріплюються у спеціальних тримачах за допомогою клею, що забезпечує рівномірний розподіл напруги.

Переваги:

- Підходить для дуже тонких або ламких волокон.
- Мінімальне пошкодження структури зразка.

Недоліки:

- Тривалий процес підготовки (час висихання клею).
- Неможливість повторного використання тримачів без очищення.

#### 4. Петльове кріплення:

Принцип роботи:

Один або обидва кінці зразка формуються у вигляді петлі, яка закріплюється на відповідних тримачах.

Переваги:

- Знижує концентрацію напружень на кінцях.
- Простий метод без спеціальних аксесуарів.

Недоліки:

- Ускладнення вимірювань, оскільки довжина зразка може змінитися.
- Можливе розривання петлі до основної частини волокна.

#### 5. Спеціалізовані затиски для волокнистих матеріалів:

Принцип роботи:

Тримачі із м'якими гумовими або текстурованими поверхнями, розроблені спеціально для тонких волокнистих матеріалів, таких як скловолокно.

Переваги:

- Рівномірне закріплення без пошкоджень.
- Підходить для стандартного тестування за ISO чи ASTM.

Недоліки:

- Вища вартість аксесуарів.
- Може вимагати точного налаштування для різних матеріалів.

					MP.ПМКМ-30.00.00.000 ПЗ	Арк.
						22
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Загальні рекомендації:

Підготовка зразка:

- Краї повинні бути рівними, без надривів чи нерівностей.
- У деяких випадках краї зразка обробляються захисною стрічкою або епоксидним покриттям для запобігання пошкодженню.

Розподіл напруг:

- Закріплення повинно забезпечувати рівномірний розподіл напруги вздовж зразка, щоб уникнути концентрації сил на кінцях.

Використання демпфуючих матеріалів:

- Використання м'яких прокладок (гумових або текстильних) між зразком і затискачем знижує ризик пошкодження волокна.

					МР.ПМКМ-30.00.00.000 ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		23

## 2. ПРОЄКТУВАННЯ МЕХАНІЧНОЇ ЧАСТИНИ

### 2.1 Формування технічного завдання

Над досліджуваним скловолокном було проведено експеримент. З однієї сторони волокно прикріпили до кантора, а з іншої тягли, щоб визначити при якій вазі волокно обірветься. Для точності результатів, експеримент провели декілька раз, результати досліджень записані в таблиці 2.1.

Таблиця 1.1 – Попереднє дослідження розриву скляного волокна.

№	Вага при розриві скловолокна, кг
1	23.24
2	34.71
3	42.5
4	38.39

Для проведення розрахунків і подальшої роботи було взято найбільше значення 42.5 кг.



Рисунок 2.1 – Результат дослідження (найбільше значення)

Виходячи з отриманих даних проводимо наступні розрахунки.

Сила розтягування. Максимальна сила, при якій розірвалося скловолокно, становить 42,5 кг. Враховуючи переведення в Ньютон:

$$F = 42.5 \cdot 9.81 = 416.925 \quad (2.1)$$

Радіус нитки, м:

					МР.ПМКМ-30.00.00.000 ПЗ	Арк.
						24
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

$$r = \frac{d}{2} = \frac{0.7}{2} = 0.00035 \quad (2.2)$$

Площа поперечного перерізу, м<sup>2</sup>:

$$A = \pi \cdot r^2 = 3.1416 \cdot 0.00035^2 = 3.848 \cdot 10^{-7} \quad (2.3)$$

Розривна міцність, МПа:

$$\sigma = \frac{F}{A} = \frac{416.925}{3.848 \cdot 10^{-7}} = 1.0835 \cdot 10^9 \quad (2.4)$$

Подовження при розтягуванні ( $\epsilon$ ):

$$\epsilon = \frac{\Delta L}{L} = \frac{0.01}{1} = 0.01 \sim 1\% \quad (2.5)$$

Модуль пружності, Па:

$$E = \frac{\sigma}{\epsilon} = \frac{1.0835 \cdot 10^9}{0.01} = 1.0835 \cdot 10^{11} \quad (2.6)$$

Отже, необхідно спроектувати та реалізувати установку яка розриватиме матеріал з силою перевищуючою 416.925 Н.

Робоча зона установки повинна бути довжиною 200 мм.

Необхідно щоб весь процес (окрім закріплення матеріалу) був автоматизований та простий у використанні.

Точність вимірювань сили з похибкою не більше 5%.

Конструктивні вимоги:

- Компактність і модульність конструкції для зручності використання.
- Надійність та довговічність механізмів.

Експлуатаційні вимоги:

- Простота управління та налаштування установки.

Обмеження та специфікації:

Матеріали, які можна використовувати в конструкції: алюміній, сталь, пластик.

Умови експлуатації: лабораторні середовища та малі підприємства.

					МР.ПМКМ-30.00.00.000 ПЗ	Арк.
						25
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

## 2.2 Розробка принципової схеми механічної частини установки

Установка для дослідження скловолокна на розрив є пристроєм, розробленим для оцінки механічної міцності матеріалів. Каркас конструкції виготовлений із алюмінієвих профілів розміром 30x60 мм, що забезпечують жорсткість та стабільність установки. Усі елементи каркасу з'єднані за допомогою кронштейнів, які, як і рухома каретка, виготовлені на 3D-принтері. Це рішення дозволило створити легку, економічну і водночас функціональну конструкцію, яка адаптована до виконання задач дослідження.

Установка поділена на дві функціональні зони: зону кріплення матеріалу та зону механізму. У першій зоні розташовані елементи для фіксації зразка скловолокна, що досліджується, тоді як друга зона містить привід і основні механічні вузли, які забезпечують процес розтягування. Поділ на зони дозволяє мінімізувати вплив механічних збурень на результати дослідження та підвищує точність вимірювань.

Механізм роботи базується на мікроконтролері Arduino Due, який забезпечує управління всією системою. Привід складається з крокового двигуна NEMA 17, підключеного до Arduino через драйвер A4988, що дозволяє регулювати швидкість, напрямок і кроки двигуна. Двигун оснащений планетарним редуктором із передаточним відношенням 19:1, для забезпечення необхідної тяги. Вал двигуна через муфту з'єднаний із ходовим гвинтом, який виконує функцію передавання обертального руху в лінійний. На ходовому гвинті розташована ходова гайка, до якої кріпиться рухома каретка.

Каретка, виготовлена на 3D-принтері, рухається вздовж ходового гвинта, додатково підтримуючись на двох напрямних валах за допомогою лінійних підшипників. Напрямні вали з одного боку закріплені кронштейнами до перегородки з профілю 20x20 мм, яка розділяє дві зони установки, а з іншого боку – до кронштейнів каркасу. Ходовий гвинт додатково підтримується через фланцевий підшипник, прикріплений до профілю перегородки.

					МР.ПМКМ-30.00.00.000 ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		26

На каретці встановлений тензодатчик, який є ключовим елементом системи вимірювань. Один його кінець надійно закріплений у каретці, тоді як інший залишається вільним для фіксації зразка скловолокна. Драйвер тензодатчика закріплений зверху на каретці та з'єднаний з Arduino Due, що забезпечує безперервний збір і передачу даних для подальшої обробки.

Для фіксації зразка скловолокна використовується рим-болт, закріплений у зоні кріплення матеріалу, а також карабін, що з'єднує зразок із механізмом тензодатчика.

Візуалізація схеми зображена в додатку А.

					МР.ПМКМ-30.00.00.000 ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		27

## 2.3 Вибір матеріалів та конструктивних елементів

Одним із ключових етапів у реалізації проєкту є вибір матеріалів і компонентів, які забезпечують надійність, точність і функціональність установки.

### Механічна конструкція

Механічна частина установки складається з таких компонентів:

Каретка – виготовлена на 3D-принтері, виконує функцію платформи для тензодатчика та рухомого кріплення зразка.

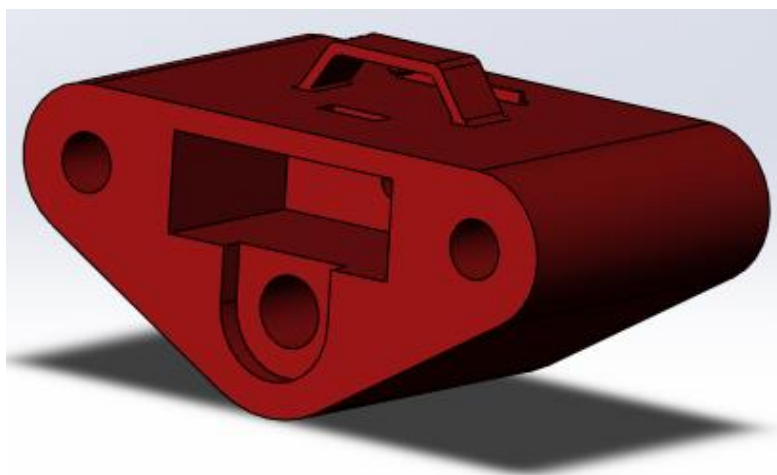


Рисунок 2.2 – 3Д модель каретки

Ходовий гвинт – сталевий, діаметром 8 мм і довжиною 200 мм, забезпечує трансформацію обертального руху в лінійний.

Ходова гайка – забезпечує плавність і точність руху каретки вздовж ходового гвинта.



Рисунок 2.3 - Ходовий гвинт 200mm x 8mm крок 2 мм з гайкою

					МР.ПМКМ-30.00.00.000 ПЗ	Арк.
						28
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Напрямні вали (2 шт.) – сталеві, діаметром 8 мм і довжиною 300 мм, забезпечують стабільність і рівномірність руху каретки.



Рисунок 2.4 - Лінійні вали OD Ø8мм довжина 300мм

Муфта 8x8 мм – з'єднує вал двигуна із ходовим гвинтом.



Рисунок 2.5 - Гнучка муфта D19xL25 (алюмінієва пружинна) 8x8 мм

Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата

МР.ПМКМ-30.00.00.000 ПЗ

Арк.

29

Алюмінієві профілі:

Профіль 30x60 мм (2 шт. по 450 мм, 2 шт. по 200 мм) – основний каркас конструкції. Кожен профіль 30x60 мм можна замінити двома скріпленими профілями 30x30 мм.

Профіль 20x20 мм (140 мм) – використовується як перегородка для закріплення напрямних валів.

Алюмінієві профілі використовуються як основний матеріал для каркасу завдяки їх високій жорсткості, легкості та корозійній стійкості. Профілі легко монтується, забезпечують точність конструкції та дозволяють встановлювати додаткові елементи без складних технологічних процесів.



Рисунок 2.6 - Алюмінієві профілі 30x60 та 20x20

Рим-болт М8 - Використовується для закріплення скловолокна на стороні нерухомої частини конструкції. Виготовлений з сталі із антикорозійним покриттям, що забезпечує тривалий термін експлуатації.

					МР.ПМКМ-30.00.00.000 ПЗ	Арк.
						30
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		



Рисунок 2.7 - Рим-болт М8

Карабін гвинтовий 4 мм - Використовується для закріплення скловолокна до рухомого механізму тензодатчика. Виготовлений з сталі.



Рисунок 2.8 - Карабін гвинтовий 4 мм

Шпильки (оцинкована сталь):

Діаметром 5 мм, довжиною 220 мм - для закріплення профілю 20x20 до каркасу конструкції.

Діаметром 3 мм, довжиною 70 мм (3 шт.) - для скріплення ходової гайки з кареткою та зміцнення конструкції каретки..

Кронштейни (роздруковані на 3D-принтері):

Кронштейни для кріплення каркасу (6 шт.) - виконують функцію з'єднання основних алюмінієвих профілів каркасу між собою.

					МР.ПМКМ-30.00.00.000 ПЗ	Арк.
						31
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

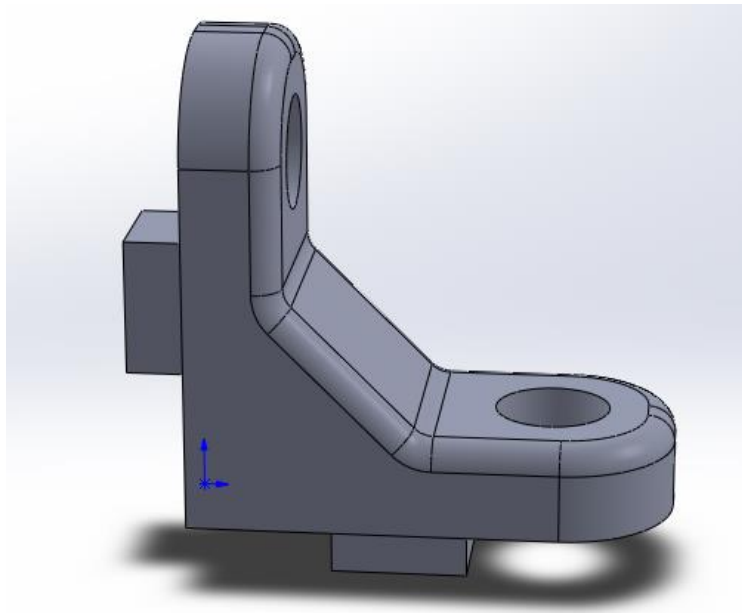


Рисунок 2.9 - кронштейн для кріплення каркасу

Кронштейни для кріплення каркасу та напрямних (2 шт.) - з'єднують каркас та водночас напрямні вали з каркасом.

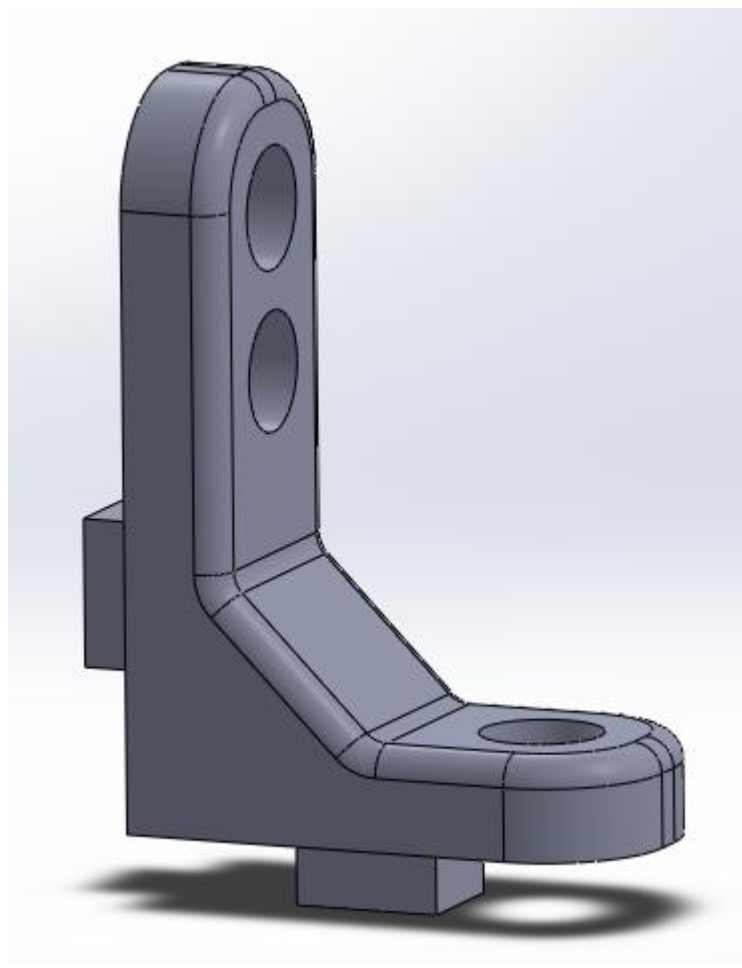


Рисунок 2.10 - Кронштейн для кріплення каркасу та напрямних

					МР.ПМКМ-30.00.00.000 ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		32

Кронштейни для кріплення профілю 20x20 до каркасу (2 шт.) - використовуються для монтажу внутрішньої перегородки, яка розділяє зону механізму і зону кріплення матеріалу.

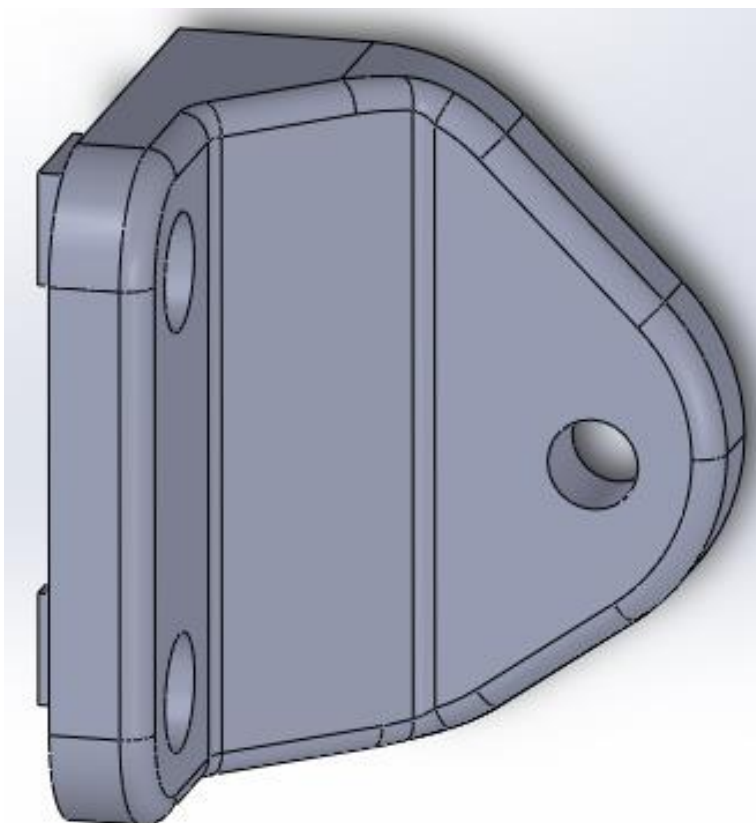


Рисунок 2.11 - Кронштейн для кріплення профілю 20x20 до каркасу

Кронштейни для кріплення напрямних до профілю 20x20 (2 шт.) - фіксують напрямні вали до профілю 20x20.

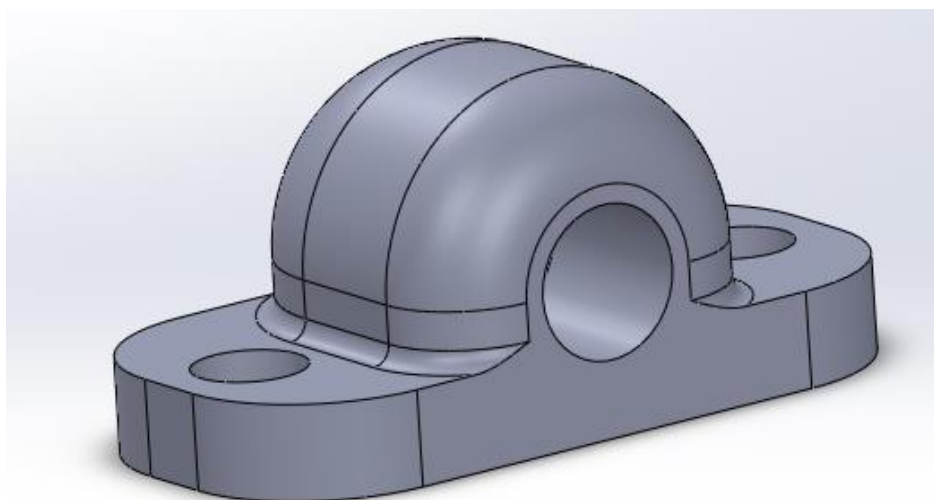


Рисунок 2.12 - Кронштейни для кріплення напрямних до профілю 20x20

					МР.ПМКМ-30.00.00.000 ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		33

Лінійні підшипники (2 шт.) – забезпечують зменшення тертя між кареткою і напрямними валами.



Рисунок 2.13 - Підшипник лінійний LM8UU

Фланцевий підшипник – забезпечує обертання ходового гвинта зі зменшеним тертям.



Рисунок 2.14 - Фланцевий підшипник KFL08, 8 мм

Механізм тензодатчика – вимірює силу розтягування. Тензодатчики використовуються для вимірювання сили натягу шляхом перетворення механічного деформування в електричний сигнал.

					МР.ПМКМ-30.00.00.000 ПЗ	Арк.
						34
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

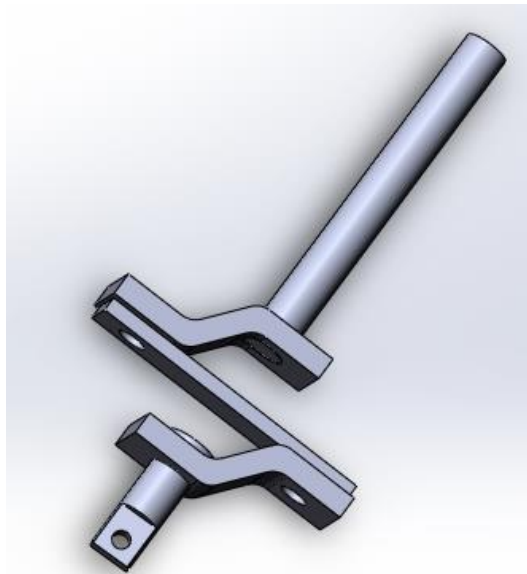


Рисунок 2.15 - Механізм тензодатчика

Кроковий двигун – NEMA 17 із планетарним редуктором 19:1. Забезпечує достатній момент для натягу скловолокна до розриву, точність позиціювання і плавність роботи.



Рисунок 2.17 - Кроковий двигун NEMA 17 з планетарним редуктором 19: 1

					МР.ПМКМ-30.00.00.000 ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		35

Розрахунок параметрів двигуна

Для вибору крокового двигуна розрахуємо необхідний момент:

Сила розтягування формула 2.1.  $F = 416.925 \text{ Н}$

Коефіцієнт редуктора:

Планетарний редуктор має передаточне відношення 19:1, що зменшує необхідний момент на валу двигуна.

Параметри ходового гвинта:

Крок ходового гвинта  $p = 2 \text{ мм}$ , тому необхідний момент  $M$  можна визначити за формулою, Н/мм:

$$M = \frac{F \cdot p}{2\pi\eta}; \quad (2.7)$$

де,

$\eta$  – коефіцієнт корисної дії (ККД) системи передачі, який для сталевих ходових гвинтів становить близько 0,9.

Підставляючи значення у формулу 2.7:

$$M = \frac{416.925 \cdot 2}{2\pi \cdot 0.9} \approx 147.5 \quad (2.8)$$

Момент на валу двигуна, з урахуванням передаточного відношення редуктора, Н/мм:

$$M_d = \frac{M}{19} \approx \frac{147.5}{19} \approx 7.76 \quad (2.9)$$

Кроковий двигун NEMA 17 із планетарним редуктором 19:1 забезпечує момент, який перевищує розрахунковий, тому його обрано для даної установки.

					МР.ПМКМ-30.00.00.000 ПЗ	Арк.
						36
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

## 2.4 Моделювання механічної частини установки

Будуємо ескіз.

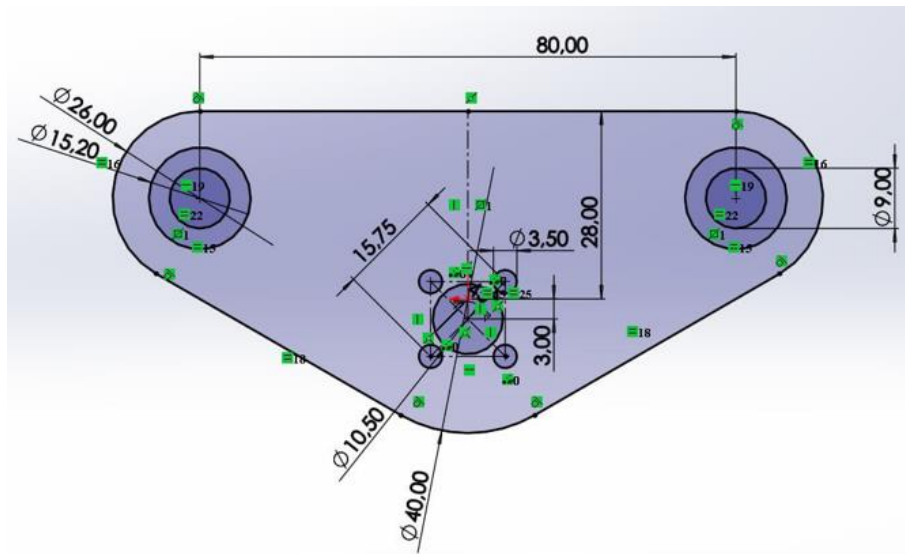


Рисунок 2.18 – Ескіз

Витягуємо та отримуємо готове тіло заготовки.

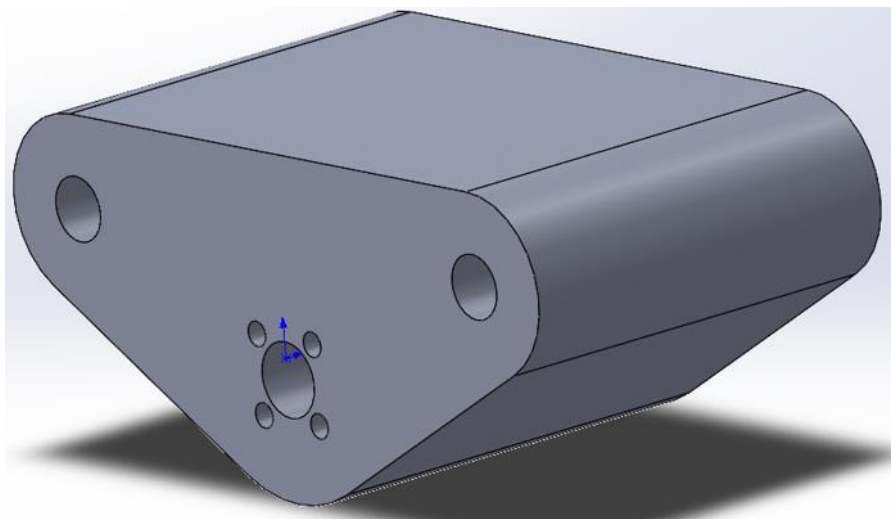


Рисунок 2.19 – Операція витягнення

Вирізаємо в деталі місця під датчик, та опорну гайку.

					МР.ПМКМ-30.00.00.000 ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		37

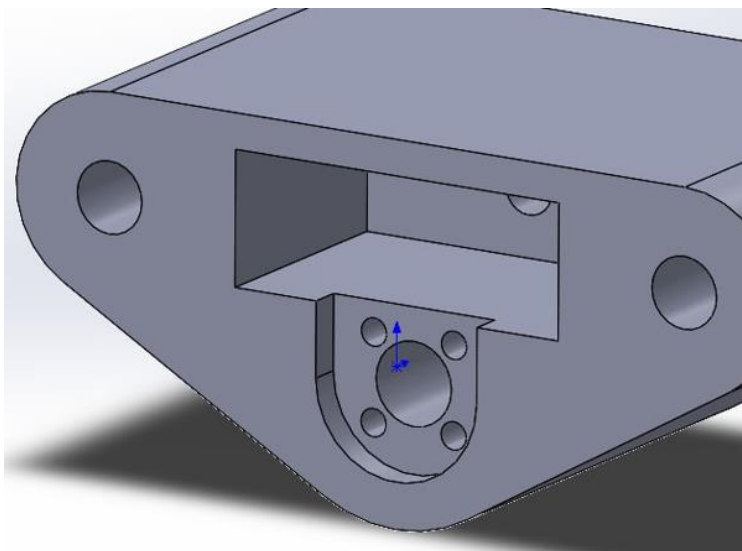


Рисунок 2.19 – Операція вирізання

На верхній частині каретки будуюмо місце для драйвера тензодатчика.

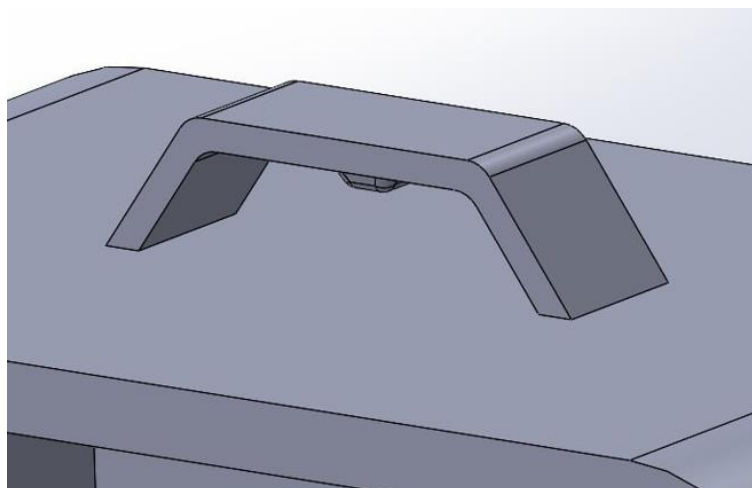


Рисунок 2.20 – Побудова місця для драйвера тензодатчика

Добавляємо з однієї сторони стопор для драйвера. А з іншої сторони добавляємо технічний отвір для кабелів.

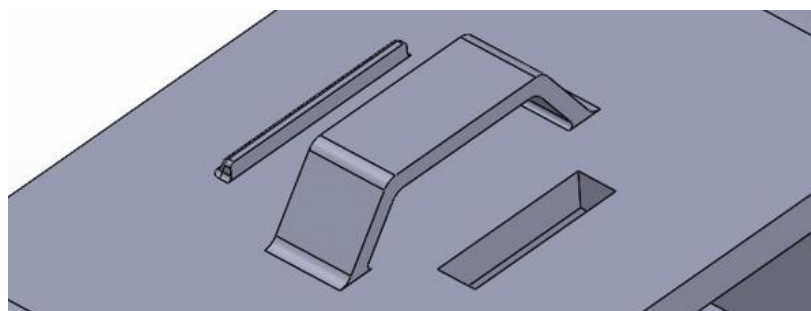


Рисунок 2.21 - Стопор для драйвера та отвір для кабелів

Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата

Добавляємо скруглення для деталі, та отримуємо готову каретку.

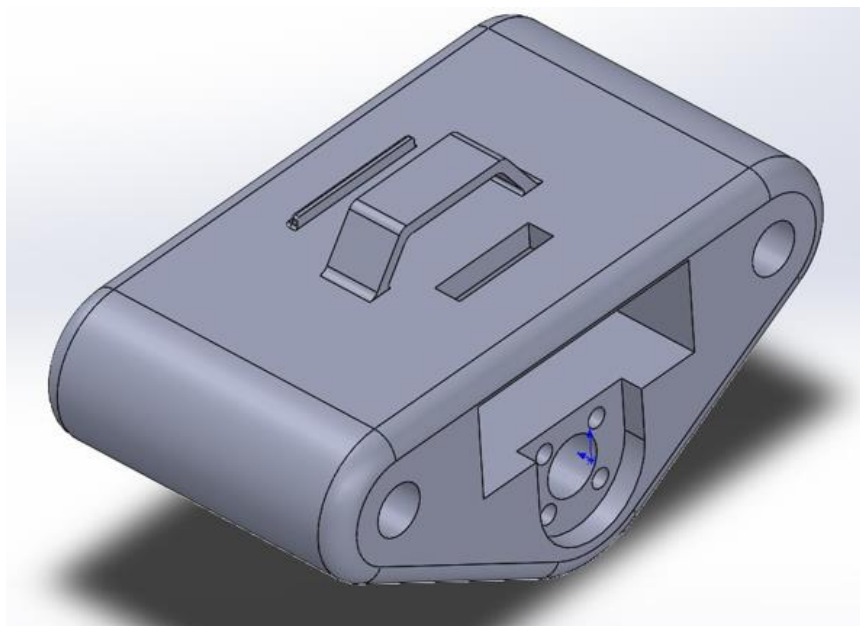


Рисунок 2.22 - Скруглення для деталі

					МР.ПМКМ-30.00.00.000 ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		39

### 3. ПРОЄКТУВАННЯ ЕЛЕКТРОННОЇ ЧАСТИНИ

#### 3.1. Вибір контролера та периферійних компонентів

Arduino Due. Центральний елемент системи, який виконує роль контролера.

Основні характеристики:

- Мікроконтролер: SAM3X8E (ARM Cortex-M3, 32-бітний)
- Робоча частота: 84 МГц
- Кількість цифрових виводів: 54 (12 із них підтримують ШІМ)
- Кількість аналогових входів: 12
- Пам'ять: 512 КБ флеш-пам'яті, 96 КБ SRAM
- Інтерфейси: UART, SPI, I2C, USB OTG

Особливості: висока швидкість обробки даних і багатофункціональність, необхідні для одночасного керування сенсорами, двигунами та інтерфейсом користувача.

Arduino Due обрано через її здатність ефективно обробляти великі обсяги даних, що є важливим для інтерактивного управління системою й оброблення сигналів у режимі реального часу. Також важливим критерієм вибору була кількість пінів для підключення пристроїв.

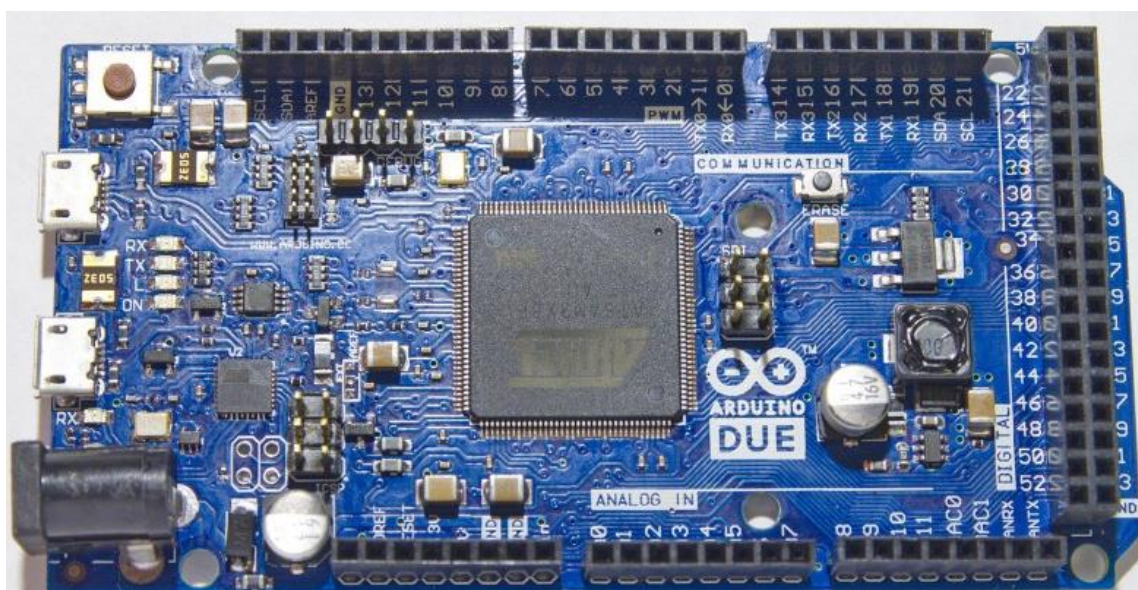


Рисунок 3.1 - Arduino Due

Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата

МР.ПМКМ-30.00.00.000 ПЗ

Арк.

40

TFT LCD 2.4" Touch Screen Shield на базі ILI9341. Цей модуль обрано для відображення графічних даних і сенсорного керування установкою. Екран дозволяє зручно візуалізувати дані, отримані під час дослідження, такі як графік силу натягу тощо. Сенсорна функція забезпечує інтуїтивне керування установкою через головне меню. Контролер ILI9341 підтримує кольорову графіку високої чіткості, а сама плата легко інтегрується з Arduino Due завдяки стандартному формфактору shield.

Основні характеристики:

- Діагональ екрану: 2,4 дюйми
- Роздільна здатність: 240x320 пікселів
- Тип дисплея: кольоровий TFT
- Контролер: ILI9341
- Тип сенсору: резистивний
- Інтерфейс: SPI
- Сумісність: стандартний shield для Arduino Due/Uno

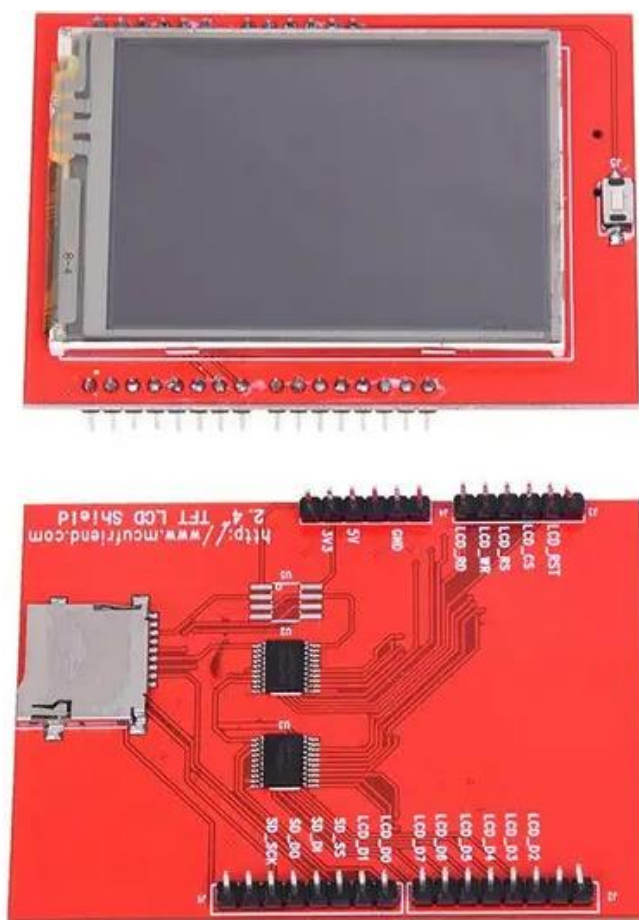


Рисунок 3.2 - TFT LCD 2.4" Touch Screen Shield на базі ILI9341

					МР.ПМКМ-30.00.00.000 ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		41

## Тензодатчик із драйвером НХ711

Тензодатчик використовується для вимірювання сили натягу, що прикладається до зразка скловолокна. Драйвер НХ711 забезпечує підсилення сигналу від тензодатчика, перетворюючи його на цифровий формат, який обробляється Arduino Due. Модуль НХ711 обрано завдяки його високій точності, стабільності та простоті інтеграції з мікроконтролером.

Основні характеристики тензодатчика:

- Тип: резистивний тензодатчик
- Робочий діапазон навантажень: до 50 кг
- Точність:  $\leq 0,01$  кг
- Основні характеристики драйвера НХ711:
- Тип АЦП: 24-бітний
- Напруга живлення: 2,7–5 В
- Частота дискретизації: 10 Гц/80 Гц
- Інтерфейс: двоканальний з підсиленням сигналу (32, 64 або 128)

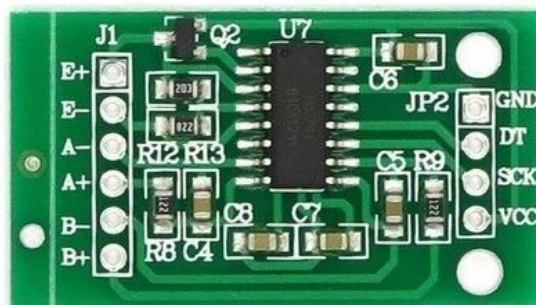


Рисунок 3.3 - Драйвер НХ711



Рисунок 3.4 - Тензодатчик

					МР.ПМКМ-30.00.00.000 ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		42

Кроковий двигун NEMA 17 із планетарним редуктором 19:1 (рисунок 2.17).

Основні характеристики двигуна:

- Тип двигуна: кроковий (біполярний)
- Кількість кроків: 200 ( $1,8^\circ$  на крок)
- Номінальний струм: 1,7 А
- Номінальна напруга: 12 В
- Максимальний момент: до 4,2 кг·см
- Основні характеристики редуктора:
- Тип: планетарний
- Передаточне співвідношення: 19:1
- Ефективність:  $\geq 90\%$
- Точність:  $\leq 0,1^\circ$

Поєднання двигуна та редуктора дозволяє забезпечити високий момент і точність роботи при великих навантаженнях.

Драйвер A4988.

Для керування кроковим двигуном використовується драйвер A4988. Цей модуль забезпечує точне керування двигуном завдяки мікрокроковій технології, що дозволяє реалізувати плавні рухи. A4988 обрано через його компактність, надійність і можливість інтеграції з Arduino Due. Драйвер підтримує регулювання струму, що забезпечує енергоефективність і запобігає перегріву двигуна.

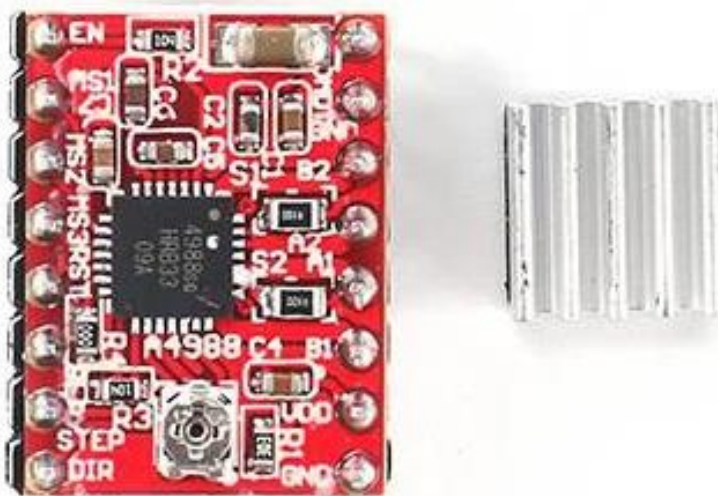


Рисунок 3.5 - Драйвер A4988

					MP.ПМКМ-30.00.00.000 ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		43

Основні характеристики драйвера:

- Робоча напруга: 8–35 В
- Максимальний струм двигуна: 2 А на фазу (з радіатором)
- Мікрокроковий режим: до 1/16 кроку
- Захист: від перегріву та перевантаження по струму

Обрана електроніка забезпечує точність і ефективність досліджень завдяки її технічним характеристикам, надійності та сумісності з Arduino Due. Елементи системи дозволяють обробляти, відображати та контролювати всі параметри експерименту, створюючи зручний і точний інструмент для дослідження властивостей скловолокна.

					MP.ПМКМ-30.00.00.000 ПЗ	Арк.
						44
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

## 3.2 Розробка системи керування на базі Arduino Due

### Опис роботи електроніки

Електроніка установки забезпечує інтерактивну та інтуїтивно зрозумілу роботу через сенсорний екран. Система має кілька станів роботи, які реалізовані за допомогою мікроконтролера Arduino Due та модуля сенсорного екрана 2.4" Uno Module.

#### Стан 1: Екран привітання

Після подачі живлення на екран виводиться повідомлення про привітання, яке відображається протягом 3 секунд. Цей стан використовується для підтвердження успішного запуску системи.

#### Стан 2: Головне меню

Після екрану привітання користувач потрапляє до головного меню, яке має дві інтерактивні кнопки:

- Перша кнопка – відкриває стан ручного управління двигуном (Стан 3).
- Друга кнопка – запускає автоматичний режим роботи установки для дослідження (Стан 4).

#### Стан 3: Ручне управління двигуном

У цьому стані користувач може:

- Керувати двигуном вручну через спеціальні сенсорні кнопки (наприклад, обертання в прямому чи зворотному напрямку).
- Повернутися до головного меню (Стан 2) натисканням на будь-яке місце екрану, крім кнопок керування.

#### Стан 4: Автоматичний режим дослідження

Цей стан є основною функцією установки. Під час роботи системи:

1. Обнулення даних тензодатчика – перед початком вимірювань Arduino Due встановлює початкове значення датчика на "0".
2. Збір даних і побудова графіка – дані з тензодатчика зчитуються в реальному часі, і на екрані будується графік сили натягу від часу.

					MP.ПМКМ-30.00.00.000 ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		45

3. Розтягування нитки – двигун розтягує зразок скловолокна до моменту його розриву.

Розпізнавання моменту розриву

Момент розриву визначається за різким коливанням даних тензодатчика та їхнім подальшим зниженням до нуля. У цей момент:

- Двигун зупиняється.
- Побудова графіка завершується, але графік залишається на екрані для подальшого аналізу.

Екстрена зупинка роботи в стані 4

Під час роботи двигуна та побудови графіка передбачена можливість екстреної зупинки:

- Натискання будь-де на екран зупиняє двигун і припиняє побудову графіка.
- Графік залишається на екрані для перегляду.

Повернення до головного меню з Стану 4

Ще одне натискання на екран у стані 4 повертає користувача до головного меню (Стан 2), залишаючи збережені результати.

Загальний опис роботи електроніки

Електроніка забезпечує точність управління, зручність використання та візуалізацію даних у режимі реального часу. Завдяки функціональним станам системи, користувач може легко переходити між режимами роботи, переміщати двигун вручну або запускати автоматичне дослідження матеріалів.

					МР.ПМКМ-30.00.00.000 ПЗ	Арк.
						46
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

### 3.3. Розробка електричної принципової схеми

Принципова схема електричної частини установки охоплює інтеграцію кількох ключових компонентів, що забезпечують ефективну взаємодію всіх елементів системи. В основі схеми лежить мікроконтролер Arduino Due, який відповідає за обробку даних і керування зовнішніми модулями. Мікроконтролер організовує передачу та обробку інформації, включаючи сигнали від сенсорів і управління механічними елементами через відповідні драйвери.

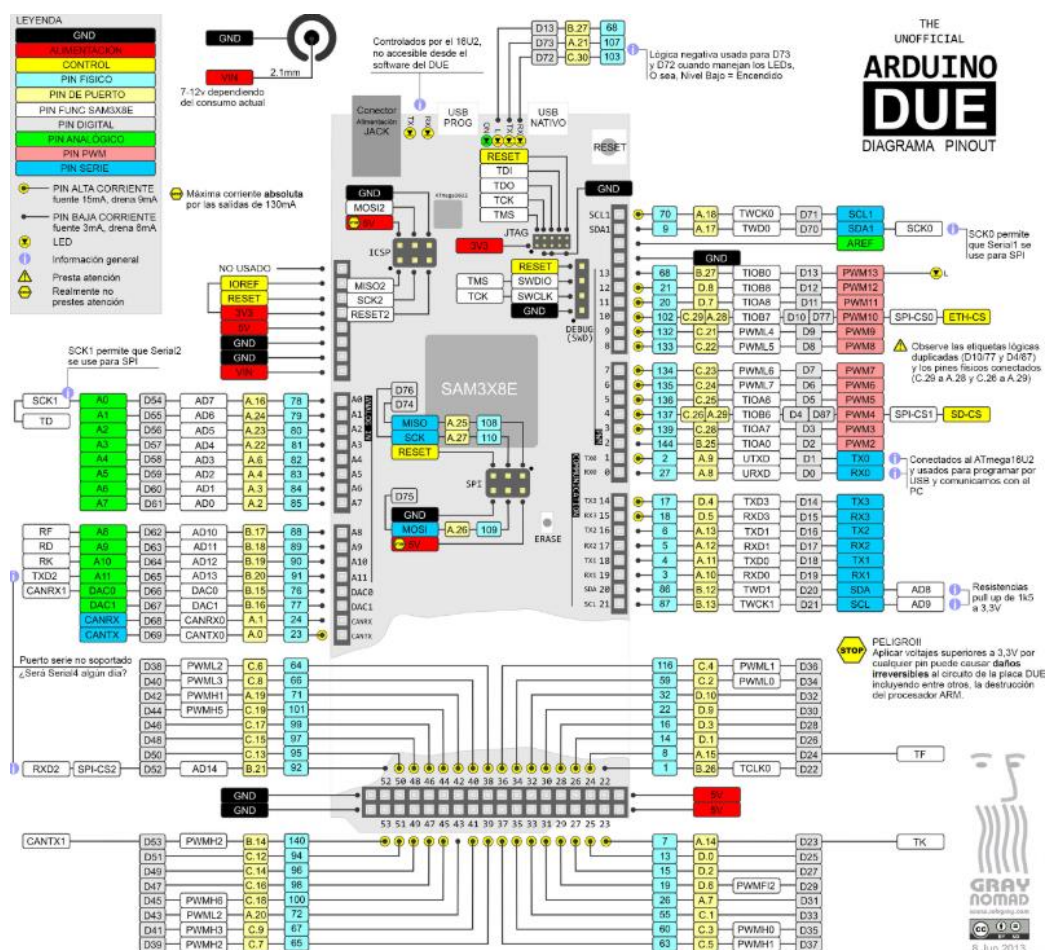


Рисунок 3.6 – Arduino due pinout [13]

Для забезпечення інтерфейсу користувача використовується сенсорний дисплей 2.4" Uno Module з контролером ILI9341 (TFT LCD 2.4" Touch screen shield), що підключається до Arduino Due як модуль. Це забезпечує високошвидкісну передачу даних та дозволяє користувачеві здійснювати інтерактивне управління системою, включаючи перегляд даних і налаштування параметрів роботи установки.

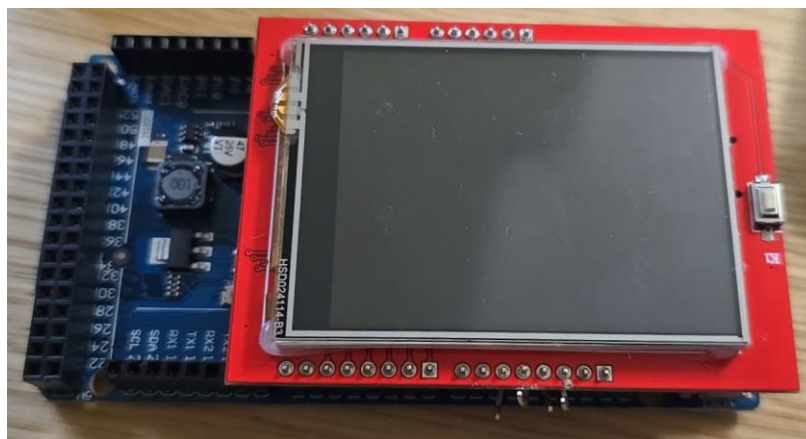


Рисунок 3.7 - TFT LCD 2.4 підключений до Arduino Due

В таблиці 2 вказана розпіновка підключення модуля TFT LCD 2.4 до Arduino Due.

Таблиця 2 – Розпіновка підключення модуля TFT LCD 2.4

Pin Name	Arduino Due Pin	Примітки
F_CS	A5	Чіп-вибір для сенсора
LCD_RST	A4	Скидання LCD
LCD_CS	A3	Чіп-вибір для LCD
LCD_RS	A2	Вибір регістру/даних
LCD_WR	A1	Лінія запису
LCD_RD	A0	Лінія читання
LCD_D0	D8	Дані
LCD_D1	D9	Дані
LCD_D2	D2	Дані
LCD_D3	D3	Дані
LCD_D4	D4	Дані
LCD_D5	D5	Дані
LCD_D6	D6	Дані
LCD_D7	D7	Дані
GND	GND	Земля
5V	5V	Живлення LCD
3.3V	3.3V	Живлення, обов'язкове для сенсорів

TFT LCD 2.4-дюймовий модуль має слот для SD-карти. Оскільки ми не використовуємо SD-карту, можна не підключати піни:

- SD\_SS (Slave Select) — для вибору конкретного пристрою в SPI-комунікації. Коли пін активний, SPI-інтерфейс буде спілкуватися з цим пристроєм.
- SD\_DI (Data In) — для передачі даних від мікроконтролера до SD-карти.
- SD\_DO (Data Out) — для отримання даних від SD-карти до мікроконтролера.
- SD\_SCK (Serial Clock) — для передачі тактового сигналу в SPI-комунікації.

Керування кроковим двигуном NEMA 17 здійснюється через драйвер A4988, який дозволяє точно контролювати рухи двигуна, регулюючи напрямок і швидкість обертання. Сигнали управління передаються від мікроконтролера до драйвера, який, в свою чергу, регулює рух крокового двигуна, забезпечуючи потрібну точність і енергетичну ефективність.

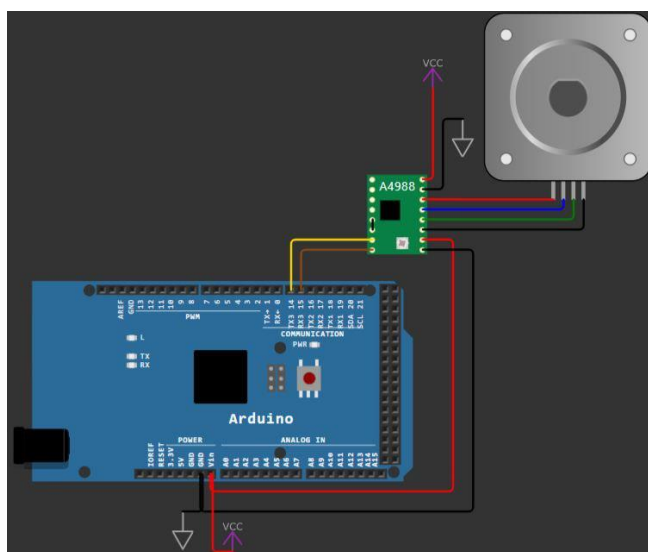


Рисунок 3.8 – Схема підключення мотору та драйвера A4988 до Arduino Due

В таблиці 3 наведено підключення пінів.

A+ і A- — це виводи першої фази (котушки) двигуна.

B+ і B- — це виводи другої фази (котушки) двигуна.

VMOT і GND (VMOT): підключаються до окремого джерела живлення для двигуна.

					MP.ПМКМ-30.00.00.000 ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		49

VDD і GND (логіка): підключаються до Arduino Due для живлення логіки драйвера.

STEP і DIR: використовуються для керування кроками та напрямком обертання двигуна.

MS1, MS2, MS3: можна підключити до GND або VDD, якщо використовується фіксований режим мікрокроків. Якщо потрібно динамічне перемикання режимів, підключіть їх до цифрових пінів.

RST і SLP: якщо не використовуються, їх можна підключити до VDD.

Таблиця 3 – Розпіновка підключення драйвера A4988 до Arduino Due

Pin Name	Arduino Due Pin	Примітки
VMOT	12V	Підключення до джерела живлення
GND (VMOT)	GND (VMOT)	Земля джерела живлення
2B	A-	До двигуна
2A	A+	До двигуна
1A	B+	До двигуна
1B	B-	До двигуна
GND (логіка)	GND	Земля для логіки
VDD	VIN	Живлення логічної частини
STEP	D14	Імпульси для здійснення кроків
DIR	D15	Вибір напрямку обертання двигуна

Для збору даних про механічні властивості матеріалу використовується тензодатчик в парі з драйвером HX711. Драйвер здійснює підсилення сигналу від датчика, після чого мікроконтролер Arduino Due отримує перетворену інформацію в цифровому вигляді, що дозволяє проводити вимірювання сили натягу.

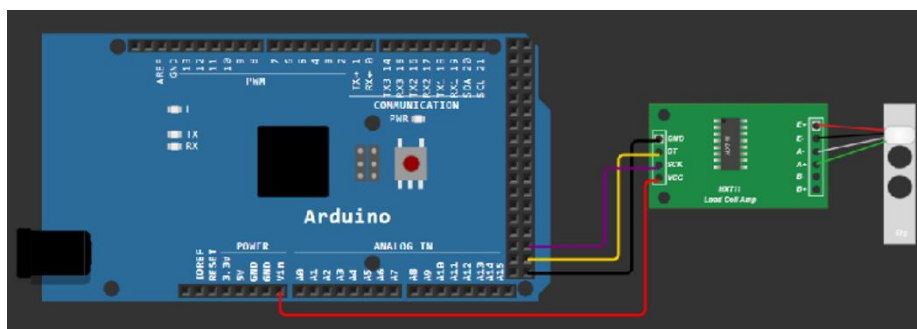


Рисунок 3.9 – Схема підключення тензодатчика та драйвера HX711 до Arduino Due

Таблиця 4 - Підключення тензодатчика до HX711

Пін HX711	Пін тензодатчика	Призначення
E+	Червоний	Живлення датчика (+)
E-	Чорний	Живлення датчика (-)
A+	Білий	Сигнал з першої котушки (+)
A-	Зелений	Сигнал з першої котушки (-)

Таблиця 5 - Підключення HX711 до Arduino Due

Пін HX711	Пін Arduino Due	Призначення
VCC	3.3V	Живлення модуля HX711
GND	GND	Земля
DT (Data)	D53	Лінія даних
SCK (Clock)	D51	Лінія синхронізації

### 3.4 Програмне забезпечення для керування установкою

Підключення бібліотек:

```
#include <Adafruit_GFX.h>    // Бібліотека для роботи з графікою на дисплеї
#include <Adafruit_ILI9341.h> // Бібліотека для роботи з TFT дисплеєм ILI9341
#include <HX711.h>           // Бібліотека для роботи з тензодатчиком HX711
```

Ініціалізація пінів

Тензодатчик через модуль HX711

Тензодатчик підключається до Arduino через модуль HX711 для зчитування даних. Модуль має два піни — DT (Data) і SCK (Clock). Для Arduino Due ці піни підключаються до пінів D53 і D51:

```
#define LOAD_CELL_DOUT_PIN 53 // Пін для даних тензодатчика (DT)
#define LOAD_CELL_SCK_PIN  51 // Пін для тактового сигналу тензодатчика (SCK)
```

Кроковий двигун через драйвер A4988

Для керування кроковим двигуном використовуються піни DIR (Direction) і STEP (Pulse). Піни для підключення драйвера двигуна до Arduino Due визначаються як D14 і D15:

```
#define DIR_PIN  14 // Пін для напрямку двигуна
#define STEP_PIN 15 // Пін для імпульсу двигуна
```

TFT LCD 2.4" дисплей

TFT LCD екран підключається до Arduino через піни для вибору чипа (CS), скидання (RST), і дані/команди (DC). Піни визначаються таким чином:

```
#define TFT_CS  10 // Пін для вибору чипа TFT
#define TFT_RST  9 // Пін для скидання TFT
#define TFT_DC   8 // Пін для даних/команд TFT
```

Підключення компонентів та ініціалізація. При запуску програми на Arduino Due ініціалізуються пінні та компоненти. У функції setup() встановлюються режими роботи пінів та ініціалізуються бібліотеки для дисплея та тензодатчика:

```
void setup() {  
    // Ініціалізація пінів для тензодатчика  
    pinMode(Load_CELL_DOUT_PIN, INPUT);  
    pinMode(Load_CELL_SCK_PIN, OUTPUT);  
  
    // Ініціалізація пінів для драйвера крокового двигуна  
    pinMode(DIR_PIN, OUTPUT);  
    pinMode(STEP_PIN, OUTPUT);  
  
    // Ініціалізація TFT дисплея  
    tft.begin();  
    tft.setRotation(3); // Встановлення орієнтації екрану  
    tft.fillScreen(ILI9341_WHITE); // Очищення екрану перед початком роботи  
}
```

Функції для управління та взаємодії

Зчитування даних з тензодатчика. Для зчитування даних використовується спеціальна функція, яка передає сигнали через пін SCK і зчитує дані через пін DT:

```
long readWeight() {  
    long weight = 0;  
    digitalWrite(Load_CELL_SCK_PIN, LOW); // Встановлення тактового сигналу на  
    низький рівень  
    weight = hx711.read(); // Зчитування даних  
    return weight;  
}
```

Виведення даних на дисплей

Дані з тензодатчика виведені на дисплей TFT за допомогою бібліотеки для роботи з TFT екраном:

```
void displayWeight(long weight) {
```

					МР.ПМКМ-30.00.00.000 ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		53

```
tft.setCursor(10, 10);
tft.setTextColor(ILI9341_BLACK);
tft.setTextSize(2);
tft.print("Weight: ");
tft.print(weight);
tft.println(" g");}
```

#### Управління кроковим двигуном

Для обертання двигуна створюється функція, яка подає імпульси на пін STEP та встановлює напрямок через пін DIR:

```
void moveMotor(int steps, bool direction) {
  digitalWrite(DIR_PIN, direction); // Встановлення напрямку обертання
  for (int i = 0; i < steps; i++) {
    digitalWrite(STEP_PIN, HIGH);
    delayMicroseconds(1000); // Час між імпульсами
    digitalWrite(STEP_PIN, LOW);
    delayMicroseconds(1000);
  }
}
```

#### Зчитування натискання на екран

Для обробки натискань на сенсорному TFT дисплеї використовується функція, яка зчитує координати натискання:

```
void checkTouch() {
  if (tft.touch()) {
    int x = tft.getTouchX();
    int y = tft.getTouchY();
    if (x > 50 && x < 150 && y > 50 && y < 150) {
      // Дії при натисканні на екран
    }
  }
}
```

## 4. РЕАЛІЗАЦІЯ УСТАНОВКИ

### 4.1. Підготовка компонентів механічної частини

Обробка профілю 30x60 мм (довжина 200 мм):

У профілі розміром 30x60 мм та довжиною 200 мм на фрезерному верстаті виконується вирізання отвору діаметром 36 мм, необхідного для монтажу крокового двигуна. Додатково свердляться отвори для гвинтів М3, які використовуються для фіксації двигуна до профіля. Технічні параметри фрезерування забезпечують необхідну точність для надійного закріплення механізмів.

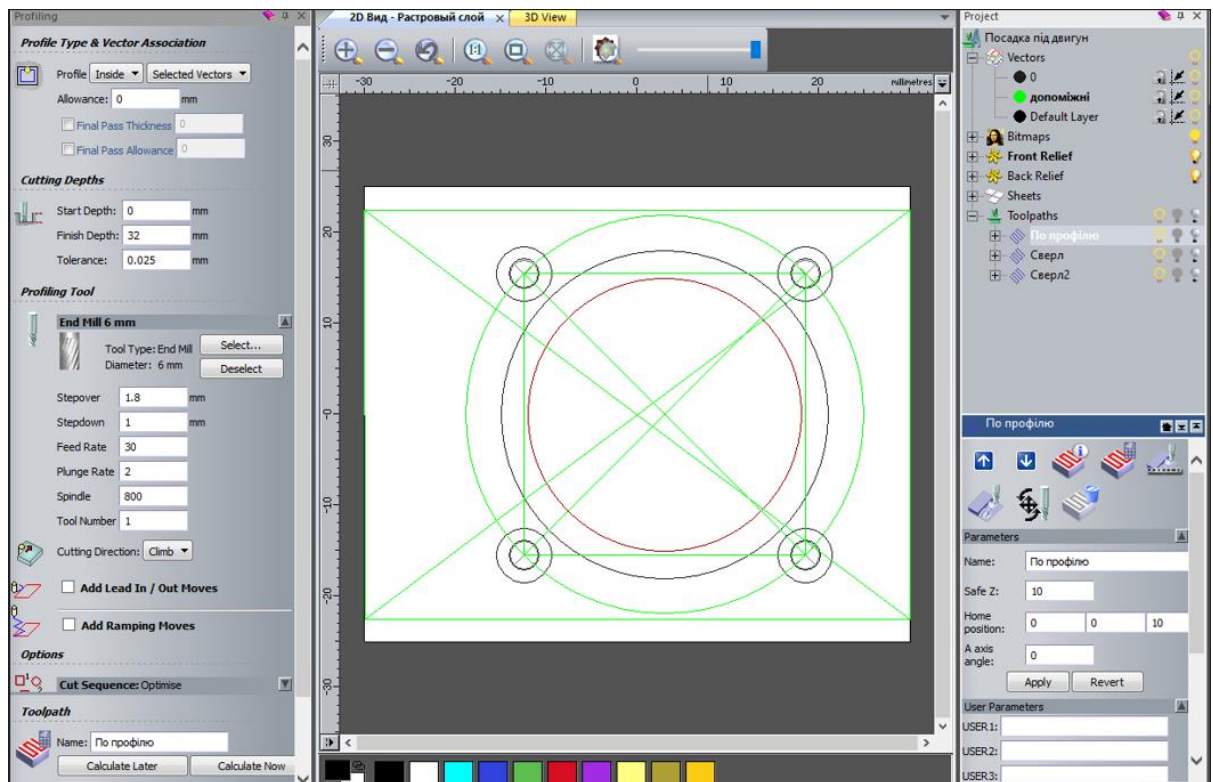


Рисунок 4.1 – Створення програми фрезерування профіля в ПЗ NC Studio

Обрані дані для фрезерування та свердління зображені на рисунках 4.1 та 4.2.

Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата

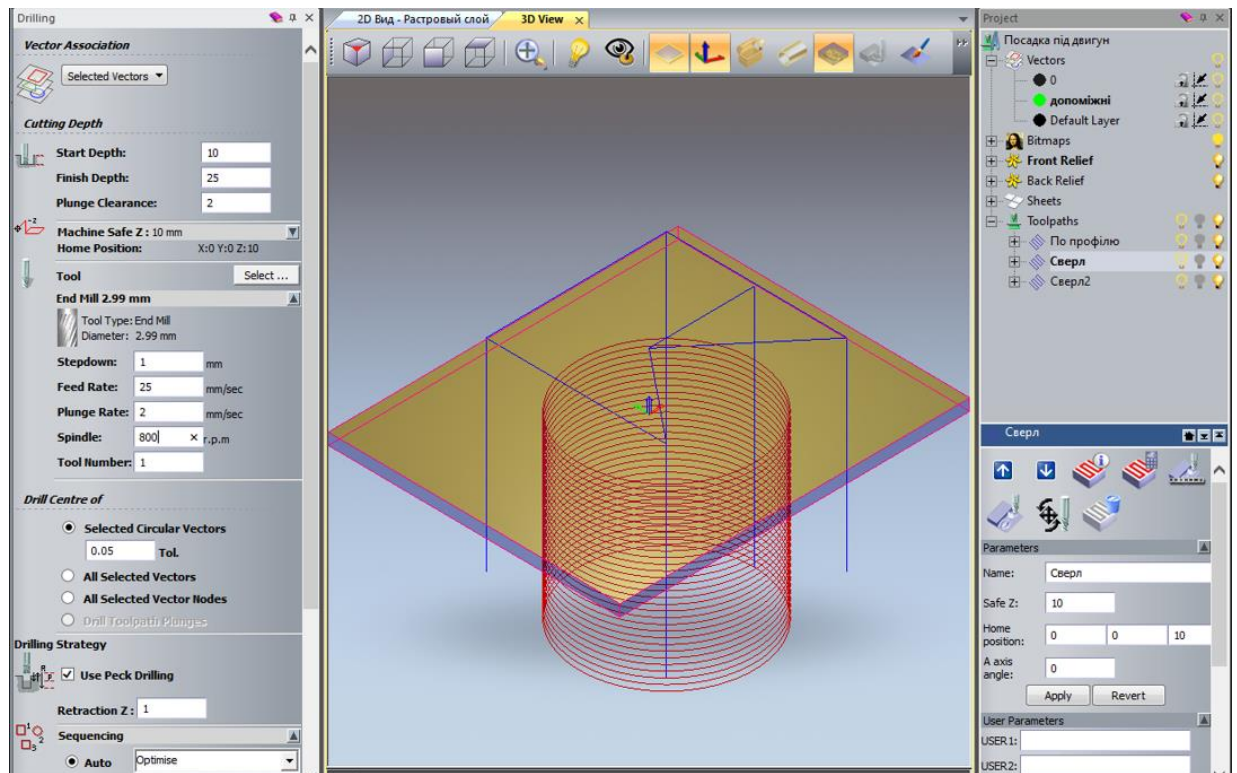


Рисунок 4.2 – Створення програми та свердління профіля в ПЗ NC Studio

Обробка двох профілів 30x60 мм (довжина 450 мм):

Для з'єднання профілів 30x60 мм довжиною по 450 мм передбачено виконання одного отвору діаметром 5 мм в кожному профілі. Ці отвори необхідні для установки шпильки М5, яка буде використовуватись для фіксації профіля 20x20 мм між двома основними профілями. Для забезпечення точності свердління використовується шаблон, виготовлений з відповідним отвором. Шаблон прижимається до профіля за допомогою струбцин, що гарантує точне розташування отворів та запобігає похибкам при обробці.

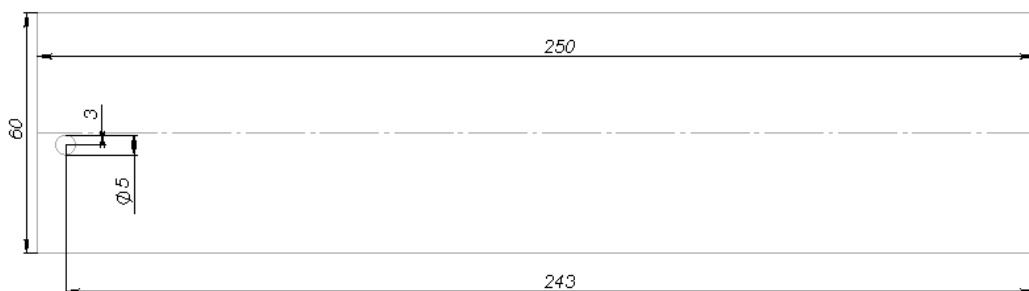


Рисунок 4.3 – Креслення шаблону

3D-друк деталей:

Для виготовлення кронштейнів та каретки використано 3D-принтер BambuLab X1 Carbon Combo, який працює за технологією FDM (пошарове плавлення пластику). Ця модель забезпечує багатоматеріальний друк, автоматичне калібрування та високу швидкість без втрати якості.

3D-моделі деталей були створені в CAD-програмі та збережені у форматі STEP для забезпечення точної передачі геометрії. Параметри друку, такі як товщина шару, швидкість і тип матеріалу, налаштовувалися у програмі Bambu Studio.



Рисунок 4.4 – 3Д принтер BambuLab X1 Carbon Combo

Обрізка напрямних:

Напрявні обрізається до необхідних розмірів (240 мм) згідно з розрахунковими даними, отриманими з 3D-моделей.

					MP.ПМКМ-30.00.00.000 ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		57

## 4.2. Підготовка компонентів електронної частини

Для забезпечення коректної роботи електронних компонентів системи проводиться калібрування та перевірка елементів.

Калібрування драйвера двигуна A4988.

Для оптимальної роботи крокового двигуна встановлюємо струм обмеження драйвера A4988, що забезпечить стабільну роботу двигуна та запобігатиме його перегріву.

Процедура калібрування:

Встановлюємо драйвер на макетну плату або плату керування, забезпечивши підключення до джерела живлення (8–35 В).

Підключаємо мультиметр у режимі вимірювання напруги до потенціометра ( $V_{ref}$ ) драйвера.

Розрахунок струму обмеження:

Струм обмеження  $I_{lim}$  розраховується за формулою:

$$I_{lim} = \frac{V_{ref}}{8R_S} \quad (4.1)$$

де  $R = 0.1$  Ом — значення опору шунтів.

Обертаємо потенціометр викруткою, змінюючи  $V_{ref}$  до досягнення необхідного значення струму обмеження.

Підключаємо кроковий двигун до драйвера та тестуємо його в різних режимах (швидкість, напрямок, мікрокроки).

Код для перевірки калібрування:

```
// defines pins
#define stepPin 14
#define dirPin 15

void setup() {
  // Sets the two pins as Outputs
  pinMode(stepPin,OUTPUT);
  pinMode(dirPin,OUTPUT);
```

```

}
void loop() {
  digitalWrite(dirPin,HIGH); // Enables the motor to move in a particular direction
  // Makes 200 pulses for making one full cycle rotation
  for(int x = 0; x < 1600; x++) {
    digitalWrite(stepPin,HIGH);
    delayMicroseconds(500); // by changing this time delay between the steps we can change the
rotation speed
    digitalWrite(stepPin,LOW);
    delayMicroseconds(500);
  }
  delay(1000); // One second delay

  digitalWrite(dirPin,LOW); //Changes the rotations direction
  // Makes 400 pulses for making two full cycle rotation
  for(int x = 0; x < 1600; x++) {
    digitalWrite(stepPin,HIGH);
    delayMicroseconds(500);
    digitalWrite(stepPin,LOW);
    delayMicroseconds(500);
  }
  delay(1000);
}

```

### Калібрування тензодатчика з драйвером НХ711

Калібруємо тензодатчик для отримання точних даних про навантаження. Калібрування включає визначення нульової точки та масштабного коефіцієнта.

Процедура калібрування:

З'єднуємо тензодатчик із драйвером НХ711, а останній — із мікроконтролером Arduino Due.

Ініціалізуємо драйвер НХ711 через програмне забезпечення.

Знімаємо покази за відсутності навантаження та встановлюємо їх як нульову точку.

					МР.ПМКМ-30.00.00.000 ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		59

Визначення масштабного коефіцієнта:

Наносимо на тензодатчик відоме навантаження.

Знімаємо покази та визначаємо масштабний коефіцієнт за формулою:

$$K = \frac{W}{V} \quad (4.2)$$

де  $W$  — відоме навантаження,  $V$  — відповідне значення напруги, отримане з НХ711.

Вносимо нульову точку та масштабний коефіцієнт у програмне забезпечення.

Код програми калібрування тензодатчика:

```
#include "HX711.h"

// Піни для підключення
const int loadCellDoutPin = 9; // Пін DT
const int loadCellSckPin = 8; // Пін SCK
HX711 scale;

long zeroOffset = 0; // Зміщення нульового значення
void setup() {
  Serial.begin(9600); // Ініціалізація серійного порту
  scale.begin(loadCellDoutPin, loadCellSckPin); // Ініціалізація HX711
  // Встановлення нового коефіцієнта масштабу
  scale.set_scale(670); // Новий коефіцієнт масштабу, розрахований раніше
  scale.tare(); // Встановлення початкової ваги в 0 (скидання)
  // Зчитування нульового значення для компенсації
  zeroOffset = scale.get_units(50); // Середнє значення за 10 зчитувань
  Serial.print("Нульове значення: ");
  Serial.println(zeroOffset);
  Serial.println("Калібрування завершено. Починаємо вимірювання...");
}

void loop() {
  long reading = 0;
  int readingsCount = 50; // Кількість зчитувань для середнього
  long filteredReading = 0; // Фільтроване значення
  // Виконуємо зчитування і додаємо їх до загальної суми для середнього
  for (int i = 0; i < readingsCount; i++) {
    reading += scale.get_units(1); // Окреме зчитування
```

					МР.ПМКМ-30.00.00.000 ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		60

```

}
filteredReading = reading / readingsCount; // Обчислення середнього
// Компенсація за нульове значення
long compensatedReading = filteredReading - zeroOffset;
// Виведення стабільного значення ваги
Serial.print("Вага: ");
Serial.print(compensatedReading, 1); // Виведення середнього значення з компенсацією
Serial.println(" г");
delay(1000); // Затримка між зчитуваннями
}

```

### Перевірка TFT LCD 2.4" модуля

Для перевірки працездатності модуля дисплея протестувати його функції відображення та сенсорного управління.

Підключення модуля описано в розділі 2.3.

Для тестування завантажуюємо до мікроконтролера тестовий скетч.

Тестовий код:

```

#include <Adafruit_GFX.h>    // Графічна бібліотека
#include <MCUFRIEND_kbv.h>  // Бібліотека для роботи з дисплеєм
#include <TouchScreen.h>    // Бібліотека для сенсора
// Підключення пінів (налаштуйте під свій екран)
#define YP A1 // Пін для сенсора (Y+)
#define XM A2 // Пін для сенсора (X-)
#define YM 7  // Пін для сенсора (Y-)
#define XP 6  // Пін для сенсора (X+)
// Налаштування резистивного сенсора
#define TS_MINX 150 // Мінімальне значення по X
#define TS_MAXX 920 // Максимальне значення по X
#define TS_MINY 120 // Мінімальне значення по Y
#define TS_MAXY 900 // Максимальне значення по Y
// Чутливість сенсора (підлаштуйте при необхідності)
TouchScreen ts = TouchScreen(XP, YP, XM, YM, 300);
// Ініціалізація дисплея

```

					<b>МР.ПМКМ-30.00.00.000 ПЗ</b>	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		61

```

MCUFRIEND_kbv tft;

void setup() {
  Serial.begin(9600);
  tft.reset();
  uint16_t ID = tft.readID(); // Читаємо ID контролера
  tft.begin(ID);
  // Початковий екран
  tft.fillScreen(0xFFFF); // Білий фон
  tft.setTextColor(0x0000); // Чорний текст
  tft.setTextSize(2);
  tft.setCursor(20, 20);
  tft.print("Touch the screen");
}

void loop() {
  TSPoint p = ts.getPoint();
  // Перевіряємо, чи є натискання
  if (p.z > 10 && p.z < 1000) { // z - чутливість сенсора (рівень натискання)
    // Конвертуємо координати до екранних
    int x = map(p.x, TS_MINX, TS_MAXX, 0, tft.width());
    int y = map(p.y, TS_MINY, TS_MAXY, 0, tft.height());
    // Виводимо координати на серійний монітор
    Serial.print("X = ");
    Serial.print(x);
    Serial.print(", Y = ");
    Serial.println(y);
    // Малюємо точку на екрані
    tft.fillCircle(x, y, 3, 0xF800); // Червона точка
    delay(100); // Затримка для стабільності
  }
}

```

Натискаючи на екран виводяться координати натискання, а на дисплеї з'являються червоні точки в місцях дотику.

					МР.ПМКМ-30.00.00.000 ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		62

### 4.3. Збірка механічної та електронної частин установки

Механічна частина збирання починається зі з'єднання профілів 30x60. Перед з'єднанням у пази профілів вставляються необхідні для кріплення гвинти та гайки. Профілі скріплюються кронштейнами, забезпечуючи надійність конструкції.



Рисунок 4.5 - З'єднання профілів 30x60

Далі профіль 20x20 з'єднується з профілями 30x60 за допомогою шпильки М5, яка проходить через підготовлені отвори. Кріплення фіксується гайками, а для підвищення жорсткості конструкції використовуються додаткові кронштейни. Після завершення цих етапів каркас установки є повністю зібраним.

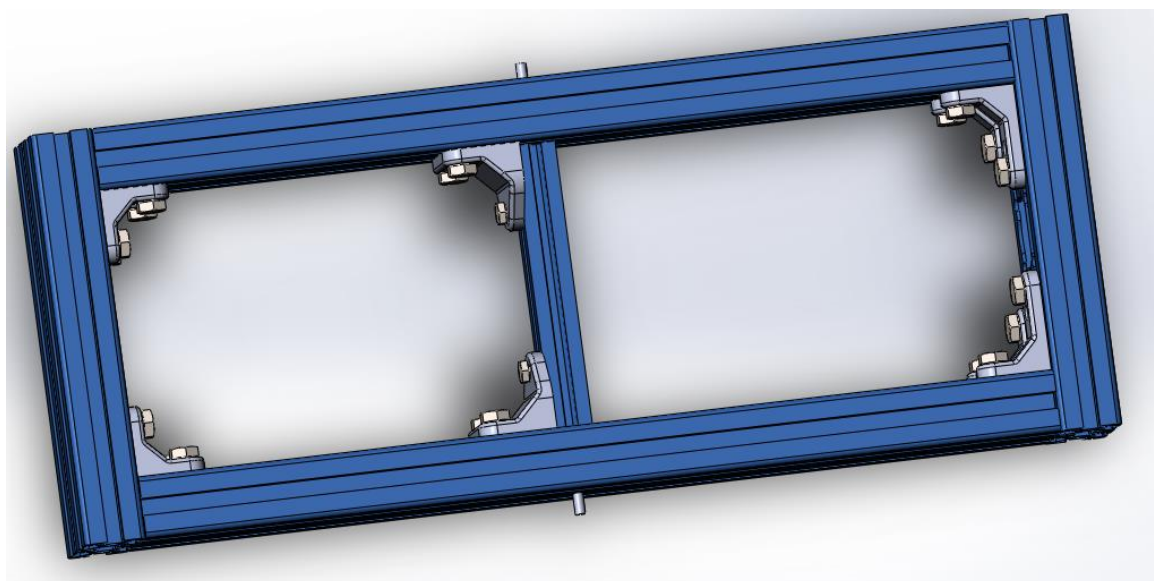


Рисунок 4.6 - З'єднання профілю 20x20 з профілями 30x60

					МР.ПМКМ-30.00.00.000 ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		63

Окремо виконується складання рухомого механізму. Спочатку збирається ходовий гвинт із гайкою: ходова гайка закріплюється до каретки за допомогою шпильок М3, а в каретку встановлюються лінійні підшипники. Напрямні вали вставляються у відповідні пази каретки, перевіряється плавність їхнього руху.

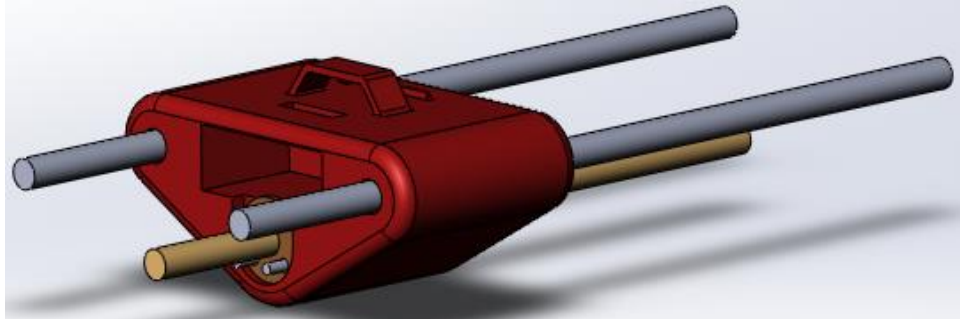


Рисунок 4.6 – з'єднання каретки з підшипниками, напрямними валами, ходовою гайкою та гвинтом

Зібраний механізм монтується на каркас, де напрямні вали фіксуються у кронштейнах, а на ходовий гвинт кріпиться фланцевий підшипник та закріплюється на профілі 20x20 для забезпечення обертання ходового гвинта.

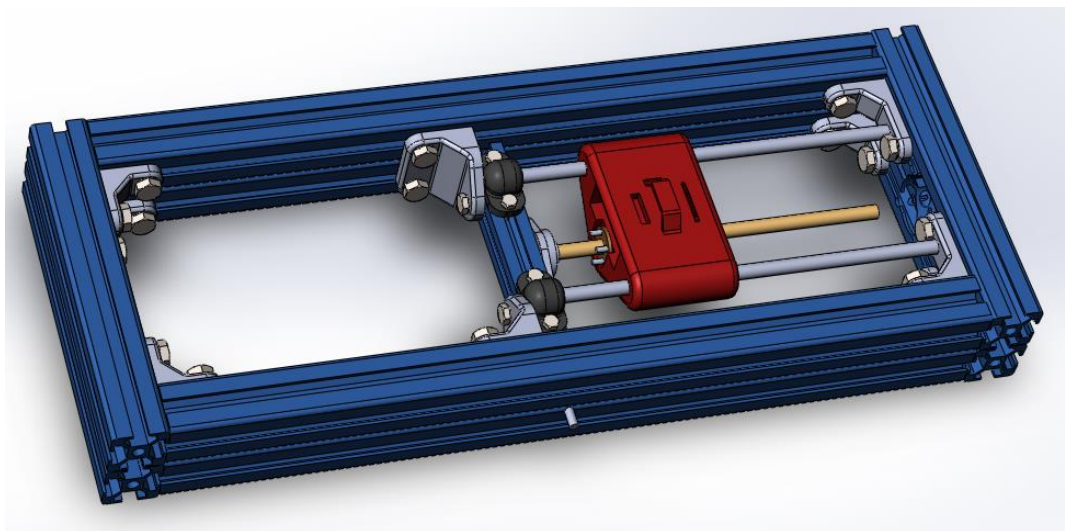


Рисунок 4.7 – З'єднання механізму з каркасом

Наступним етапом є кріплення двигуна. До валу двигуна встановлюється муфта, яка з'єднує його з ходовим гвинтом. Двигун фіксується на профілі 30x60, використовуючи раніше виконані отвори, після чого вал двигуна та ходовий гвинт з'єднуються муфтою для передачі обертального моменту.

					МР.ПМКМ-30.00.00.000 ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		64

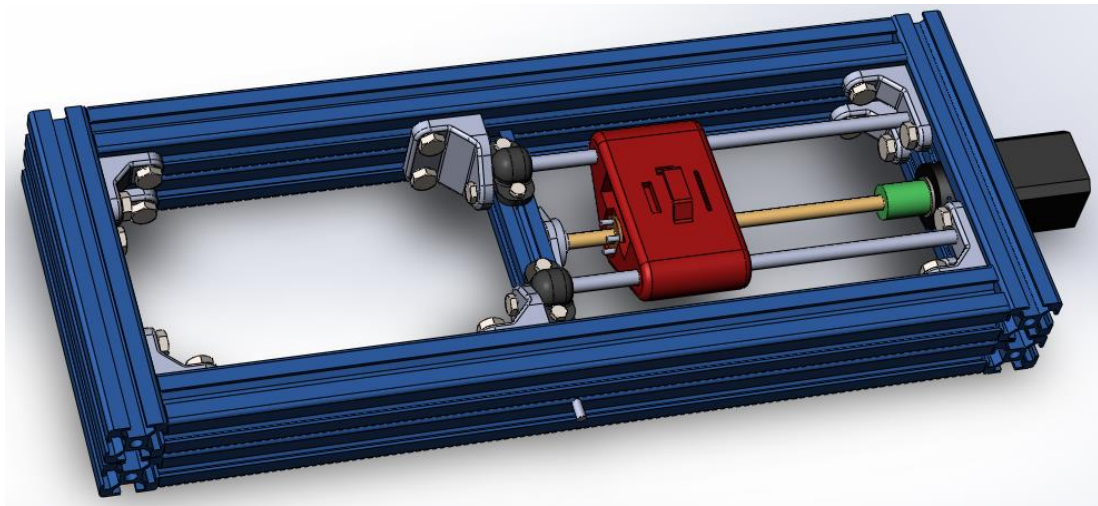


Рисунок 4.8 – Кріплення двигуна

На завершення виконується монтаж тензодатчика. Драйвер тензодатчика встановлюється на каретку, провідники тензодатчика проводяться через отвір всередині каретки назовні для подальшого підключення до датчика. Провідники припаюються до драйвера тензодатчика, після чого сам датчик фіксується на каретці у заздалегідь підготовленому місці. Кріпимо карабін до кільця датчика та закріплюємо рим болт М8 до профілю 30х60.

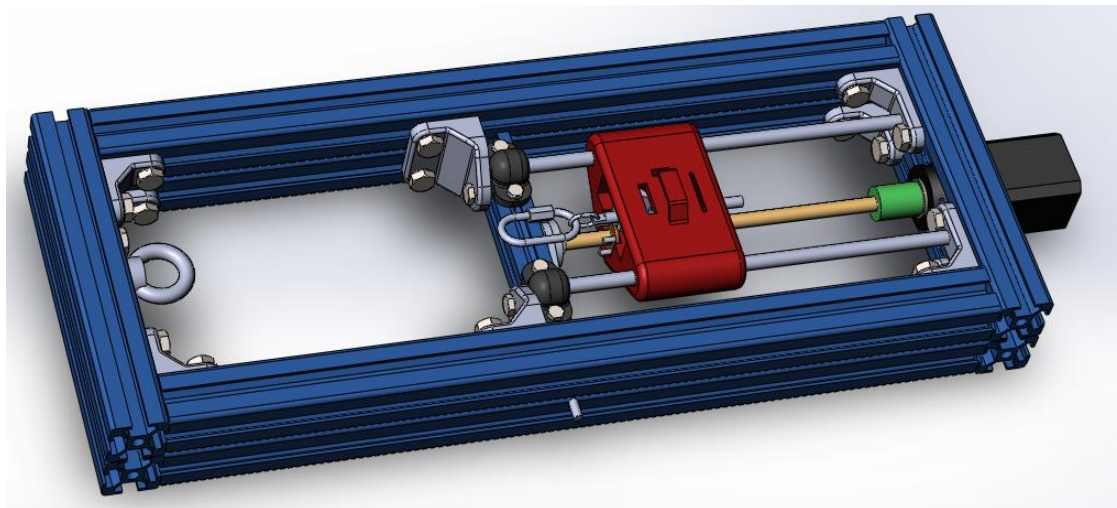


Рисунок 4.9 – закріплення тензодатчика та засобів кріплення скловолокна

Далі здійснюється оснащення установки електронними компонентами.

					МР.ПМКМ-30.00.00.000 ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		65

## ВИСНОВКИ

У ході виконання роботи було досягнуто поставлену мету — розроблено економічну та просту у використанні установку для визначення розривної міцності скляного волокна.

На основі аналізу літературних джерел та існуючих методів дослідження систематизовано властивості скляного волокна й визначено ключові вимоги до тестування його розривної міцності. Проведено огляд наявного обладнання, проаналізовано їх переваги та недоліки, що стало основою для формулювання технічного завдання.

Розроблено принципову схему механічної та електронної частин установки. Здійснено вибір конструктивних матеріалів і компонентів з урахуванням їх функціональності, надійності та економічної доцільності. Створення 3D-моделі установки забезпечило оптимальну точність у розрахунках та підготовці до виготовлення.

Реалізовано механічну частину установки, проведено калібрування драйверів двигунів, тензодатчика та перевірку працездатності TFT-дисплея. Оснащення установки електронними компонентами забезпечило інтеграцію з програмним забезпеченням для автоматизації процесу вимірювань.

Розроблене програмне забезпечення на базі мікроконтролера Arduino Due забезпечує зчитування даних із тензодатчика, виведення інформації на TFT-дисплей, а також управління кроковим двигуном для точного позиціонування зразків.

У порівнянні з комерційними аналогами, розроблена установка характеризується значно нижчою собівартістю, водночас її функціональні можливості не поступаються дорогим промисловим рішенням. Конструкція установки дозволяє легко адаптувати її для тестування інших типів матеріалів із подібними властивостями, що розширює сферу її застосування.

Установка має потенціал для подальшого вдосконалення. Зокрема, можливе додавання функцій автоматизованого зберігання та передачі даних через інтерфейси

					MP.ПМКМ-30.00.00.000 ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		66

Wi-Fi або Bluetooth, що підвищить зручність її використання. Також передбачено можливість інтеграції додаткових датчиків для більш детальних досліджень.

Використання доступних та недорогих компонентів у конструкції сприяє зменшенню екологічного впливу завдяки мінімізації витрат ресурсів на виготовлення обладнання.

Наукова новизна роботи полягає у створенні економічної установки, яка поєднує високу точність вимірювань із мінімальними витратами на її реалізацію.

Практичне значення розробки полягає у можливості використання установки в освітніх і промислових цілях для дослідження механічних властивостей матеріалів. Запропонована конструкція дозволяє знизити витрати на тестування та розширити доступність випробувань для невеликих лабораторій.

Таким чином, результати роботи підтверджують ефективність розробленої методики та обладнання, що може знайти широке застосування у науково-дослідній, освітній та виробничій діяльності.

					МР.ПМКМ-30.00.00.000 ПЗ	Арк.
						67
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

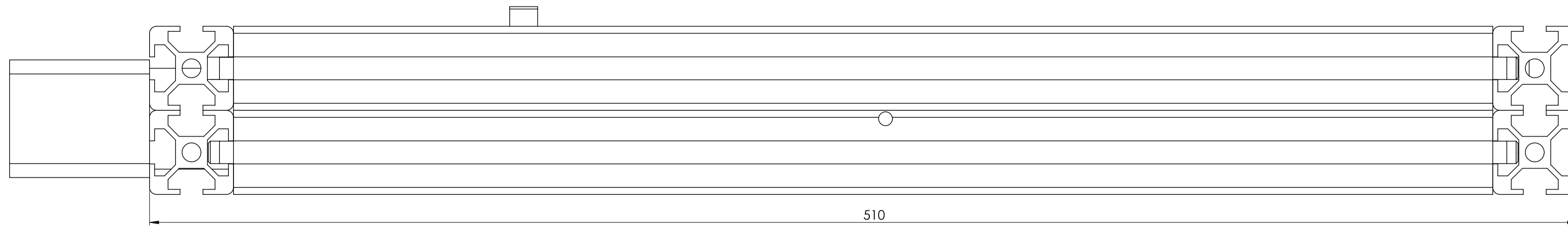
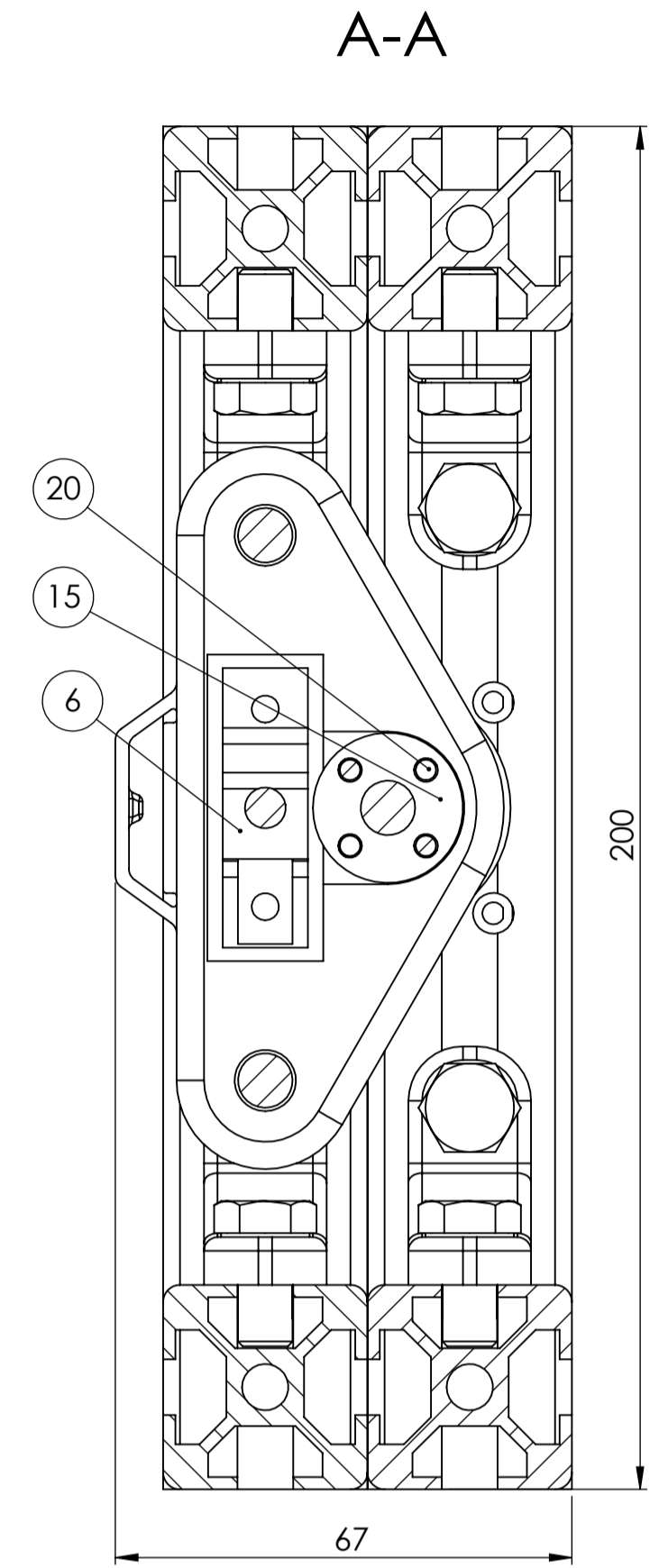
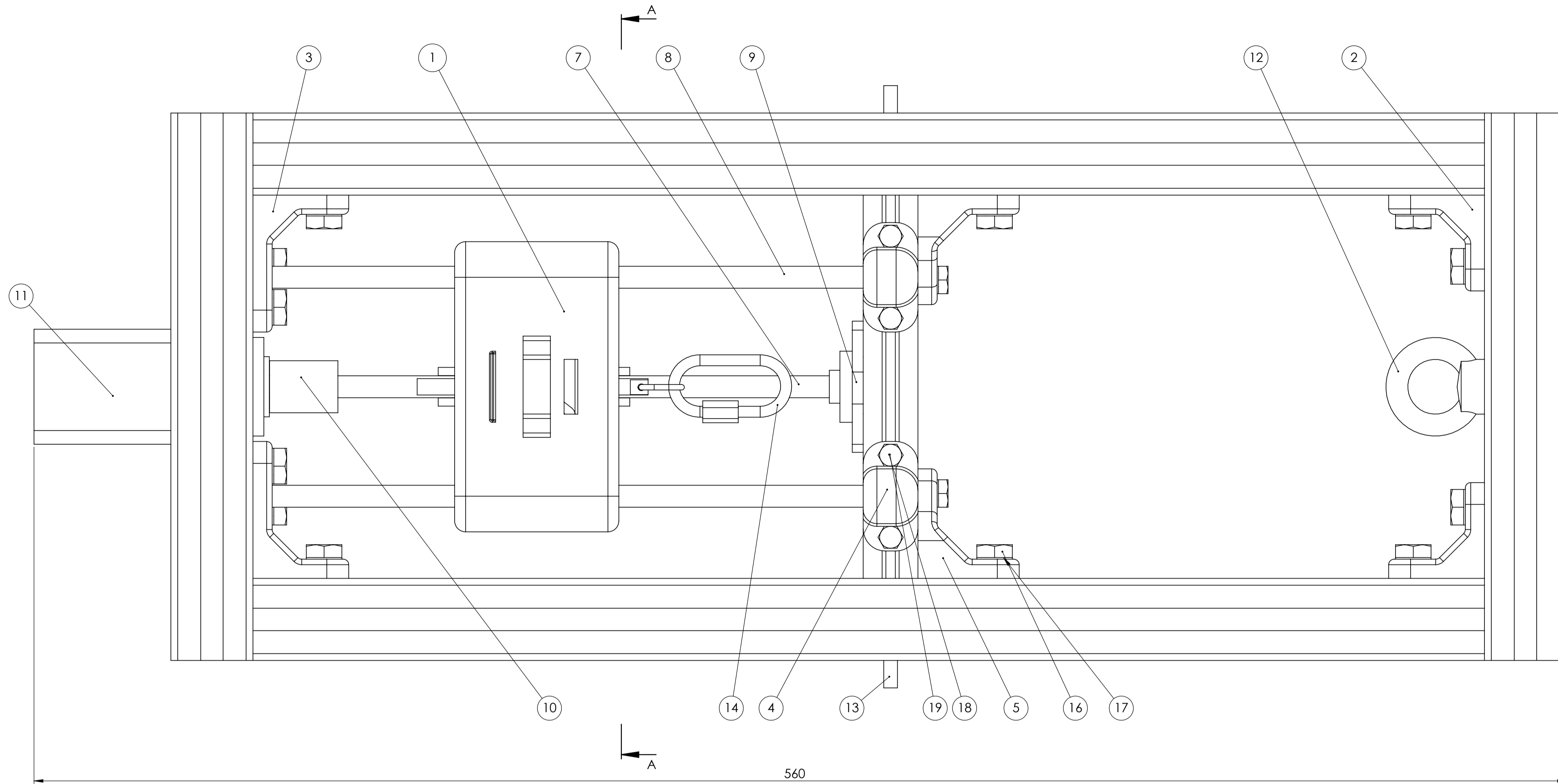
## СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Скловолокно [Електронний ресурс] // Вікіпедія: вільна енциклопедія. URL: <https://uk.wikipedia.org/wiki/Скловолокно>
2. NoiseD. Файл: Glasfaser Roving.jpg [Графічний матеріал]. Ліцензія: CC BY-SA 3.0. URL: <https://commons.wikimedia.org/w/index.php?curid=3323172>
3. Khan R. A. Thermo-Mechanical Properties and Applications of Glass Fiber Reinforced Polymer Composites [Електронний ресурс] // Modern Concepts in Material Science. – 2023. – Т. 5, № 614. – ISSN 2692-5397. – DOI: 10.33552/MCMS.2023.05.000614. – URL: <https://irispublishers.com/mcms/pdf/MCMS.MS.ID.000614.pdf>
4. Основні характеристики скловолокна [Електронний ресурс]. Hil Technology. URL: <https://ua.hil-technology.com/info/the-main-characteristics-of-glass-fiber-78908522.html>
5. Adore Fiber Base – база зі скловолокном для зміцнення нігтів [Електронний ресурс]. AmoreShop. URL: <https://amoreshop.com.ua/ua/adore-fiber-base-baza-zi-sklovoloknom-dlya-ukriplennya-oslablenyh-nihtiv-7-5-ml/>
6. Blob. [Графічний матеріал]. – URL: <blob:chrome-untrusted://image-magnify/cbd01a2c-4814-4af0-99d4-460da0a90ebc>
7. Instron 3300 Series Universal Testing Systems [Електронний ресурс]. Instron Corp. URL: <https://cdn.vendop.com/media/vendor-documents/instron-corp/instron-3300-series-brochurepdf>
8. Material Testing Machine zwickiLine Z2.5 [Електронний ресурс]. ZwickRoell. URL: [https://www.zwickroell.com/fileadmin/content/Files/SharePoint/user\\_upload/PI\\_EN/02\\_595\\_Material\\_Testing\\_Machine\\_zwickiLine\\_Z2.5\\_TN\\_\\_PI\\_EN.pdf](https://www.zwickroell.com/fileadmin/content/Files/SharePoint/user_upload/PI_EN/02_595_Material_Testing_Machine_zwickiLine_Z2.5_TN__PI_EN.pdf)
9. AGS-X Series Dynamometers [Електронний ресурс]. New Project S.R.L. URL: [https://www.newprojectsrl.com/allegati/BR\\_AMS\\_Dinamometri\\_AGS-X-Series\\_21.pdf](https://www.newprojectsrl.com/allegati/BR_AMS_Dinamometri_AGS-X-Series_21.pdf)

					MP.ПМКМ-30.00.00.000 ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		68

10. Testing Machine ST1-5-1 [Графічний матеріал]. Cromocol AB. URL: <https://cromocol.se/wp-content/uploads/2019/09/ST1-5-1.jpg>
11. Tinius Olsen Electromechanical Tensile Tester Model 5 ST [Електронний ресурс]. Elastocon AB. URL: <https://www.elastocon.se/images/pdf/tinius-olsen/tinius-olsen-electromechanical-tensile-tester-model-5-st.pdf>
12. Онлайн-симулятор Arduino [Електронний ресурс]. Wokwi. URL: <https://wokwi.com/>
13. Схема виводів Arduino Due [Графічний матеріал]. Fantasy Studios. URL: <https://www.fantasystudios.es/arduino/images/arduinos/du/Due-pinout-A4-spanish-grande.jpg>
14. Arduino Official Site [Електронний ресурс]. URL: <https://www.arduino.cc/>
15. Instron 3300 Series Universal Testing Systems. [Графічний матеріал]. – URL: [https://th.bing.com/th/id/R.2b99a421f11af098c90b6ce00721b1bc?rik=J7nZZWuK%2fWNWYQ&riu=http%3a%2f%2fwww.instron.us%2f%2fmedia%2fimages%2finstron%2fcatalog%2fproducts%2ftesting-systems%2funiversal-testing-systems%2f3300-universal%2f3300-series-universal-testing-systems-up-to-50-kn-thumbnail.jpg%3fsc\\_lang%3den-us&ehk=1ZerfweRYhGCn0JV1T2aJ0frdhdsW3nosB96YRzHak%3d&risl=&pid=Imgraw&r=0](https://th.bing.com/th/id/R.2b99a421f11af098c90b6ce00721b1bc?rik=J7nZZWuK%2fWNWYQ&riu=http%3a%2f%2fwww.instron.us%2f%2fmedia%2fimages%2finstron%2fcatalog%2fproducts%2ftesting-systems%2funiversal-testing-systems%2f3300-universal%2f3300-series-universal-testing-systems-up-to-50-kn-thumbnail.jpg%3fsc_lang%3den-us&ehk=1ZerfweRYhGCn0JV1T2aJ0frdhdsW3nosB96YRzHak%3d&risl=&pid=Imgraw&r=0)
16. Zwick-Roell Zwicki 2.5 kN Testing Machine. [Графічний матеріал]. – URL: <https://hmondscientific.com/wp-content/uploads/2024/11/Zwick-Roell-2.5-kN-zwicki-4.png>

					МР.ПМКМ-30.00.00.000 ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		69

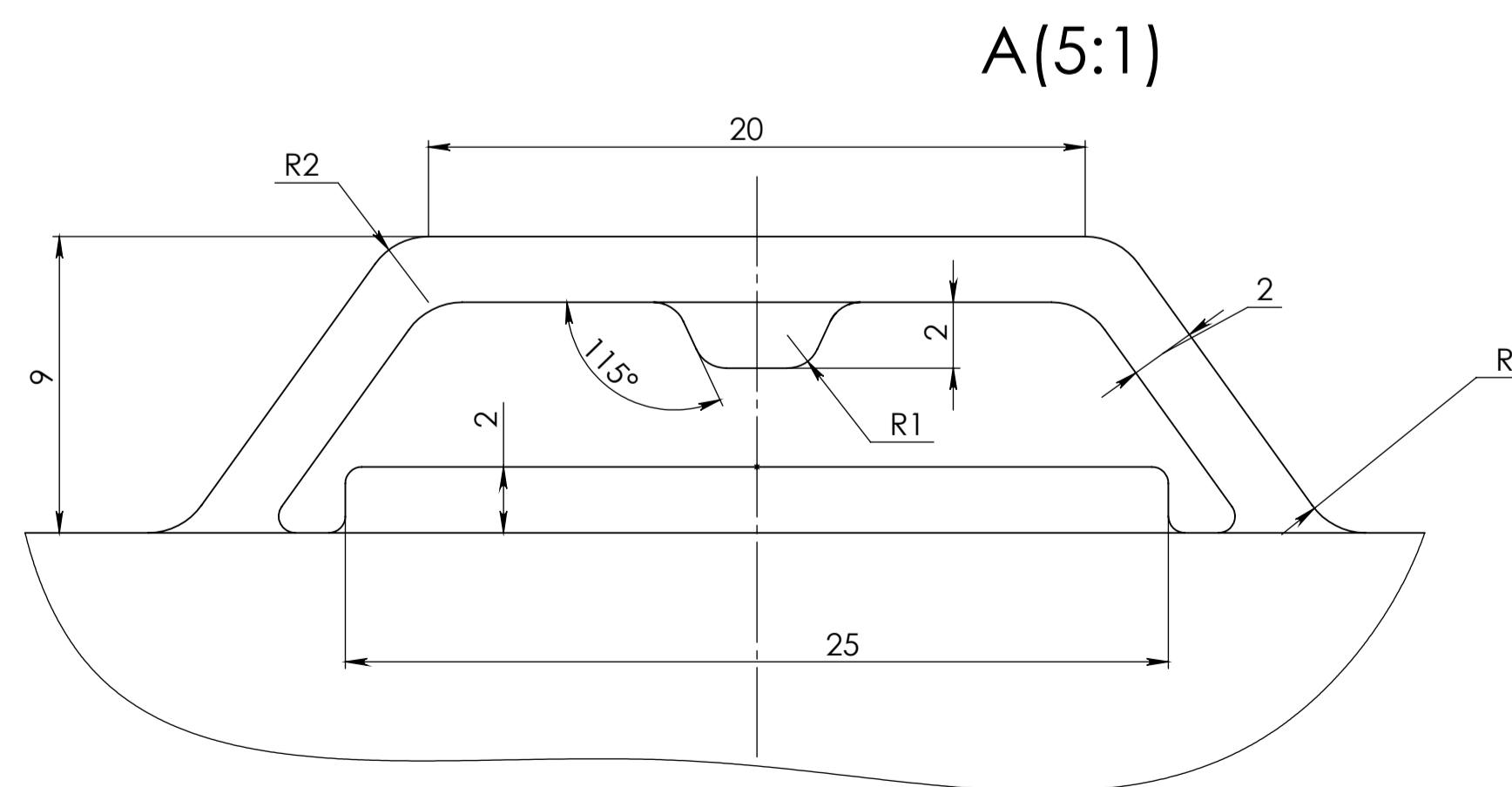
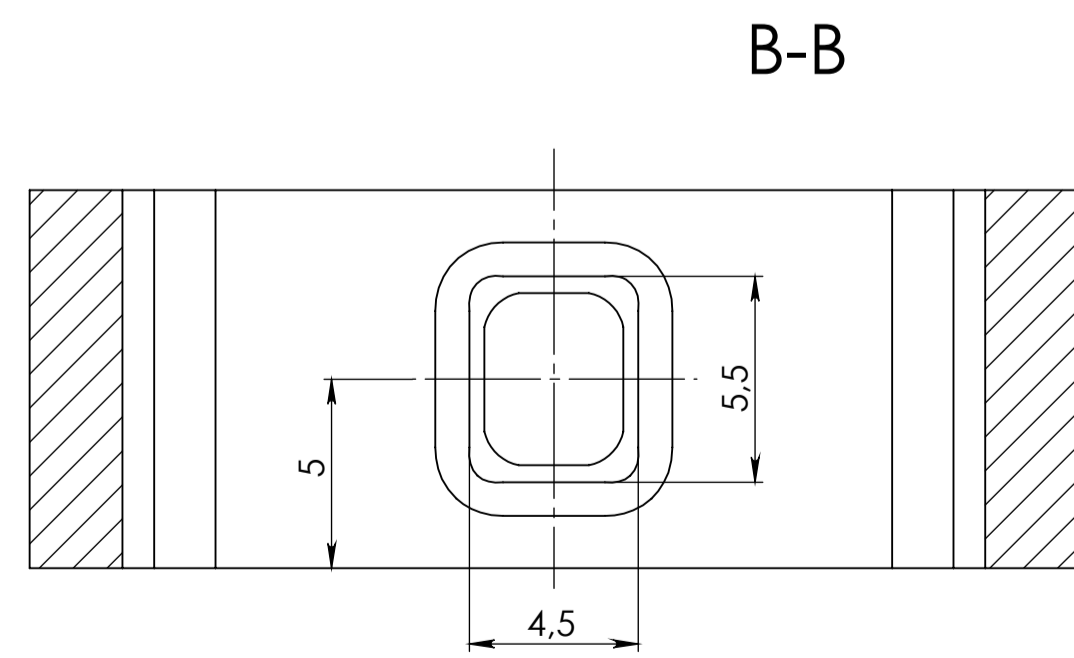
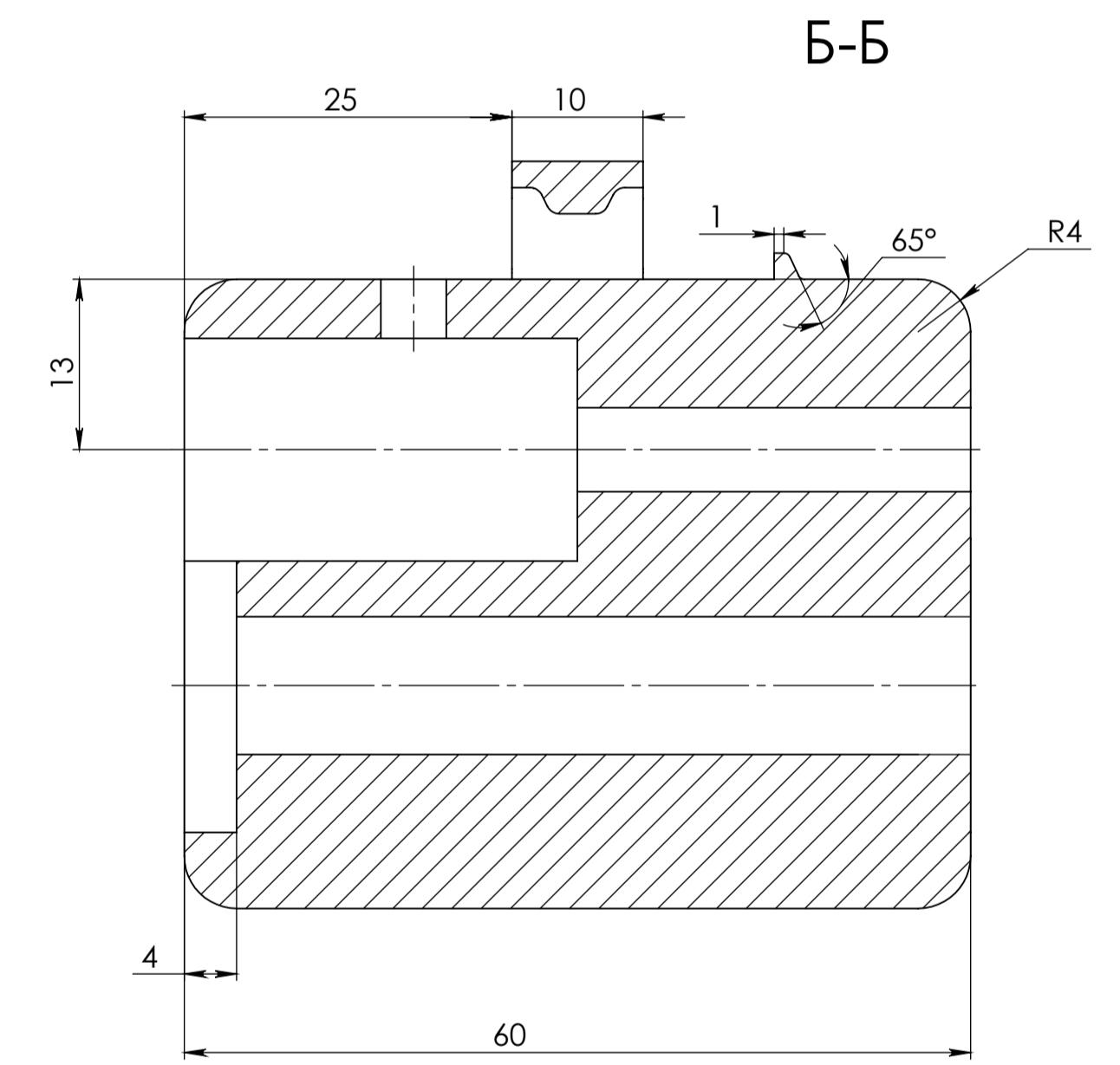
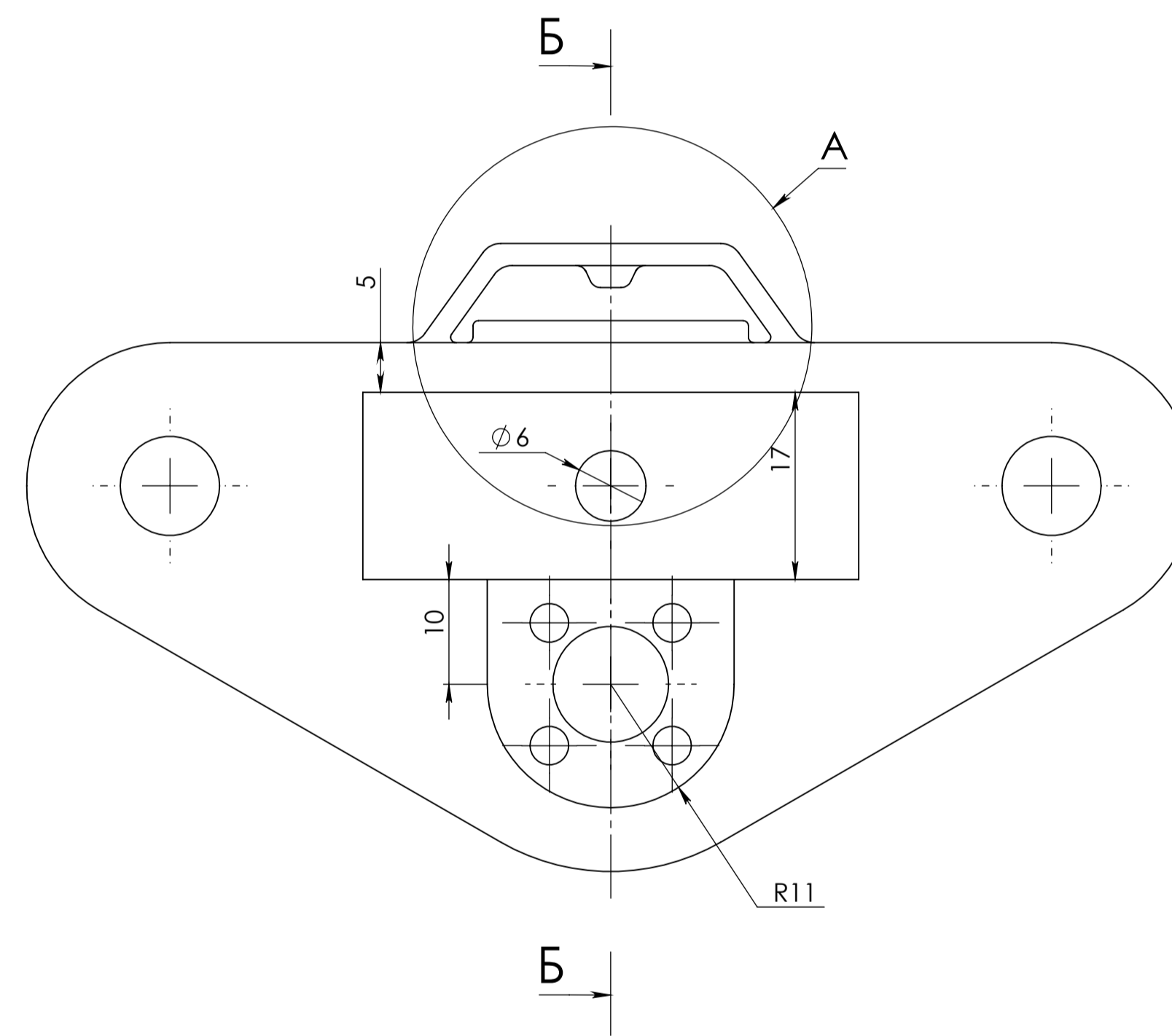
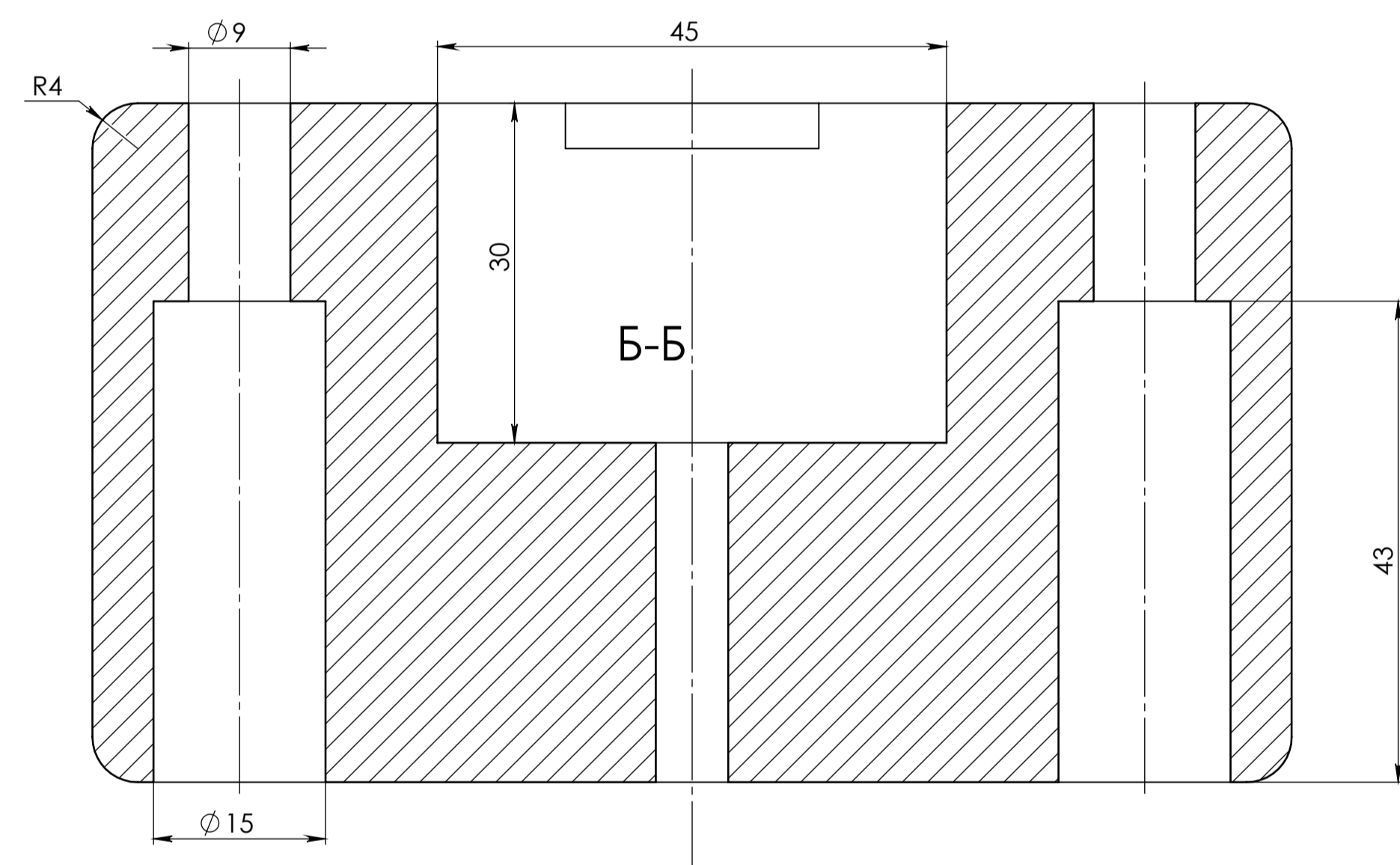
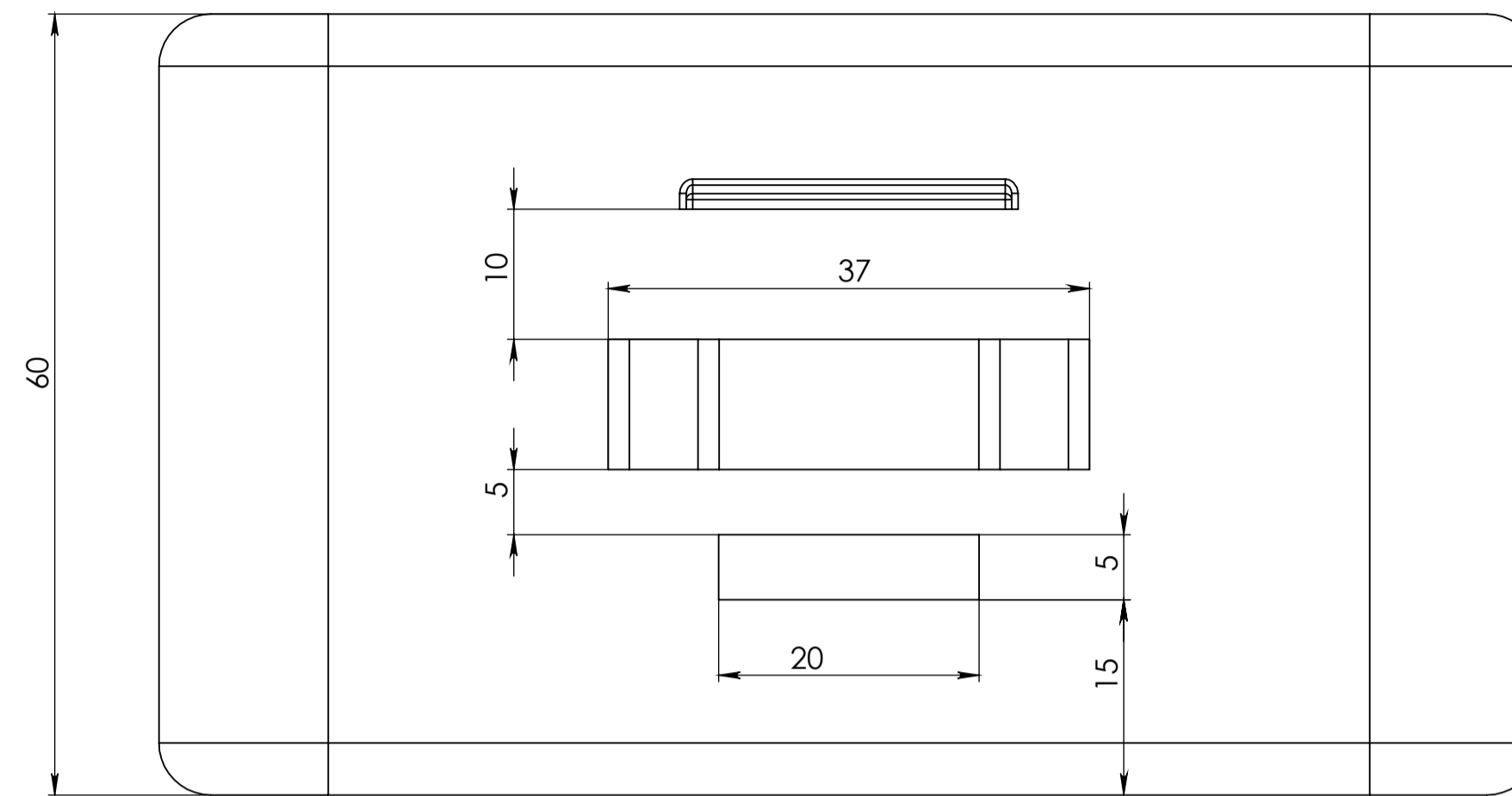
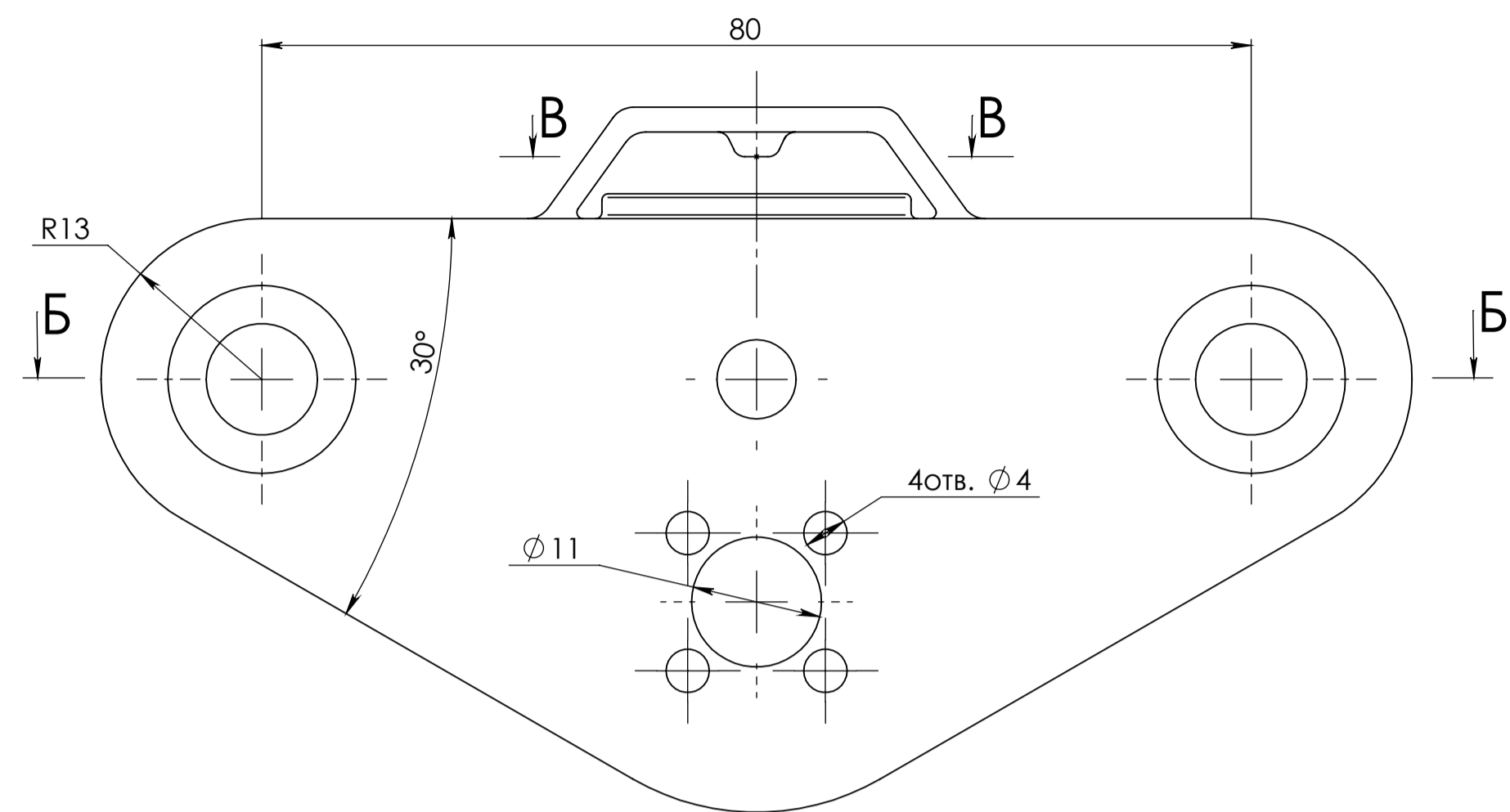


				<b>МЛ.ПМКм-30.00.000 СК</b>			
Эм. Арк.	№ докум.	Підп.	Дата	<b>Розривна машина</b>	Літ.	Маса	Масштаб
Розроб.	Кобильська І.В.					1475.46	1:1
Перев.	Шуляр Б. Р.			Аркуш 1	Аркушів		
Т.контр.				ПМКм-23-1			
Нач. КБ				ІФНТУНГ			
Н.контр.							
Утв.							
Сборка1				Копіював			Формат А1

Перв. застосує.

Довід. №

Інв. № орг. Підпис та дата Взам. інв. № дубл. Підпис та дата



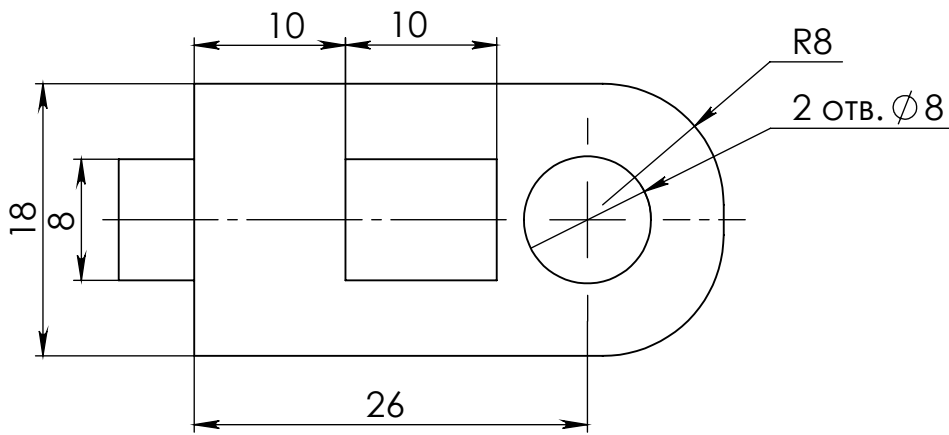
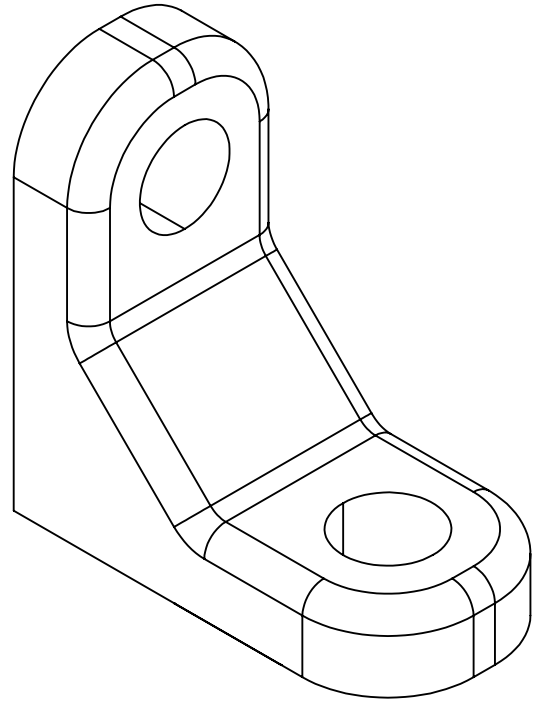
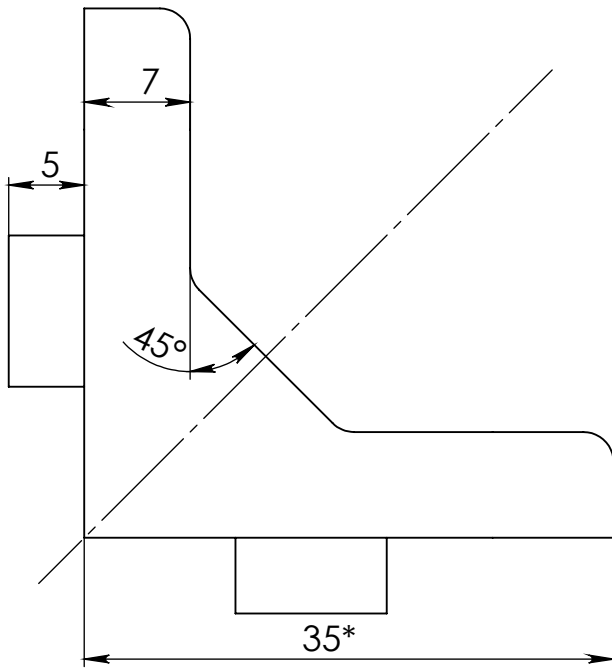
1. Всі неказані скруглення R0.5...R1 мм.

				<b>МП.ПМКм-30.00.001</b>		
				<b>Каретка</b>		
				PLA ДСТУ 1212-12		
				Формат А1		
Зм. Арк.	№ докум.	Підп.	Дата	Літ.	Маса	Масштаб
Розроб.	Кобиланська І.В.					2:1
Перев.	Шуляр Б. Р.			Аркуш	Аркушів	
Т.контр.				ПМКм-23-1		
Нач. КБ				ІФНТУНГ		
Н.контр.						
Утв.						
Каретка				Копіював		

МП.ПМКМ-30.00.002

Перв. застосує.

Довід. №



- \* - розміри для довідки
- Всі не вказані заокруглення R2 мм.

Підпис та дата

Інв. № дубл.

Взам. інв. №

Підпис та дата

Інв. № ориг.

МП.ПМКМ-30.00.002

Змн. Арк.	№ докум.	Підп.	Дата
	Розроб. Кобилянська І.В.		
	Перев. Шуляр Б. Р.		
	Т.контр.		
	Нач. КБ		
	Н.контр.		
	Утв.		

Кронштейн  
30x60 з'єднувальний

PLA ДСТУ 1212-12

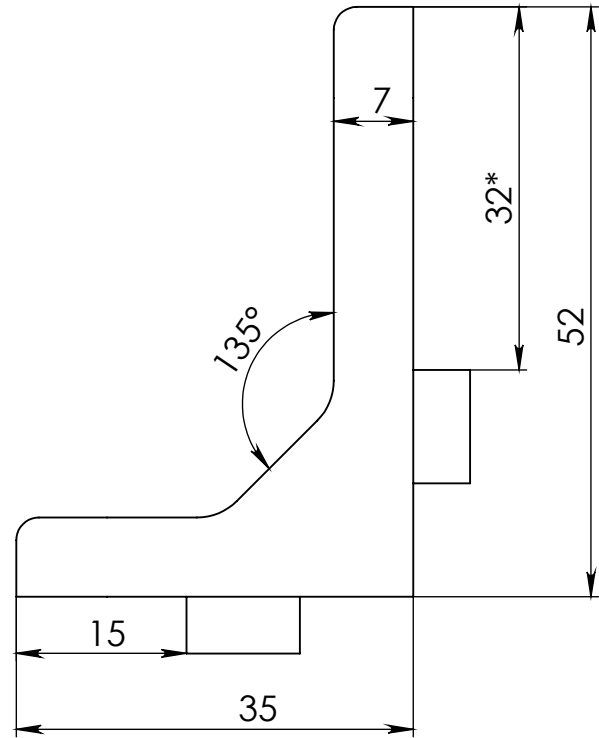
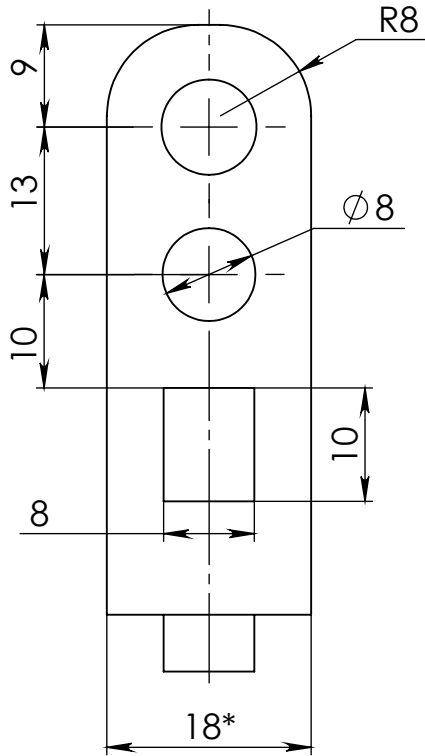
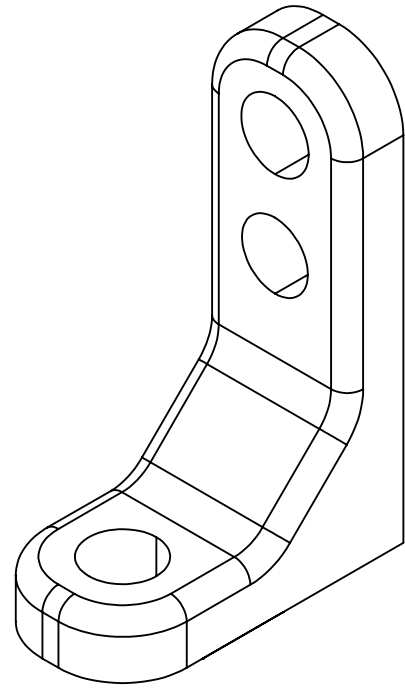
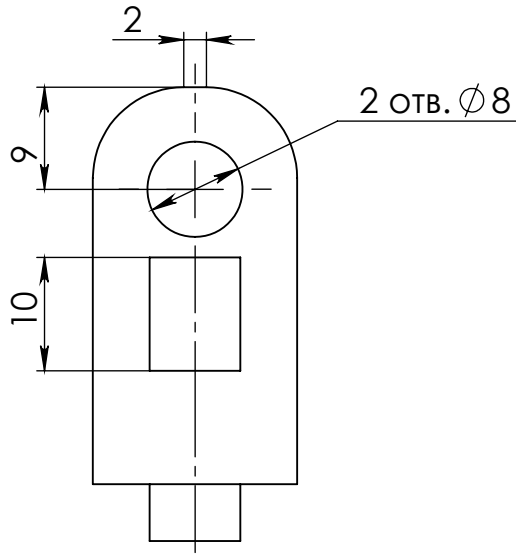
Літ.	Маса	Масштаб
		1:1
Аркуш	Аркушів	

ПМКМ-23-1  
ІФНТУНГ

МП.ПМКм-30.00.003

Перв. застосує.

Довід. №



1. \* - розміри для довідки
2. Всі не вказані закрутлення R2 мм.

Підпис та дата

Взам. інв. №

Підпис та дата

Інв. № ориг.

Змн. Арк.	№ докум.	Підп.	Дата
Розроб.	Кобилянська І.В.		
Перев.	Шуляр Б. Р.		
Т. контр.			
Нач. КБ			
Н. контр.			
Утв.			

МП.ПМКм-30.00.003

Кронштейн  
30x60 з напрямними

PLA ДСТУ 1212-12

Літ. Маса Масштаб

1.5:1

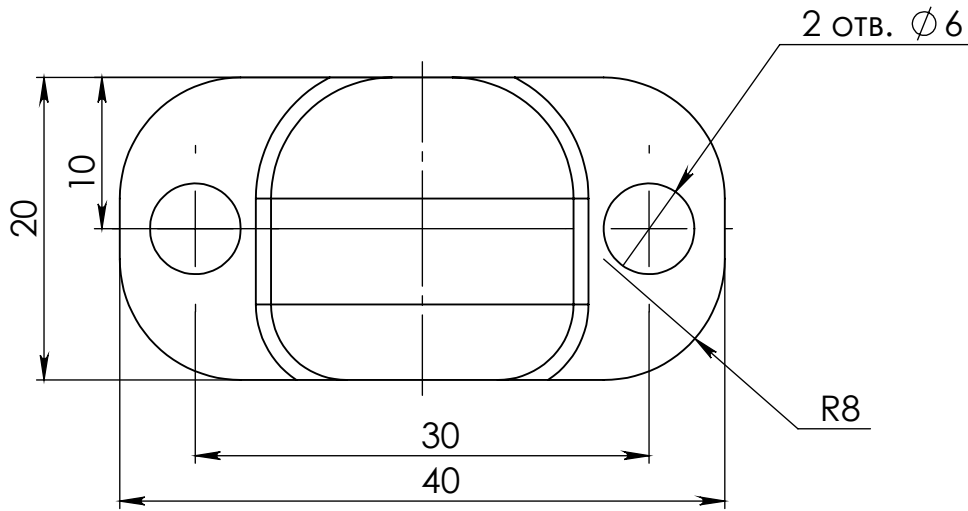
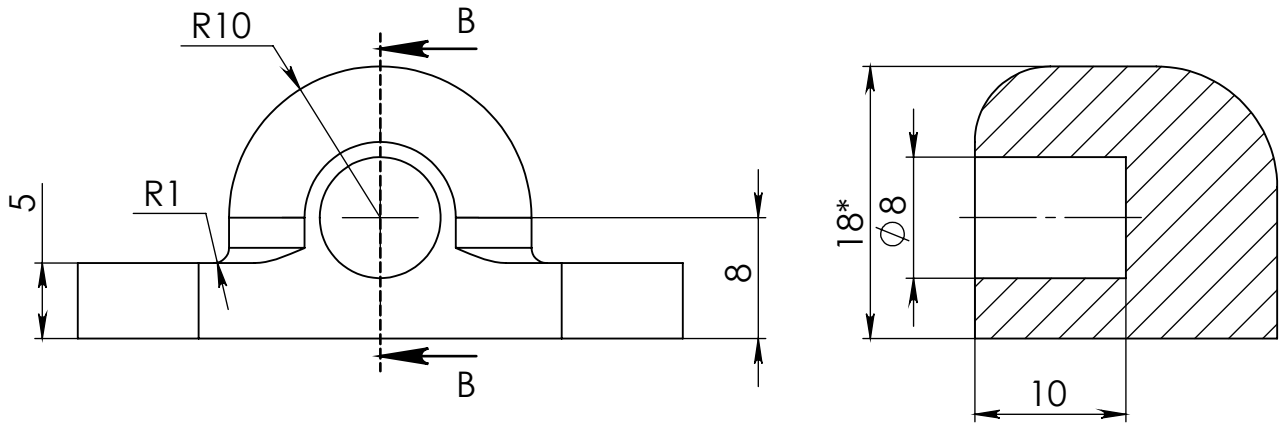
Аркуш Аркушів

ПМКм-23-1  
ІФНТУНГ

МП.ПМКМ-30.00.004

Перв. застосує.

Довід. №



1. \* Розмір для довідки.
2. Всі невказані скруглення R0.5.

Підпис та дата

Інв. № дубл.

Взам. інв. №

Підпис та дата

Інв. № ориг.

МП.ПМКМ-30.00.004

Змн. Арк.	№ докум.	Підп.	Дата
Розроб.	Кобиланська І.В.		
Перев.	Шуляр Б. Р.		
Т.контр.			
Реценз			
Н.контр.			
Затв.			

**Кронштейн  
напрямних 20x20**

РА ДСТУ 1212-12

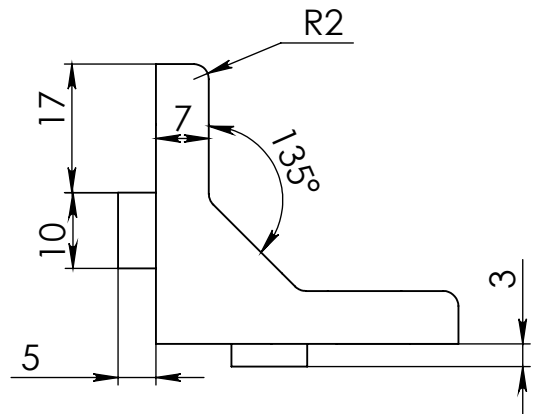
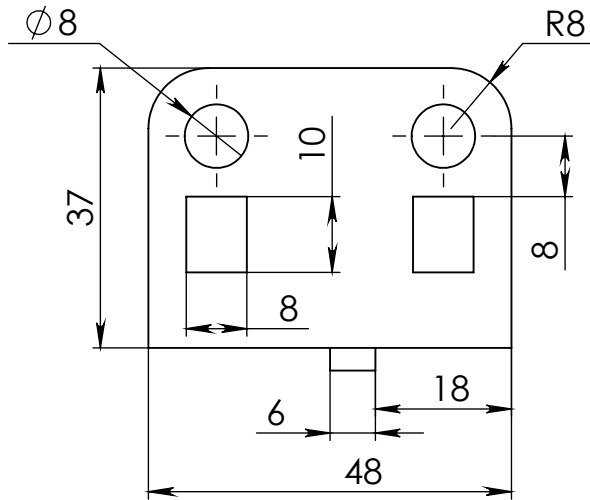
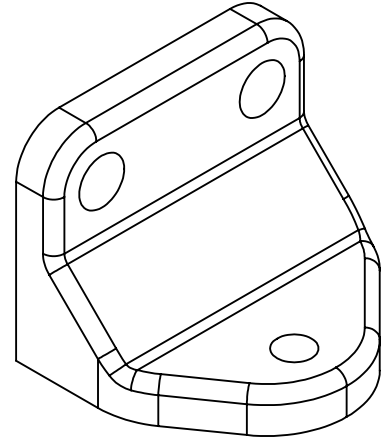
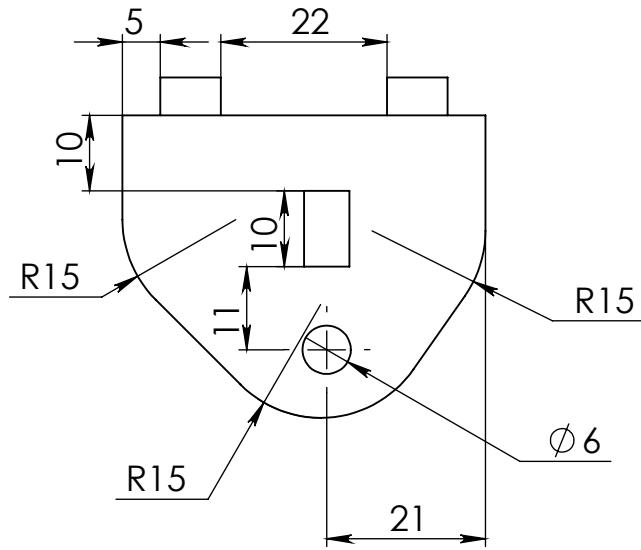
Літ.	Маса	Масштаб
		2:1
Аркуш	Аркушів	

ПМКМ-23-1  
ІФНТУНГ

МП.ПМКМ-30.00.005

Перв. застосує.

Довід. №



Підпис та дата

Взам. інв. №

Інв. № дубл.

Підпис та дата

Інв. № ориг.

Змн. Арк.	№ докум.	Підп.	Дата	
Розроб.	Кобилянська І.В.			
Перев.	Шуляр Б. Р.			
Т.контр.				
Нач. КБ				
Н.контр.				
Утв.				

МП.ПМКМ-30.00.005

**Кронштейн  
30x60-20x20**

Літ.    Маса    Масштаб

1:1

Аркуш    Аркушів

PLA ДСТУ 1212-12

ПМКМ-23-1  
ІФНТУНГ

Форм.	Зона	Поз.	Позначення	Назва	К-ть.	Прим.
				<u>Документація</u>		
			МП.ПМКм-30.00.000 ПЗ	Пояснювальна записка		
A1			МП.ПМКм-30.00.000 СК	Складальний кресленик	1	
				<u>Складальні одиниці</u>		
				<u>Деталі</u>		
A1		1	МП.ПМКм-30.00.001	Каретка	1	
				Кронштейни		
A4		2	МП.ПМКм-30.00.002	30x60 з'єднувальний	6	
A4		3	МП.ПМКм-30.00.003	30x60 з напрямними	2	
A4		4	МП.ПМКм-30.00.004	напрямних 20x20	2	
A4		5	МП.ПМКм-30.00.005	30x60-20x20	2	
				<u>Стандартні вироби</u>		
		6		Тензодатчик	1	
		7		Ходовий гвинт ISO 2901	1	
		8		Напрямний вал ISO 13012	2	
		9		Фланець ISO 21287		
		10		Муфта ISO 14691	1	
		11		Мотор NEMA 17 із планетар-	1	
				ним редуктором 19:1		
				ISO 13041		
		12		Рим-болт ISO 3266	1	

МП.ПМКм-030.00.000

Змін. | Арк. | № докум. | Підп. | Дата

Розроб.	Кобилянська І.			
Перев.	Шуляр Б.Р.			
Реценз.				
Н.конр.				
Затв.				

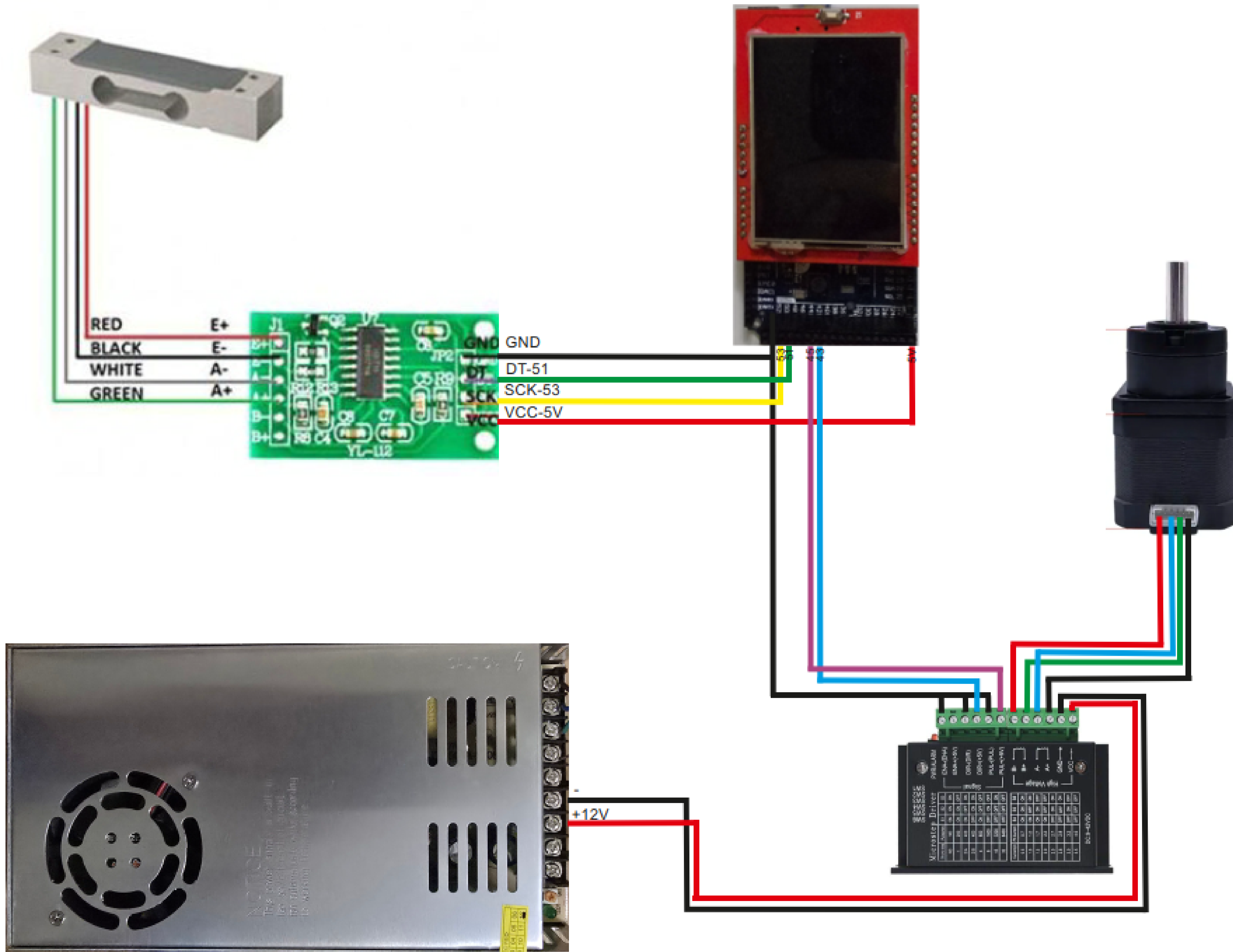
Розривна машина  
(специфікація)

Лім. | Аркуш | Аркушів

1 | 1

ІФНТУНГ  
ПМКм-23-1





				МЛ.ПМКМ-30.00.006			
Эм. Арк.	№ докум.	Підп.	Дата	<b>Електросхема</b>	Літ.	Маса	Масштаб
Розроб.	Кобиланська І.В.						1:1
Перев.	Шуляр Б.Р.			Аркуш 1	Аркушів 1		
Т.контр.				ПМКМ-23-1			
Рецез.				ІНТУНГ			
Н.контр.							
Затв.							
Чертеж1				Копіював			Формат А1

Перв. застосує.

Довід. №

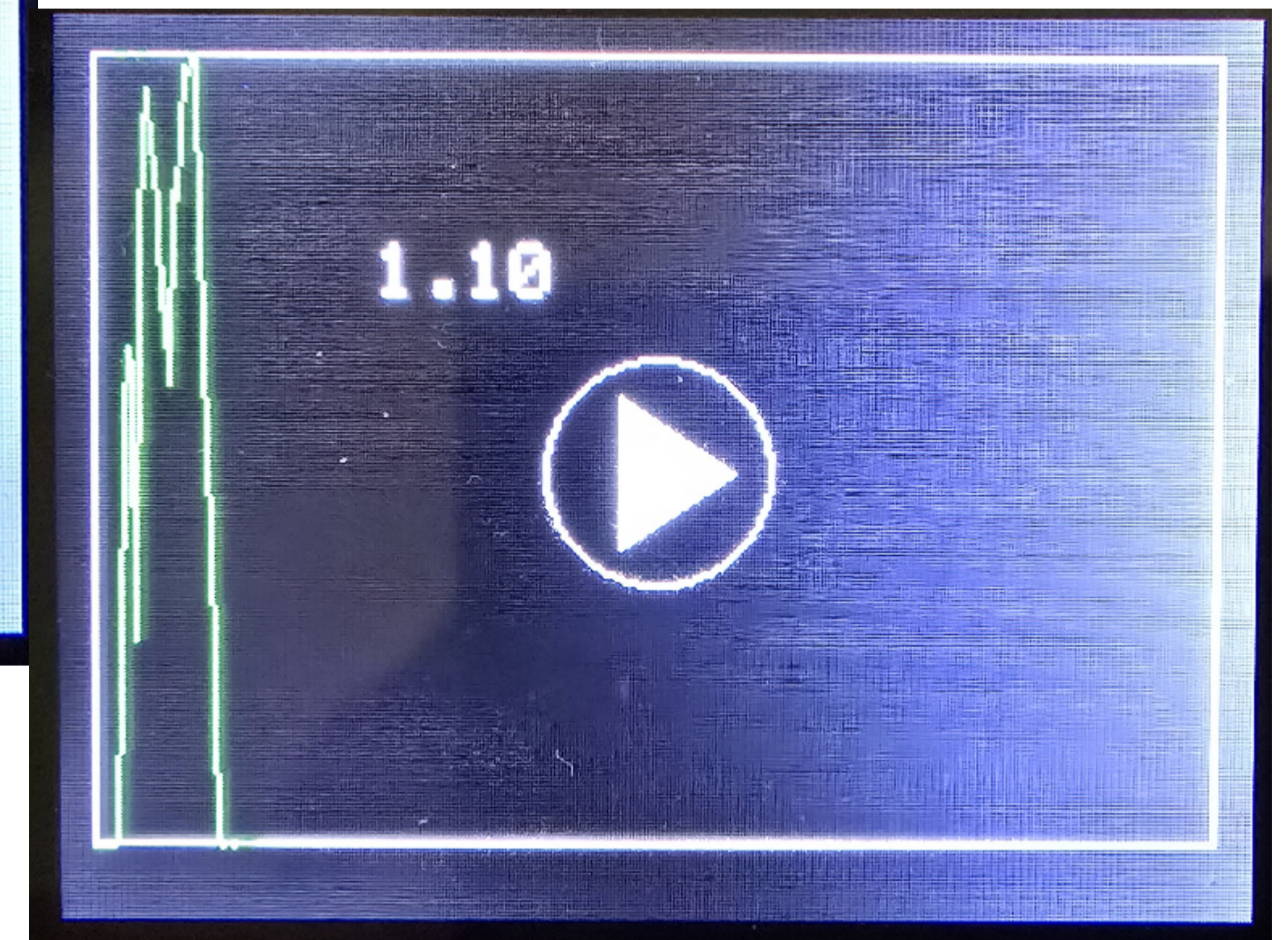
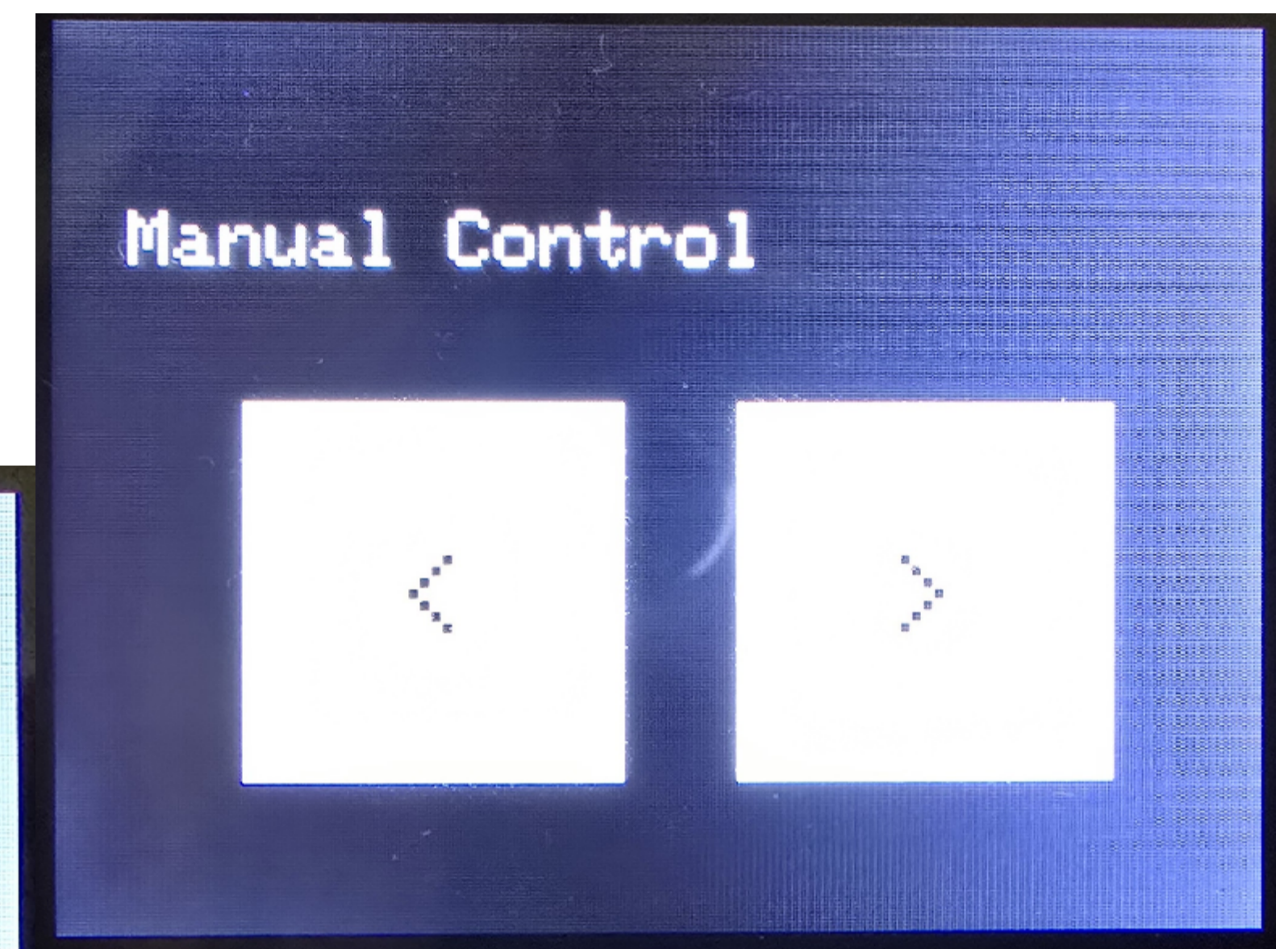
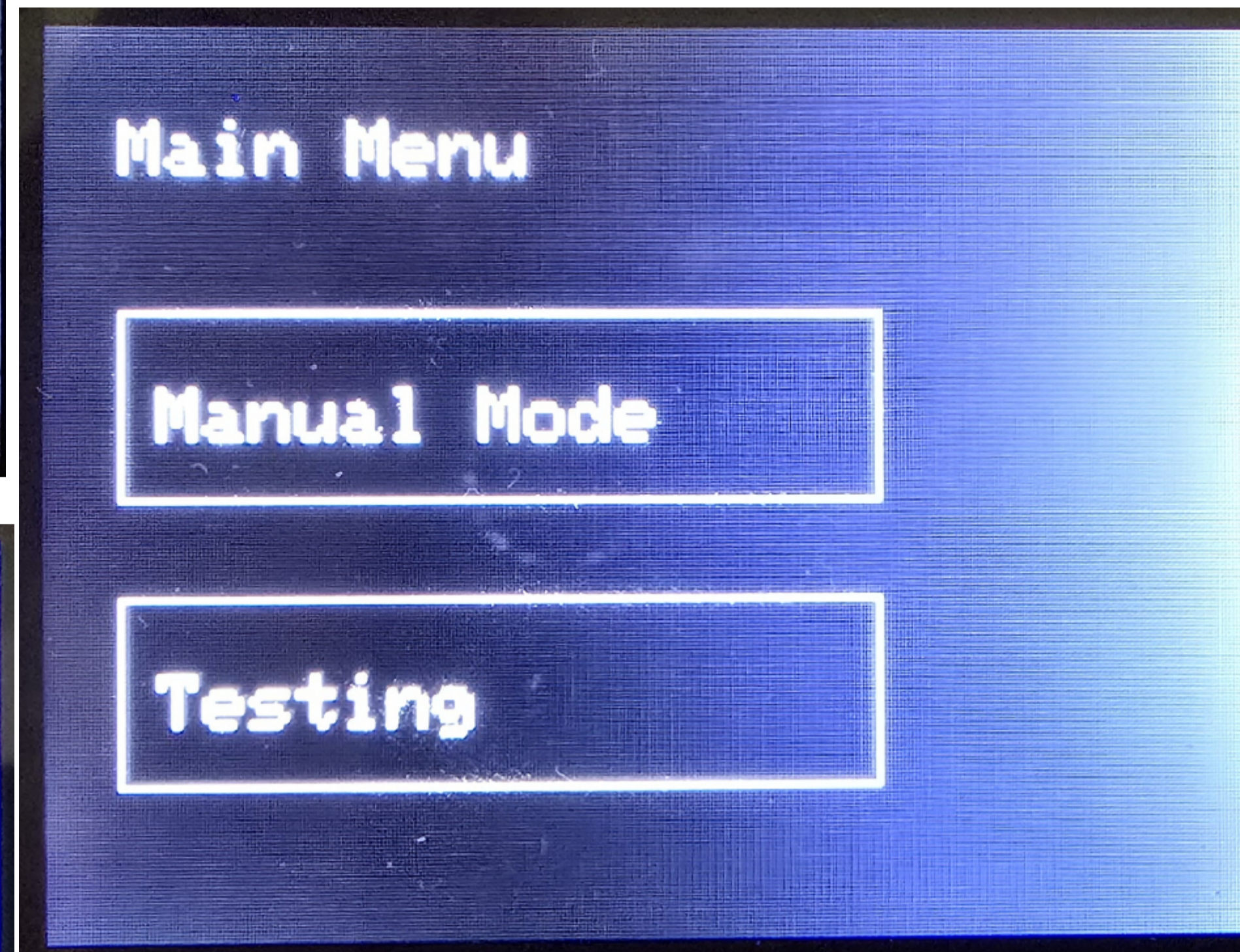
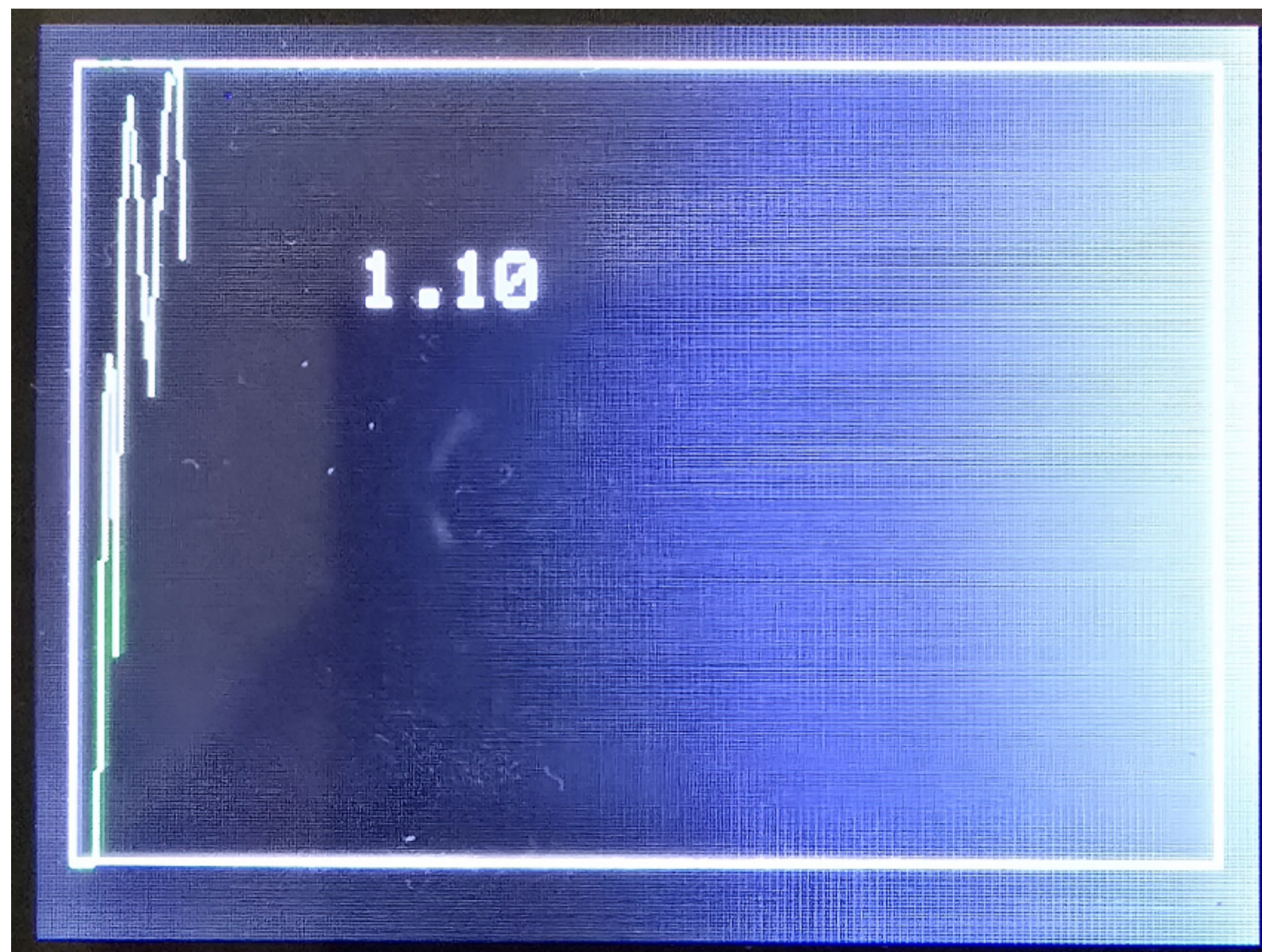
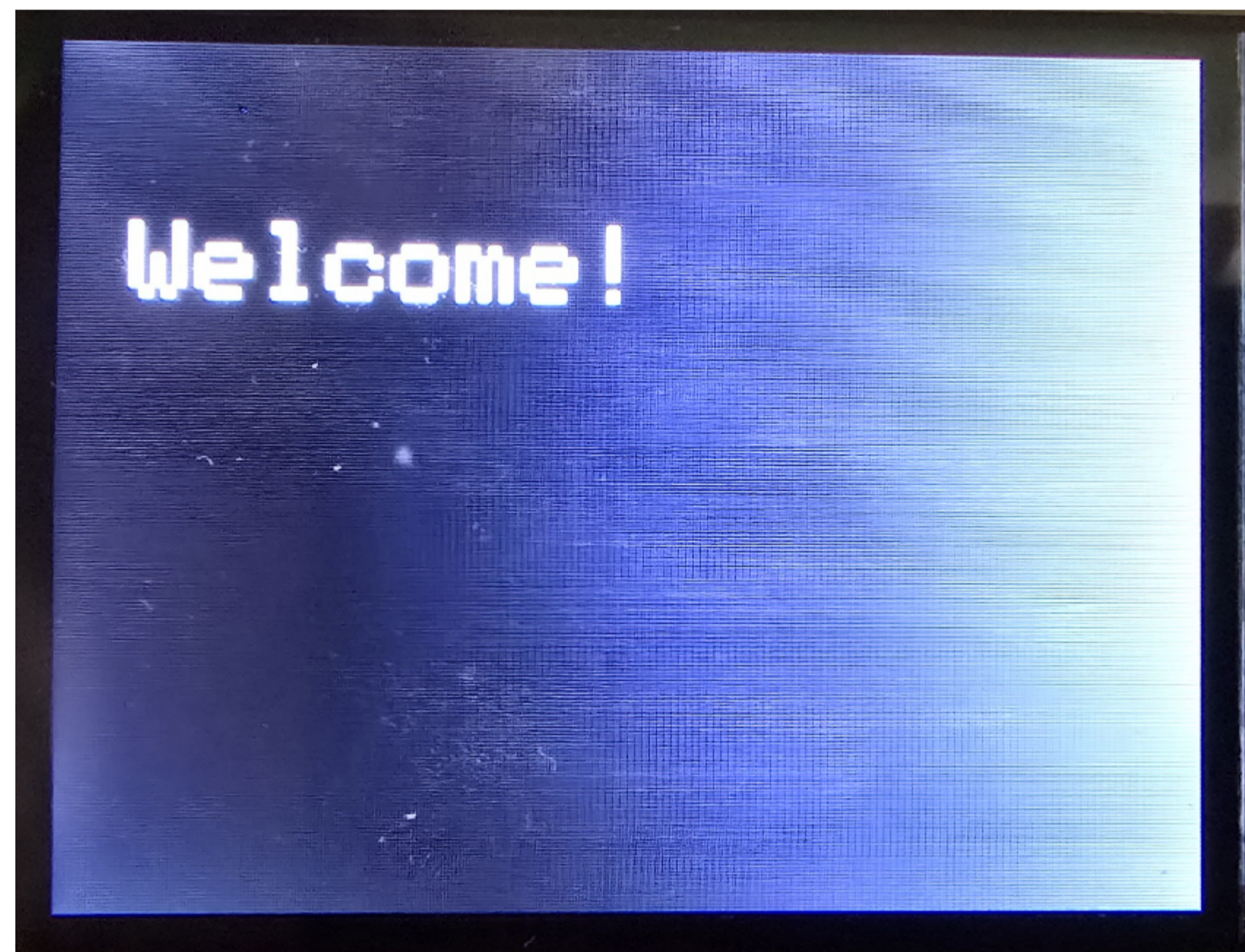
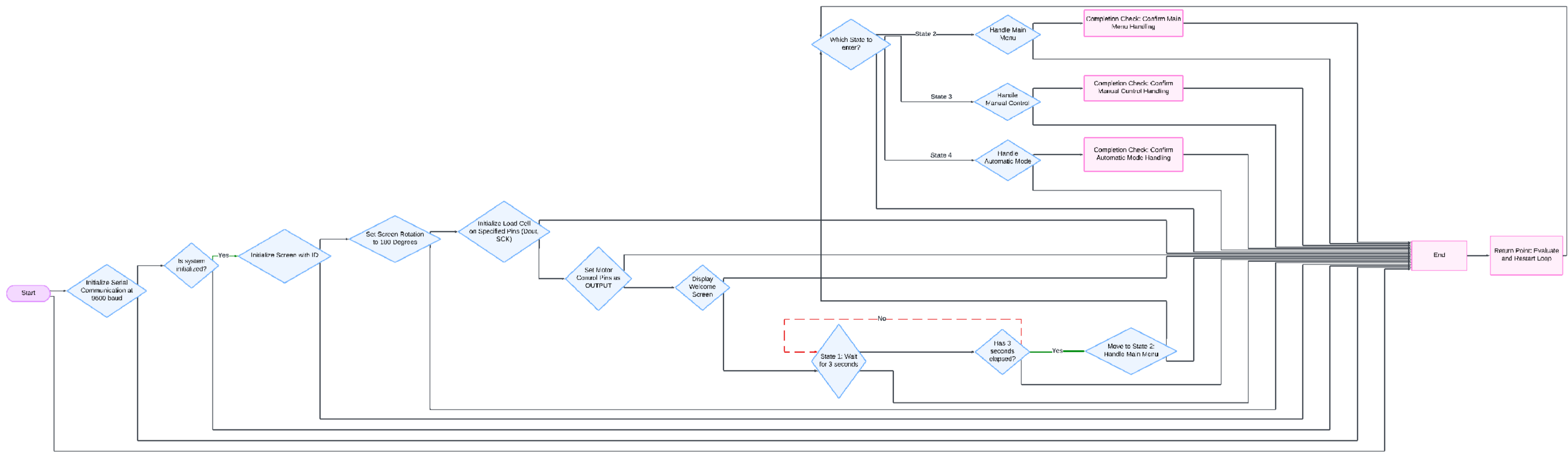
Інв. № ориг. Підпис та дата. Взам. інв. № дубл. Підпис та дата

```
#include <MCUFRIEND_kbv.h>
#include <TouchScreen.h>
#include <HX711.h>
```

```
// Піни екрану
#define LCD_CS A3
#define LCD_CD A2
#define LCD_WR A1
#define LCD_RD A0
#define LCD_RST A4
// Піни сенсора
#define YP A1
#define XM A2
#define YM A7
#define XP A6
// Тензодатчик
const int loadCellDoutPin = 51; // Пін DT
const int loadCellSckPin = 53; // Пін SCK
HX711 loadCell;
// Двигун
#define MOTOR_STEP 45
#define MOTOR_DIR 43
// Параметри сенсора
#define TS_MINX 160
#define TS_MAXX 1040
#define TS_MINY 135
#define TS_MAXY 780
#define MINPRESSURE 10
#define MAXPRESSURE 1000
MCUFRIEND_kbv tft;
TouchScreen ts = TouchScreen(XP, YP, XM, YM, 300);
// Стан системи
int state = 1;
unsigned long stateStartTime = 0;
// Розміри та координати кнопок
#define BUTTON_LEFT_X 50
#define BUTTON_LEFT_Y 100
#define BUTTON_SIZE 100
#define BUTTON_RIGHT_X 180
#define BUTTON_RIGHT_Y 100
```

```
void setup() {
  Serial.begin(9600);
  // Ініціалізація екрану
  uint16_t ID = tft.readID();
  tft.begin(ID);
  tft.setRotation(3); // Поворот екрану на 180 градусів
  // Ініціалізація тензодатчика
  loadCell.begin(loadCellDoutPin, loadCellSckPin);
  pinMode(MOTOR_STEP, OUTPUT);
  pinMode(MOTOR_DIR, OUTPUT);
  // Показати екран привітання
  showWelcomeScreen();
  stateStartTime = millis();
}
int step = 0;
```

```
void loop() {
  switch (state) {
    case 1:
      if (millis() - stateStartTime > 3000) {
        state = 2;
        handleMainMenu();
      }
      break;
    case 2:
      handleMainMenu();
      break;
    case 3:
      handleManualControl();
      break;
    case 4:
      handleAutomaticMode();
      break;
  }
}
```

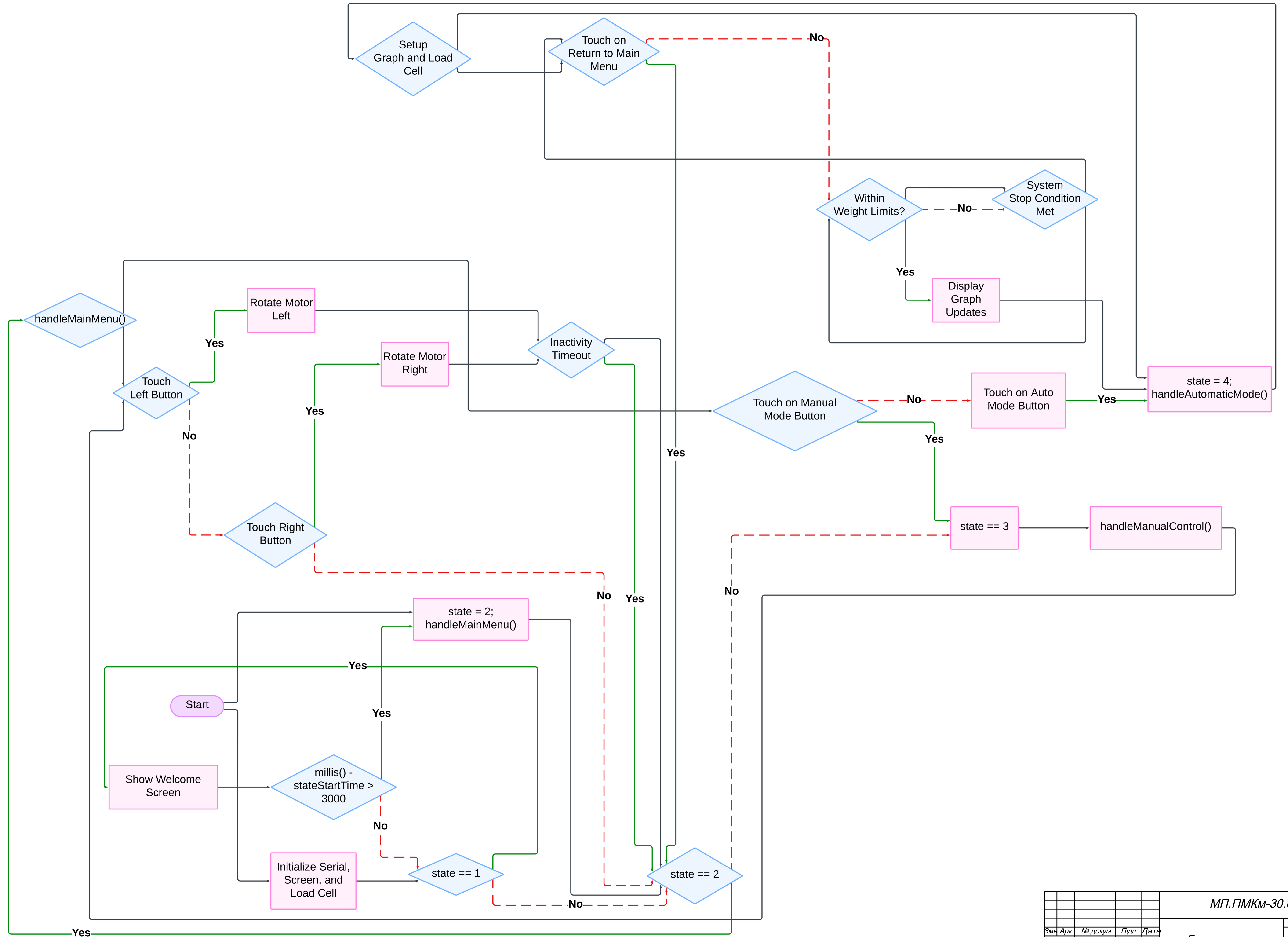


				МП.ПМКм-30.00.007		
Зм. Арк.	№ докум.	Підп.	Дата	Стани програми		
Розроб	Кобильська			Літ.	Маса	Масштаб
Перев.	Шуляр Б. Р.					1:1
Т.контр.				Архів 1	Архів 1	
Нач. КБ				ПМКм-23-1		
Н.контр.				ФОНТУНГ		
Утв.						
Екрани_01				Копіював		
				Формат А1		

Перв. застосує.

Довід. №

Інв. № орг. Підпис та дата Підпис та дата Підпис та дата Підпис та дата



Перв. застосує.  
Довід. №

Інв. № орг. Підпис та дата  
Взам. інв. № дубл. Підпис та дата

				МП.ПМКм-30.00.008		
Вм. Арк.	№ докум.	Підп.	Дата	Літ.	Маса	Масштаб
Розроб.	Кобильська І.					1:1
Перев.	Шуляр Б. Р.			Архів 1	Архівів 1	
Т.контр.				ПМКм-23-1 ІФНТУНГ		
Нач. КБ				Формат А1		
Н.контр.				Копіював		
Утв.				додатки		

## Додаток Н

### Код програми керування

```

#include <MCUFRIEND_kbv.h>
#include <TouchScreen.h>
#include <HX711.h>

// Піни екрану
#define LCD_CS A3
#define LCD_CD A2
#define LCD_WR A1
#define LCD_RD A0
#define LCD_RST A4

// Піни сенсора
#define YP A1
#define XM A2
#define YM 7
#define XP 6

// Тензодатчик
const int loadCellDoutPin = 51; // Пін DT
const int loadCellSckPin = 53; // Пін SCK
HX711 loadCell;

// Двигун
#define MOTOR_STEP 45
#define MOTOR_DIR 43
// Параметри сенсора
#define TS_MINX 160
#define TS_MAXX 1040
#define TS_MINY 135
#define TS_MAXY 780
#define MINPRESSURE 10
#define MAXPRESSURE
1000MCUFRIEND_kbv tft;

TouchScreen ts = TouchScreen(XP, YP, XM,
YM, 300);

// Стан системи
int state = 1;
unsigned long stateStartTime = 0;

// Розміри та координати кнопок
#define BUTTON_LEFT_X 50
#define BUTTON_LEFT_Y 100
#define BUTTON_SIZE 100
#define BUTTON_RIGHT_X 180
#define BUTTON_RIGHT_Y 100

void setup() {
    Serial.begin(9600);

    // Ініціалізація екрану
    uint16_t ID = tft.readID();
    tft.begin(ID);
    tft.setRotation(3); // Поворот екрану на 180
градусів

    // Ініціалізація тензодатчика
    loadCell.begin(loadCellDoutPin,
loadCellSckPin);

    pinMode(MOTOR_STEP, OUTPUT);
    pinMode(MOTOR_DIR, OUTPUT);

    // Показати екран привітання
    showWelcomeScreen();
    stateStartTime = millis();
}

```

					<b>МП.ПМКМ-30.00.00.009</b>	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		82

```

}
int step = 0;

void loop() {
  switch (state) {
    case 1:
      if (millis() - stateStartTime > 3000) {
        state = 2;
        handleMainMenu();
      }
      break;
    case 2:
      handleMainMenu();
      break;
    case 3:
      handleManualControl();
      break;
    case 4:
      handleAutomaticMode();
      break;
  }
}

void showWelcomeScreen() {
  tft.fillScreen(TFT_BLACK);
  tft.setTextSize(3);
  tft.setTextColor(TFT_WHITE);
  tft.setCursor(20, 50);
  tft.print("Welcome!");
}

// Змінна для перевірки, чи було оновлення
// екрана
bool screenUpdated = false;

void handleMainMenu() {
  // Оновлюємо екран лише один раз
  if (!screenUpdated) {
    tft.fillScreen(TFT_BLACK);
    tft.setTextSize(2);
    tft.setTextColor(TFT_WHITE);
    tft.setCursor(20, 25);
    tft.print("Main Menu");

    // Кнопка для переходу в ручне керування
    tft.drawRect(20, 75, 200, 50, TFT_WHITE);
    tft.setCursor(30, 95);
    tft.print("Manual Mode");

    // Кнопка для переходу в автоматичний
    режим
    tft.drawRect(20, 150, 200, 50, TFT_WHITE);
    tft.setCursor(30, 170);
    tft.print("Testing");

    screenUpdated = true; // Встановлюємо флаг,
    що екран був оновлений
  }

  // Перевірка натискання на екран
  TSPoint p = ts.getPoint();
  pinMode(XM, OUTPUT);
  pinMode(YP, OUTPUT);

  if (p.z > MINPRESSURE && p.z <
  MAXPRESSURE) {
    // Обробка повороту сенсора на 90 градусів

    int temp = p.x;
    p.x = map(p.y, TS_MINY, TS_MAXY, 0,
    240);
  }
}

```

					<i>МП.ПМКМ-30.00.00.009</i>	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		83













