

БАКАЛАВРСЬКА РОБОТА

БР.ПМІ-61.00.00.000.ПЗ

Група ПМІ-21-1

Іванов Ігор Сергійович

2025

**Івано-Франківський національний технічний університет нафти і газу**

Інститут інженерної механіки і робототехніки  
Кафедра: комп'ютеризованого машинобудування

Іванов Ігор Сергійович  
(прізвище, ім'я, по батькові)

УДК 007.5  
(індекс)

**БАКАЛАВРСЬКА РОБОТА**

Вдосконалення конструкції моделі робота SCARA  
(назва роботи)

Інженерія мехатронних систем  
(назва освітньої програми)

131 – Прикладна механіка  
(шифр і назва спеціальності)

Іванов Ігор Сергійович  
(підпис, ініціали та прізвище здобувача освітнього ступеня)

Науковий керівник Лукань Т.В., асистент кафедри КМВ  
(прізвище, ім'я, по батькові, науковий ступінь, вчене звання)

**Допущено до захисту**

Завідувач кафедри

професор Панчук В.Г.  
(посада) (підпис) (дата) (ініціали та прізвище)

Рецензент

\_\_\_\_\_  
(посада) (підпис) (дата) (ініціали та прізвище)

Робота містить результати власних досліджень. Використання ідей, результатів і текстів інших авторів мають посилання на відповідне джерело

Івано-Франківський національний технічний університет нафти і газу

(повне найменування закладу вищої освіти)

Інститут інженерної механіки і робототехніки

Кафедра комп'ютеризованого машинобудування

Освітній рівень бакалавр

Спеціальність 131 – Прикладна механіка

(шифр і назва)

**ЗАТВЕРДЖУЮ**

**Завідувач кафедри \_\_\_\_\_**

« \_\_\_\_ » \_\_\_\_\_ 2025 року

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

Іванову Ігорю Сергійовичу

(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема роботи: Вдосконалення конструкції моделі робота SCARA

керівник роботи Лукань Т.В., асистент кафедри КМВ

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

затвержені наказом закладу вищої освіти від "06" червня 2025 року № 332/7

2. Строки подання студентом роботи 12 червня 2025р.

3. Вихідні дані до роботи: модель робота "SCARA"; середовище програм Autodesk Inventor

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

1. Огляд робота SCARA. 2. Розробка схвату. 3. Аналіз та удосконалення конструкції маніпулятора. 4. Графічний інтерфейс.

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

1. Складальне креслення робота SCARA – 1 лист А1. 2. Складальне креслення Схвату – лист А1 3. Графічний інтерфейс – 1 лист А1. 4. Креслення база робота – 1 лист А1. 5. 3Д вигляд робота скара – 1 лист А1, 6. Деталювання – 14 листів А4.

6. Консультанти розділів роботи

| Розділ | Прізвище, ініціали та посада консультанта | Підпис, дата   |                  |
|--------|---|----------------|------------------|
|        |   | завдання видав | завдання прийняв |
| 1=4    | Лукань Т.В., асистент кафедри КМВ         |                |                  |
|        |   |                |                  |
|        |   |                |                  |
|        |   |                |                  |
|        |   |                |                  |
|        |   |                |                  |
|        |   |                |                  |
|        |   |                |                  |

7. Дата видачі завдання \_\_\_\_\_

**КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН**

| № з/п | Назва етапів бакалаврської роботи                 | Термін виконання етапів роботи | Примітки |
|-------|---|--------------------------------|----------|
| 1     | Огляд робота SCARA                                | 10.03.2025                     |          |
| 2     | Розробка схвату                                   | 14.04.2025                     |          |
| 3     | Аналіз та удосконалення конструкції маніпулятора. | 13.05.2025                     |          |
| 4     | Оформлення графічної частини                      | 05.06.2025                     |          |
| 5     | Захист бакалаврської роботи                       | 18.06.2025                     |          |
|       |   |                                |          |
|       |   |                                |          |
|       |   |                                |          |
|       |   |                                |          |
|       |   |                                |          |

Студент \_\_\_\_\_ Іванов І.С.  
( підпис ) ( прізвище та ініціали )

Керівник роботи \_\_\_\_\_ Лукань Т.В.  
( підпис ) ( прізвище та ініціали )

“ \_\_\_ ” \_\_\_\_\_ 2025\_p.

## Реферат

Бакалаврська кваліфікаційна робота на тему: Вдосконалення конструкції моделі робота SCARA. Робота складається з 43 аркушів, до яких входять 29 зображень, 4 таблиці, 19 додатків.

Об'єкт дослідження – процес проектування та функціонування робототехнічних систем типу SCARA

Предмет дослідження – конструктивні особливості моделі робота SCARA та принципи роботи його системи керування

Мета – Підвищити ефективність та функціональність моделі робота SCARA шляхом вдосконалення його конструкції.

У першому розділі проведений аналіз існуючих типів роботів. Також описана конструкція та кінематика робота SCARA.

У другому розділі описуються існуючі види схватів та запропонована нова конструкція схвату для модернізації робота.

У третьому розділі розглядаються проблеми конструкції робота SCARA та їх рішення.

У четвертому розділі описується створення графічного інтерфейсу користувача та застосовані програмні середовища для його створення.

Ключові слова: *робот SCARA, модернізація, python, схват, конструкція, графічний інтерфейс.*

Студент: Іванов І.С.

## Summary

Bachelor's qualification work on the topic: Improving the design of the SCARA robot model. The work consists of 43 sheets, which include 29 images, 4 tables, 19 appendices.

The object of research is the process of designing and operating SCARA robotic systems

The subject of research is the design features of the SCARA robot model and the principles of its control system

The goal is to improve the efficiency and functionality of the SCARA robot model by improving its design.

The first section analyzes existing types of robots. The design and kinematics of the SCARA robot are also described.

The second section describes existing types of attachments and proposes a new design of the attachment for robot modernization.

The third section discusses the design problems of the SCARA robot and their solutions.

The fourth section describes the creation of a graphical user interface and the software environments used to create it.

Keywords: SCARA robot, modernization, python, gripper, design, graphical interface.

Student: Ivanov I.S.

## Зміст

|  |    |
|--|----|
| ВСТУП.....   | 7  |
| 1.Огляд та конструктивні особливості робототехнічних систем типу SCARA | 8  |
| 1.1 Основні типи промислових роботів та сфери їх застосування .....    | 8  |
| 1.3 Загальні конструктивні особливості робота SCARA .....              | 10 |
| 1.4 Опис механічної частини робота SCARA .....                         | 12 |
| 1.5 Основи кінематики робота SCARA.....                                | 13 |
| 1.5.1. Розв’язання прямої задачі кінематики.....                       | 13 |
| 1.5.2. Розв’язання зворотної задачі кінематики .....                   | 19 |
| 1.6 Система керування роботом SCARA .....                              | 20 |
| 2. Проектування захоплювального механізму (схвату) .....               | 22 |
| 2.1 Види схватів.....  | 22 |
| 2.2 Постановка задачі.....   | 24 |
| 2.3 Конструкція схвату та принцип його дії.....                        | 24 |
| 2.4 Вибір матеріалів та підготовка до виготовлення.....                | 26 |
| 2.5 Вибір сервоприводу. ....   | 27 |
| 2.6 Моделювання у середовищі Autodesk Inventor .....                   | 30 |
| 2.6. Створення механізму схвату.....                                   | 31 |
| 3. Модернізація конструкції робота SCARA.....                          | 33 |
| 3.1. Виявлені недоліки конструкції. ....                               | 33 |
| 3.2. Усунення проблеми провисання .....                                | 34 |
| 3.3 Вирішення проблеми пошкодження кінцевих вимикачів .....            | 36 |
| 4. Розробка графічного інтерфейсу .....                                | 39 |
| 4.1. Вибір інструментів для створення графічного інтерфейсу .....      | 39 |
| 4.2. Створення інтерфейсу користувача в Qt Designer.....               | 40 |
| 4.3. Конвертація файлу інтерфейсу .....                                | 41 |
| 4.4 Реалізація програмної логіки в середовищі PyCharm .....            | 41 |
| Висновки .....   | 43 |
| Список використаних джерел .....                                       | 44 |
| Додатки.....   | 45 |

|           |      |                      |        |      |                               |      |      |         |
|-----------|------|----------------------|--------|------|-------------------------------|------|------|---------|
|           |      |                      |        |      | <i>БР.ПМІ-61.00.00.000 ПЗ</i> |      |      |         |
| Зм.       | Арк. | № Докум.             | Підпис | Дата |                               |      |      |         |
| Розроб.   |      | <i>Іванов І.С.</i>   |        |      | <i>Пояснювальна</i>           | Літ. | Арк. | Аркушів |
| Перевір.  |      | <i>Луцькань Т.В.</i> |        |      | <i>записка</i>                |      | 6    |         |
| Рецензент |      |                      |        |      | <i>ІФНТУНГ ПМІ-21-1</i>       |      |      |         |
| Затверд.  |      | <i>Панчук В.Г.</i>   |        |      |                               |      |      |         |

## ВСТУП

Завдяки технічному прогресі робототехніка стає буденністю. Промислові роботи завдяки їх здатності до точних, швидких та повторюваних операцій стали необхідними для конкурентоспроможності.

Серед різноманіття промислових роботів особливе місце займають роботи типу SCARA (Selective Compliance Assembly Robot Arm). Такі маніпулятори мають високу жорсткість у вертикальному напрямку та гнучкість у горизонтальній площині. Це робить їх особливо ефективними при виконанні операцій збирання, сортування, точного розміщення об'єктів та інших дій у горизонтальній площині. Простота конструкції, висока швидкість роботи, точність та специфіка зумовлює його застосування в промисловості.

В рамках цієї дипломної роботи я зосередився на вдосконаленні лабораторної моделі SCARA-робота, яка мала експлуатаційні недоліки. У процесі аналізу конструкції я виявив такі технічні недоліки: провисання опорної частини (башти), а також проблеми в роботі кінцевих вимикачів, які часто пошкоджувалися.

Вивчення конструкції, принципів роботи та вдосконалення SCARA-роботів є важливим завданням. Метою дослідження є не тільки аналіз принципів роботи, а й розробка рішень, які підвищать ефективність та надійність цієї моделі робота.

Основною метою дипломної роботи стала модернізація конструкції SCARA-робота з подальшим впровадженням зручної програмної системи керування. Особливу увагу приділено покращенню механічної жорсткості конструкції башти, змінам у системі кінцевих вимикачів, а також розробці графічного інтерфейсу користувача (GUI) для інтуїтивного керування. Інтерфейс було реалізовано з використанням мови програмування Python та бібліотек PyQt5, math, serial.

|     |      |          |        |      |                              |      |
|-----|------|----------|--------|------|------------------------------|------|
|     |      |          |        |      | <i>БР.ПМІ-6100.00.000 ПЗ</i> | Арк. |
| Зм. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата |                              | 7    |

# 1. Огляд та конструктивні особливості робототехнічних систем типу SCARA

## 1.1 Основні типи промислових роботів та сфери їх застосування

На сьогоднішній день промислові роботи активно впроваджуються в різні сфери виробництва: автомобільну, електронну, харчову промисловість, логістику, фармацевтику тощо. Їхнє використання дозволяє значно підвищити продуктивність, якість виготовлення, повторюваність операцій. Роботи ефективно замінюють людину в умовах, де важлива точність, швидкість і витривалість. Промислові роботи поділяють на типи в залежності від кінематики руху, робочого простору. Найбільш розповсюдженими типами роботів є:

- Картезіанські роботи – це роботи, які прямолінійно переміщуються вздовж осей координат X,Y,Z. Часто застосовують 3Д принтерах, ЧПК обладнанні, системах нанесення клею, лазерного гравіювання.

- Циліндричні роботи мають лінійне переміщення вздовж осі обертання, та обертаються навколо осі, формуючи циліндричний робочий простір. Такі роботи застосовуються для зварювання, пакування, де потрібний доступ до об'єктів розташованих по колу.

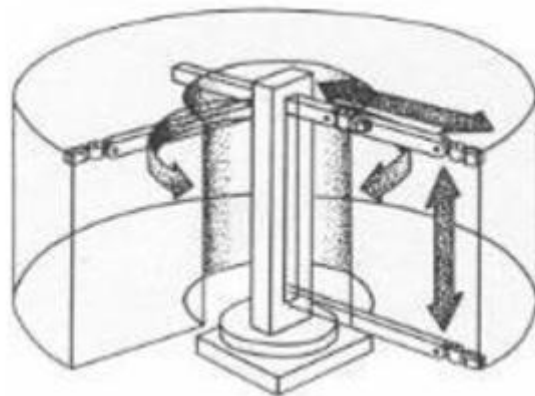


Рис.1.1 – Циліндричний робот

- Сферичний робот (рис.1.2) – це робот рух якого можна описати сферою. Мають обертання навколо бази, лінійне переміщення та для вертикального переміщення застосовується поворот важеля. Часто використовуються для

|     |      |          |        |      |                              |      |
|-----|------|----------|--------|------|------------------------------|------|
|     |      |          |        |      | <i>БР.ПМІ-6100.00.000 ПЗ</i> | Арк. |
| Зм. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата |                              | 8    |

автоматизованого складання, обробці де потрібно охопити великі об'єкти під різними кутами.

- Шести-осьові роботи - є найгнучкішими серед інших типів роботів, імітують рух руки людини. Застосовуються у зварюванні, переміщенню об'єктів, складанні, різці.

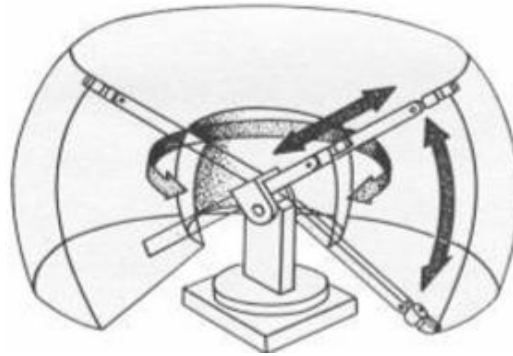


Рис.1.2 – Сферичний робот

-SCARA - це роботи, які мають сферичну зону роботи. Працюють у горизонтальній площині та мають високу жорсткість по вісі Z. Використовується для складання, монтажу,

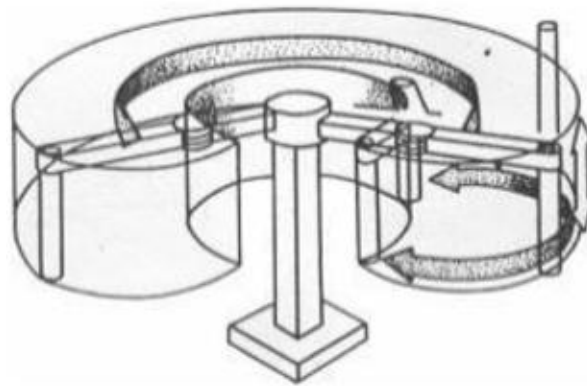


Рис.1.3 – Робот SCARA

- Дельта роботи – це роботи з паралельною кінематикою та малою вантажопідйомністю. Застосовуються для пакування, сортування, обробки на конвеєрі.

## 1.2 Історичні передумови створення робота типу SCARA

Робот SCARA був винайдений професором Хіртою Юма у 1989 році. Назву SCARA ( Selective Compliance Assembly Robot Arm) можна розшифрувати, як

|     |      |          |        |      |                              |      |
|-----|------|----------|--------|------|------------------------------|------|
|     |      |          |        |      | <i>БР.ПМІ-6100.00.000 ПЗ</i> | Арк. |
| Зм. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата |                              | 9    |

“робот-маніпулятор з вибірковою податливістю для складання”, що прямо вказує його особливість: жорстку конструкцію у вертикальній площині та гнучкість у горизонтальній.

На відміну від класичних картезіанських роботів та роботів з шістьма ступенями свободи він має дві обертові ланки у горизонтальній площині та одну у вертикальній площині.

SCARA-роботи усе частіше застосовують у промисловій автоматизації.

Наприклад, у таких галузях:

- Монтаж плат, укладання компонентів.
- Нанесення клеїв та сортування.
- Упаковки.

Їх використання можна пояснити такими факторами:

- Простотою керування.
- Низьким споживанням електроенергії через не велику кількість приводів.
- Швидкістю роботи та точністю повторюваності рухів.

Якщо порівнювати з іншими типами роботів:

- Картезіанські мають вищу точність, громіздку конструкцію та нижчу швидкість.

- Дельта-роботи мають більшу швидкість, але мають меншу вантажопідйомність.

- Роботи з 6 ступенями свободи є більш універсальними але складнішими у керуванні, дорожчими.

### 1.3 Загальні конструктивні особливості робота SCARA

Робот SCARA у цьому проекті є реалізованим як 4-осьовий маніпулятор, з яких 2 вісі відповідають за рух переміщення у площині XY, 1 вісь по вертикалі Z та остання відповідає за поворот інструмента.

|     |      |          |        |      |                              |      |
|-----|------|----------|--------|------|------------------------------|------|
|     |      |          |        |      | <i>БР.ПМІ-6100.00.000 ПЗ</i> | Арк. |
| Зм. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата |                              | 10   |

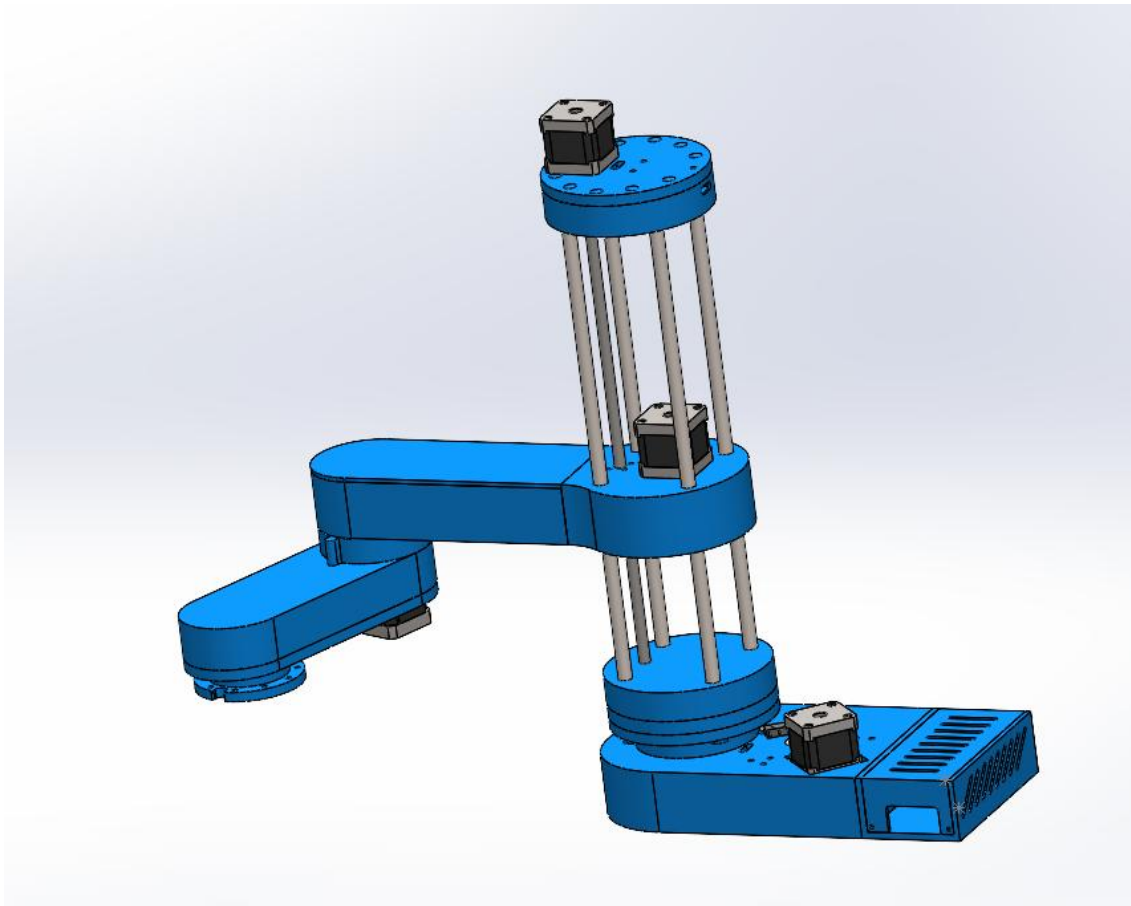


Рис. 1.4 – Модель робота SCARA

Основні вузли:

- База – нерухома частина, на якій розміщується вся конструкція робота. На ній знаходиться перший кроковий двигун, який приводить в рух перше плече.
- Башта - забезпечує лінійний рух по вертикалі(вісь Z), приводиться в дію за допомогою ходового гвинта.
- Ланки – дві горизонтальні ланки, які з'єднуються за допомогою шарнірів. Вони необхідні для задання руху в площині XY.
- Захват – частина, яка необхідна для взаємодії з інструментом.

Його конфігурація дозволяє ефективно виконувати типові завдання сортування, укладання та інше. Це забезпечує баланс між продуктивністю, точністю та вартістю.

|     |      |          |        |      |                       |      |
|-----|------|----------|--------|------|-----------------------|------|
|     |      |          |        |      | БР.ПМІ-6100.00.000 ПЗ | Арк. |
| Зм. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата |                       | 11   |

## 1.4 Опис механічної частини робота SCARA

Функціонування робота SCARA залежить від його механічної частини. Від її жорсткості, точності залежить здатність виконувати завдання з високою швидкістю та повторюваністю при цьому не втрачаючи точності. Його основні компоненти:

- Ланки (joint1 і joint2):

Вони є надрукованими на 3D принтері з PLA пластику. Плече 1 кріпиться до вихідного валу першого пасового редуктора, який приводиться в дію за допомогою крокового двигуна та рухається вздовж вісь Z, а друге плече кріпиться до валу на кінці першого плеча. Передачі виконані за допомогою пасів та шківів.

Переваги:

- Проста конструкція.
- Низька вартість.
- Легка вага.

Недоліки:

- Деформація при навантаженнях
- Люфти у пластику.
- Віб्राції.
- Вісь Z.

Приводиться в рух кроковим двигуном NEMA17, який обертає ходовий гвинт. Ходовий гвинт дозволяє плечам 1 і 2 вертикально переміщуватись. Також присутні 4 направляючі.

Переваги:

- Само утримування, на позиції.
- Висока точність завдяки використанні гвинтової передачі.

Недоліки:

- Низька швидкість передачі.
- Залежить від співвідношення.

|     |      |          |        |      |                              |      |
|-----|------|----------|--------|------|------------------------------|------|
|     |      |          |        |      | <i>БР.ПМІ-6100.00.000 ПЗ</i> | Арк. |
| Зм. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата |                              | 12   |

## 1.5 Основи кінематики робота SCARA

Кінематичний аналіз робота є важливим етапом при проектуванні робота. Він дозволяє знаходити положення робота і процесі цього розрахунки ми дізнаємося координати (пряма задача кінематики) або кути поворотів ланок маніпулятор (зворотня задача кінематики). Ці параметри необхідні для керування роботом.

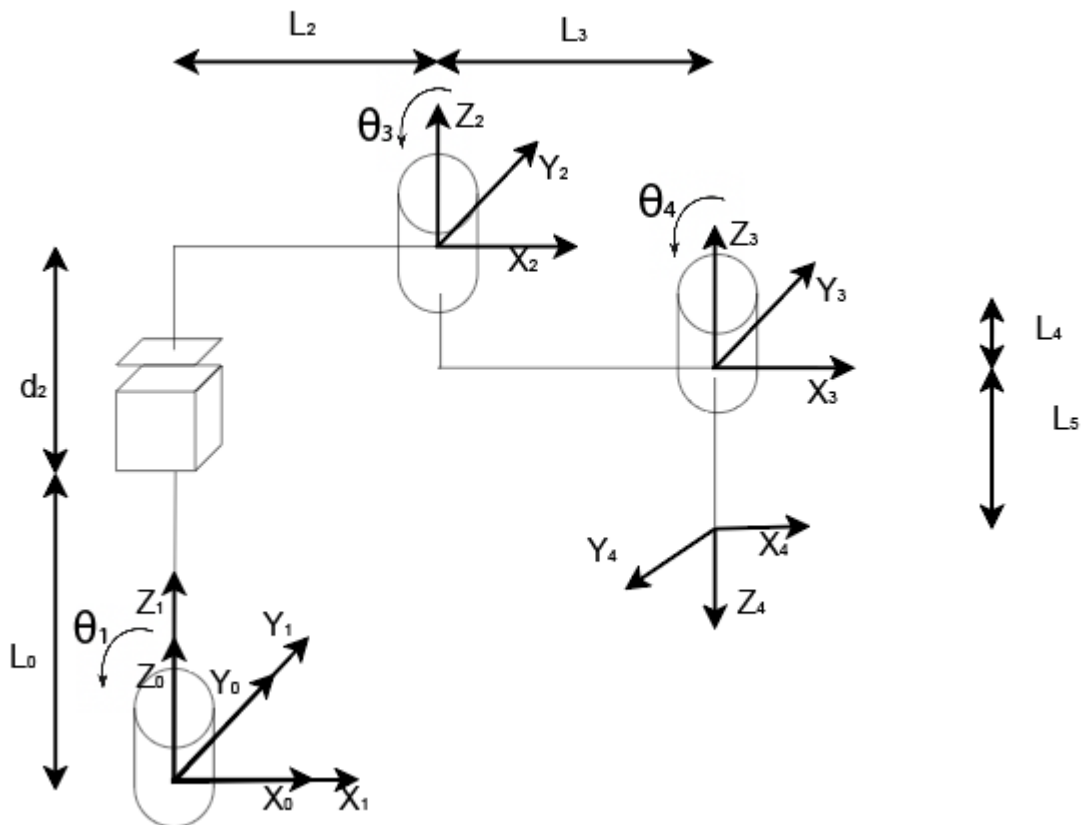


Рис. 1.5 - Кінематична схема робота

### 1.5.1. Розв'язання прямої задачі кінематики

Пряма задача кінематики полягає у визначення положення ефектора на основі заданих кутів повороту або переміщень. Часто для розв'язання цієї задачі використовується метод Денавіта-Хатенберга, який дозволяє за допомогою мінімальної кількості параметрів визначити кінематичні співвідношення між ланками маніпулятора. Для розв'язування задачі кінематики потрібно:

1. Зробити кінематичну схему (рис.1.2) та встановити системи координат для кожної з ланок.

2. Визначити 4 параметри Денавіта-Хатенберга.
3. Побудувати матриці перетворення для кожного з'єднання.
4. Послідовне перемноження цих матриць для отримання повного перетворення від бази до ефектора.

Далі потрібно скласти таблицю параметрів Денавіта-Хатенберга:

Таблиця 1.1 – Дані для обчислення, отримані методом Денавіта-Хатенберга

|   | $\theta_i$ | $\alpha_i$ | $d_i$ | $a_i$ |
|---|------------|------------|-------|-------|
| 1 | $\theta_1$ | 0          | 0     | 0     |
| 2 | 0          | 0          | $d_2$ | $l_2$ |
| 3 | $\theta_3$ | 0          | -4    | $l_3$ |
| 4 | $\theta_4$ | 180        | -15   | 0     |

$${}^{i-1}T_i = \begin{bmatrix} \cos(\theta_i) & -\cos(\alpha_i)\sin(\theta_i) & \sin(\alpha_i)\sin(\theta_i) & \alpha_i\cos(\theta_i) \\ \sin(\theta_i) & \cos(\alpha_i)\sin(\theta_i) & -\sin(\alpha_i)\sin(\theta_i) & \alpha_i\sin(\theta_i) \\ 0 & \sin(\alpha_i) & \cos(\alpha_i) & d_i \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \quad (1.1)$$

Матриці відповідно до кінематичної схеми робота:

$$T_4 = \begin{bmatrix} \cos(\theta_1) & -\sin(\theta_1) & 0 & \alpha_1\cos(\theta_1) \\ \sin(\theta_1) & \cos(\alpha_1) & 0 & \alpha_1\sin(\theta_1) \\ 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \quad (1.2)$$

$$T_2 = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & l_2 \\ 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & l_0 + d_2 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \quad (1.3)$$

$${}^2T_3 = \begin{bmatrix} \cos(\theta_3) & -\sin(\theta_3) & 0 & \alpha_3\cos(\theta_3) \\ \sin(\theta_3) & \cos(\alpha_3) & 0 & \alpha_3\sin(\theta_3) \\ 0 & 0 & 1 & -l_4 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \quad (1.4)$$

$${}^3T_4 = \begin{bmatrix} \cos(\theta_4) & \sin(\theta_4) & 0 & 0 \\ \sin(\theta_4) & -\cos(\alpha_4) & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & -l_5 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \quad (1.5)$$

Для подальших обчислень потрібно перемножити всі матриці.

$${}^0T_4 = \begin{bmatrix} \cos(\theta_1 + \theta_3 + \theta_4) & \sin(\theta_1 + \theta_3 + \theta_4) & 0 & l_2\cos(\theta_1) + l_3\cos(\theta_1 + \theta_3) \\ \sin(\theta_1 + \theta_3 + \theta_4) & -\cos(\theta_1 + \theta_3 + \theta_4) & 0 & l_2\sin(\theta_1) + l_3\sin(\theta_1 + \theta_3) \\ 0 & 0 & 1 & l_0 + d_2 - l_4 - l_5 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \quad (1.6)$$

$$T = \begin{bmatrix} \cos(\theta_1 + \theta_3 + \theta_4) & \sin(\theta_1 + \theta_3 + \theta_4) & 0 \\ \sin(\theta_1 + \theta_3 + \theta_4) & -\cos(\theta_1 + \theta_3 + \theta_4) & 0 \\ 0 & 0 & -1 \end{bmatrix} \quad (1.7)$$

$$P = \begin{bmatrix} x \\ y \\ z \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} l_2 \cos(\theta_1) + l_3 \cos(\theta_1 + \theta_3) \\ l_2 \cos(\theta_1) + l_3 \cos(\theta_1 + \theta_3) \\ l_0 + d_2 - l_4 - l_5 \end{bmatrix} \quad (1.8)$$

Для перевірки і перемноження матриць застосовую python. Код програми:

```
import numpy as np
import matplotlib.pyplot as plt

a1 = 0
a2 = 228
a3 = 136.5
a4 = 0
d1 = 100
d2 = 0
d3 = 0
d4 = 0

theta1 = 0
theta2 = 0
theta3 = 0
theta4 = 0

alpha1 = 0
alpha2 = 0
alpha3 = 0
alpha4 = 180

def matrix_DH(theta, alpha, a, d):
    thea=np.deg2rad(theta)
    alph=np.deg2rad(alpha)
    R = np.array(
        [[np.cos(thea), -np.sin(thea) * np.cos(alph), np.sin(thea) * np.sin(alph), a *
np.cos(thea)],
```

```
[np.sin(thea), np.cos(thea) * np.cos(alph), -np.cos(thea) * np.sin(alph), a *  
np.sin(thea)],
```

```
[0, np.sin(alph), np.cos(alph), d],
```

```
[0, 0, 0, 1]])
```

```
return R
```

```
T = np.array(  
    [[1, 0, 0, 0],  
     [0, 1, 0, 0],  
     [0, 0, 1, 0],  
     [0, 0, 0, 1]])
```

```
def print_matrix(matrix):
```

```
    for row in matrix:
```

```
        formatted_row = [" {:.2f} ".format(abs(col)) if isinstance(col, float) and col !=  
0 else " {:.2f} ".format(col) if isinstance(col, float) else " {:.2f} ".format(abs(col)) if col ==  
0 else col for col in row]
```

```
        print(formatted_row)
```

```
R1 = matrix_DH(theta1, alpha1, a1, d1)
```

```
R2 = matrix_DH(theta2, alpha2, a2, d2)
```

```
R3 = matrix_DH(theta3, alpha3, a3, d3)
```

```
R4 = matrix_DH(theta4, alpha4, a4, d4)
```

```
T1 = np.dot(R1, R2)
```

```
T2 = np.dot(T1, R3)
```

```
T3 = np.dot(T2, R4)
```

```
T4 = np.dot(T3, T)
```

|     |      |          |        |      |                       |      |
|-----|------|----------|--------|------|-----------------------|------|
|     |      |          |        |      | БР.ПМІ-6100.00.000 ПЗ | Арк. |
| Зм. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата |                       | 16   |

```
X = np.array ([0, R1[0][3], round(T1[0][3]), round(T2[0][3]), round(T3[0][3]),  
round(T4[0][3]))
```

```
Y = np.array ([0, R1[1][3], round(T1[1][3]), round(T2[1][3]), round(T3[1][3]),  
round(T4[1][3]))
```

```
Z = np.array ([0, R1[2][3], round(T1[2][3]), round(T2[2][3]), round(T3[2][3]),  
round(T4[2][3]))
```

```
fig = plt.figure()
```

```
ax = fig.add_subplot(111, projection='3d')
```

```
ax.plot3D(X, Y, Z, 'green')
```

```
print("Перша матриця трансформації:")
```

```
print_matrix(R1)
```

```
print("Друга матриця трансформації:")
```

```
print_matrix(R2)
```

```
print("Добуток матриці трансформації:")
```

```
print_matrix(T1)
```

```
print("Третя матриця трансформації:")
```

```
print_matrix(R3)
```

```
print("Добуток матриці трансформації:")
```

```
print_matrix(T2)
```

```
print("Четверта матриця трансформації:")
```

```
print_matrix(R4)
```

```
print("Добуток матриці трансформації:")
```

```
print_matrix(T3)
```

```
ax.scatter(X, Y, Z, color='red')
```

```
plt.show()
```

Результати обчислень:

Добуток матриці перетворення T:

```
['1.00', '0.00', '0.00', '364.50']
```

```
['0.00', '1.00', '0.00', '0.00']
```

|     |      |          |        |      |                       |      |
|-----|------|----------|--------|------|-----------------------|------|
|     |      |          |        |      | БР.ПМІ-6100.00.000 ПЗ | Арк. |
| Зм. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата |                       | 17   |

['0.00', '0.00', '1.00', '100.00']

['0.00', '0.00', '0.00', '1.00']

Також програма будує графік на основі знайдених нами точок.

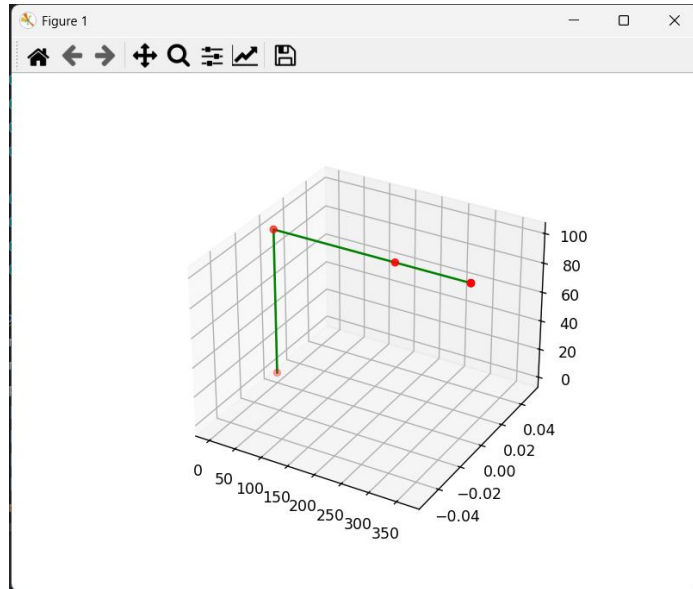


Рис.1.6 – 3Д графік прямої задачі кінематики

Виконання задачі графічним методом:

Графічний метод базується на виконанні задачі побудовою геометричних векторів. Під час розв'язку ми використовуємо відповідні рівняння для знаходження проєкцій векторів. Основною перевагою є його відносна простота і наочність, що дозволяє легко зрозуміти логіку розв'язання.

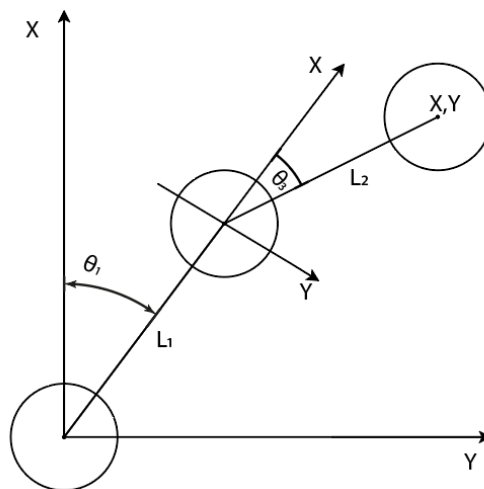


Рис. 1.7 – Схематичне зображення виду зверху

$L_1$  – довжина першого плеча,  $L_1 = 228$  мм.

$L_2$  – довжина другого плеча,  $L_2 = 136,5$  мм.

$\theta_1$  – кут повороту першого плеча  $\theta_2 = 0$  рад.

$\theta_3$  – кут повороту другого плеча  $\theta_3 = 0$  рад.

$$x = L_1 \times \cos(\theta_1) + L_2 \cos(\theta_1 + \theta_2) \quad (1.9)$$

$$y = L_1 \times \sin(\theta_1) + L_2 \sin(\theta_1 + \theta_2) \quad (1.10)$$

Підставимо значення у формули, отримаємо:

$$x = 228 \times \cos(0) + 136,5 \cos(0) = 364,5 \text{ мм} \quad (1.11)$$

$$y = 228 \times \sin(0) + 136,5 \sin(0 + 0) = 0 \text{ мм} \quad (1.12)$$

Ці значення відповідають положенню робота після калібровки.

### 1.5.2. Розв’язання зворотної задачі кінематики

Задачею зворотної кінематики є знаходження таких узагальнених координат (наприклад, кутів повороту), які забезпечують задане положення та орієнтацію ефектора. Ця задача необхідна для планування траєкторії руху.

$$D = \frac{x^2 + y^2 - L_1^2 - L_2^2}{2L_1L_2} \quad (1.13)$$

$$\theta_2 = \arccos(D) \quad (1.14)$$

$$\theta_1 = \arctan2(x, y) - \arctan2(L_2 \times \sin(\theta_2), L_1 + L_2 \times \cos(\theta_2)) \quad (1.15)$$

$$\theta_4 = -90^\circ - (\theta_1 + \theta_3) \quad (1.16)$$

Підставляємо значення

$$D = \frac{364,5^2 + 0^2 - 228^2 - 136,5^2}{2 \times 228 \times 136,5} = 1 \quad (1.17)$$

Якщо  $|D| > 1$ , то координати які ми обчислюємо виходить за робочі межі дії маніпулятора.

$$\theta_2 = \arccos(1) = 0 \text{ рад.} \quad (1.18)$$

$$\theta_1 = \arctan2(364,5, 0) - \arctan2(136,5 \times \sin(0), 228 + 136,5 \times \cos(0)) = 0 \quad (1.19)$$

З обчислень ми бачимо що значення кутів поворотів співпадають.

|     |      |          |        |      |                              |      |
|-----|------|----------|--------|------|------------------------------|------|
|     |      |          |        |      | <i>БР.ПМІ-6100.00.000 ПЗ</i> | Арк. |
| Зм. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата |                              | 19   |

## 1.6 Система керування роботом SCARA

Основні компоненти:

- Мікроконтролер Arduino UNO. Створений на базі 8-бітного процесора ATmega328P, має 14 входів/виходів, з яких 6 можуть бути працювати як ШІМ. Використовується для керування кроковими двигунами та сервоприводом.
- Плата розширення CNC Shield, яка дозволяє підключати до 4 драйверів крокових двигунів, має контакти підключення для кінцевиків.
- Драйвери крокових двигунів A4988 застосовуються для керування двигунами NEMA17. Драйвери приймають сигнали STEP і DIR від мікроконтролера Arduino UNO та керують обертання крокового двигуна.
- Крокові двигуни NEMA17 –приводять усі суглоби робота в рух та рух по осі Z.
- Кінцеві вимикачі – встановлені на кожній осі обертання. При запуску робота, мікроконтролер використовується для калібрування робота, використовуючи для цього кінцеві вимикачі.

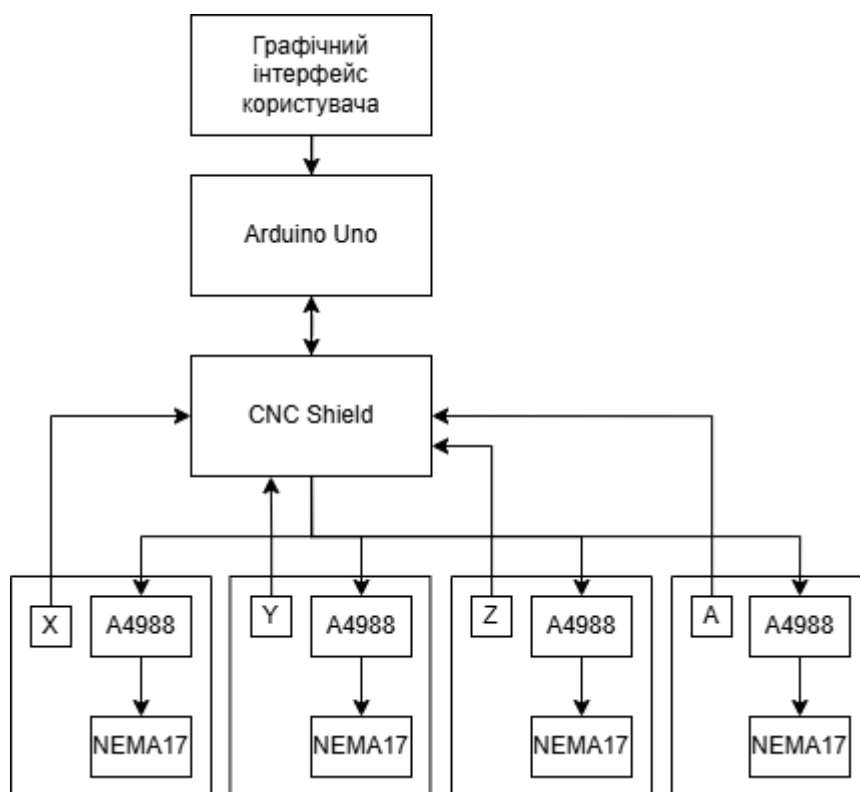


Рис.1.8. - Блок схема системи керування

Логіка роботи системи:

- Запускається система.
- Виконується калібрування.
- Користувач задає координати в графічному інтерфейсі.
- В програмі виконується обчислення зворотної або прямої кінематики.
- Натискаємо команду "RUN". Через послідовний порт надсилається серія

команд у вигляді текстового рядка.

- Arduino приймає команду та розбиває її на параметри руху та генерує сигнали STEP і DIR для кожного драйвера.

|            |             |                 |               |             |                              |             |
|------------|-------------|-----------------|---------------|-------------|------------------------------|-------------|
|            |             |                 |               |             | <i>БР.ПМІ-6100.00.000 ПЗ</i> | <i>Арк.</i> |
| <i>Зм.</i> | <i>Арк.</i> | <i>№ докум.</i> | <i>Підпис</i> | <i>Дата</i> |                              | 21          |

## 2. Проектування захоплювального механізму (схвату)

### 2.1 Види схватів.

Для взаємодії роботизованих систем з навколишнім середовищем потрібний пристрій, який буде захоплювати об'єкти. Вибір оптимального схвату залежить від поставлених задач. Сучасні схвати можна поділити на такі типи:

Механічні схвати. Цей тип є найпоширенішим і функціонує шляхом фізичного контакту та затисканням об'єктів за допомогою щелеп. Вони забезпечують надійне утримування та точне позиціонування. Можуть бути:

- Паралельними, тобто оснащений двома рухомими елементами, як рухаються паралельно. Підходить для захоплення об'єктів з паралельними площинками, циліндричних деталей.

- Багатопальцеві схвати. Вони імітують будову руки людини, мають три або більше пальців. Забезпечують гнучкість та адаптивність, що дозволяє їм схвачувати об'єкти складних форм. Однак є складнішими в керуванні, через складну кінематику.

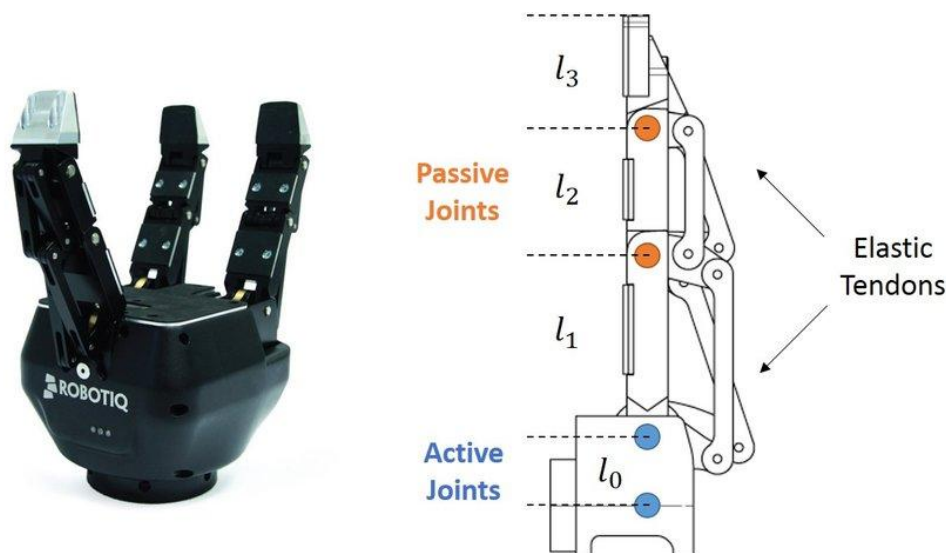


Рис.2.1 - Багато пальцевий схват

Вакуумні схвати. Працюють від різниці тиску. Повітря між присоскою та поверхнею відкачується, створюючи вакуум. Підходять схоплення плоских, легких та крихких об'єктів. Використовують для пакування, переміщення делікатних елементів.

|     |      |          |        |      |                       |      |
|-----|------|----------|--------|------|-----------------------|------|
|     |      |          |        |      | БР.ПМІ-6100.00.000 ПЗ | Арк. |
| Зм. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата |                       | 22   |

Магнітні схвати. Використовують магніти для схоплення об'єктів, які виготовлені з феромагнітних матеріалів. Дозволяють схоплювати та відпускати металеві об'єкти. Обмежені лише феромагнітними матеріалами.

Крім основних типів, ще існують спеціальні схвати, які розроблені для спеціальних завдань:

Голчасті схвати захоплюють об'єкти шляхом проникнення голок в матеріал (наприклад, текстилю або композитів).



Рис.2.2 – Голчастий хват

Пневматичні/м'які схвати. Виготовляються з гнучких матеріалів, які надуваються повітрям, що дозволяє захоплювати об'єкти різних форм та розміру та ризик пошкодити поверхню стає значно меншим.



Рис.2.3 – М'який хват

Вибір схвату є важливим етапом, оскільки він безпосередньо впливає на функціональність роботизованої системи.

|     |      |          |        |      |                       |      |
|-----|------|----------|--------|------|-----------------------|------|
|     |      |          |        |      | БР.ПМІ-6100.00.000 ПЗ | Арк. |
| Зм. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата |                       | 23   |

## 2.2 Постановка задачі.

У системах робототехніки захватний пристрій є невід'ємною частиною роботизованого маніпулятора, тому що він забезпечує фізичну взаємодію з об'єктами.

Для підвищення функціональних можливостей робота SCARA, який розглядається у даній роботі, було поставлено завдання розробки схвату.

Основні вимоги до конструкції:

- Низька маса, яка не буде створювати зайвих навантажень на вісь Z;
- Компактні габаритні розміри, які дозволять легко його інтегрувати до кінцевої ланки маніпулятора без перевищення допустимих габаритних розмірів;
- Зусилля якого буде достатньо для утримання об'єктів.
- Симетричне відкривання/закривання, яке дозволяє легко спозиціювати об'єкт по центру .
- Керування за допомогою широтно-імпульсної модуляції PWM з мікроконтролера Arduino UNO.

Для реалізації було обрано механізм рейково-шестерного типу. Цей механізм дозволяє забезпечити одночасне переміщення двох щелеп за рахунок обертання шестерні, яка керується сервоприводом.

## 2.3 Конструкція схвату та принцип його дії.

Принцип дії схвату полягає у перетворенні обертального руху серводвигуна у поступальний рух двох зубчастих рейок, які забезпечують достатнє зусилля для утримання об'єктів. Через простоту конструкції, яка не потребує контролю положення, керувати захватом можна за допомогою PWM сигналу, вказуючи кут повороту сервоприводу.

|     |      |          |        |      |                              |      |
|-----|------|----------|--------|------|------------------------------|------|
|     |      |          |        |      | <i>БР.ПМІ-6100.00.000 ПЗ</i> | Арк. |
| Зм. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата |                              | 24   |

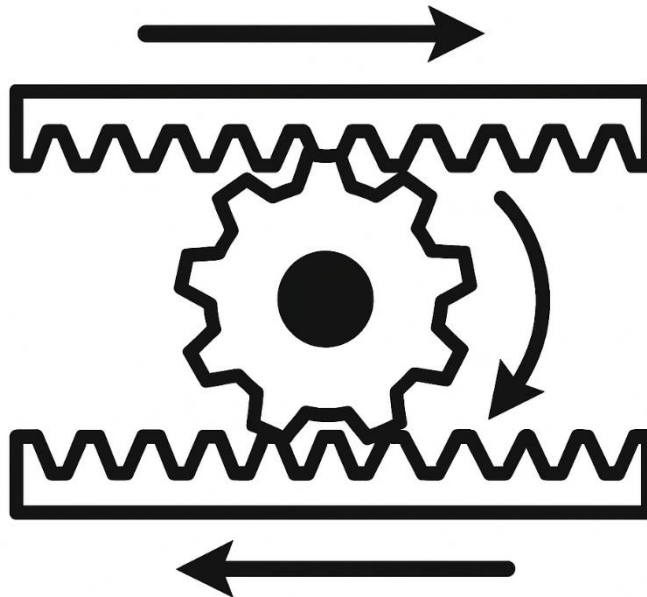


Рис.2.4 – Принцип дії механізму

Конструктивно захват складається з центрального зубчастого колеса, яке приводиться в дію за допомогою сервопривода та двох зубчастих рейок, які розташовані симетрично відносно осі шестерні. При обертанні шестерні відбувається переміщення рейок у протилежні сторони: верхня рейка рухається в ліву сторону, інша вправу сторону. Самі рейки рухаються по напрямним. До рейок кріпляться щелепи, які здійснюють захват об'єктів.

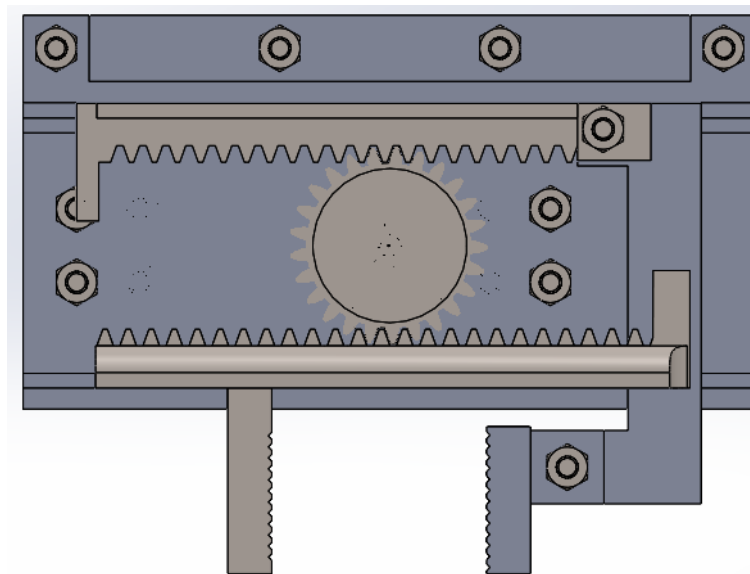


Рис.2.5- Конструкція захвату.

## 2.4 Вибір матеріалів та підготовка до виготовлення.

Після завершення етапу розробки був проведений підбір матеріалів. Особливу увагу було приділено таким параметрам: зносостійкість і жорсткість.

Підбір матеріалів:

*PLA*

- має високу жорсткість і стабільність розмірів;
- зручний у друці;
- втрачає міцність при динамічних навантаженнях;

Висновок: хороший варіант для тестових прототипів, але не підходить для тривалого навантаження.

*PETG*

-має високу зносостійкість та краще тримає ударні навантаження порівняно з PLA;

- менш крихкий за PLA, і не деформується під час динамічних навантажень
- має хороший коефіцієнт тертя

Висновок: оптимальний варіант для виготовлення захвату, так як має потрібні нам механічні властивості та є доступним.

*PA(нейлон)*

- висока міцність, гнучкість
- низький коефіцієнт тертя
- потрібний закритий 3Д принтер або сушіння перед друком.
- застосовується при підвищених навантаженнях.

Висновок: з огляду на даний матеріал для даного захвату є надмірним по характеристикам, вартості та складності виготовлення.

Для виготовлення першого зразка слід використати PLA. Це дасть нам можливість швидкого друку та зручність першого застосування. Проте для тривалого його застосування слід буде його виконати з PETG.

|     |      |          |        |      |                              |      |
|-----|------|----------|--------|------|------------------------------|------|
|     |      |          |        |      | <i>БР.ПМІ-6100.00.000 ПЗ</i> | Арк. |
| Зм. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата |                              | 26   |

## 2.5 Вибір сервоприводу.

Для приводу механізму потрібно було обрати сервопривід, який зміг би забезпечити обертальний рух, достатнє зусилля на валу шестерні, стабільну роботу при навантаженні та можливість керування за допомогою PWM-сигналу. Враховуючи тип навантаження та спосіб керування, було вибрано сервопривід MG996R.

Серводвигун MG996R є широко розповсюдженим аналоговим приводом.

Таблиця 2.1 Характеристики серводвигуна MG996R

|                     |  |
|---------------------|--|
| Тип редуктора:      | металевий, встановлений на 1 шарикопідшипник               |
| Вага:               | 57 грам  |
| Розміри:            | 40,7x19,7x42,9 мм.   |
| Швидкість роботи:   | 0.17sec / 60 градусів (4.8V без навантаження)              |
| Швидкість роботи:   | 0.14sec / 60 градусів (6.0V без навантаження)              |
| Зусилля на валу:    | 9,4 кг / см (4.8В) - 11 кг / см (6В) (за даними виробника) |
| Кут повороту:       | 90-180 градусів (стандарт FUTABA)                          |
| Робоча напруга:     | 4.8 - 7.2 В  |
| Робоча температура: | 0 ... 55 С   |



Рис.2.6. – Сервопривід MG996R

Критерії вибору:

1. Достатній крутний момент.

Для рейково-шестерного механізму необхідно передати достатній крутний момент, якого буде достатньо, що переміщувати щелепи та утримувати об'єкт. MG996R при напрузі 5В, має зусилля на валу 10кг/см, чого більше ніж достатньо для роботи захвату.

2. Металевий редуктор.

Забезпечує високу зносостійкість, точність та менші люфти.

3. Сумісність з Arduino.

Підтримує керування за допомогою PWM широтної імпульсної модуляції.

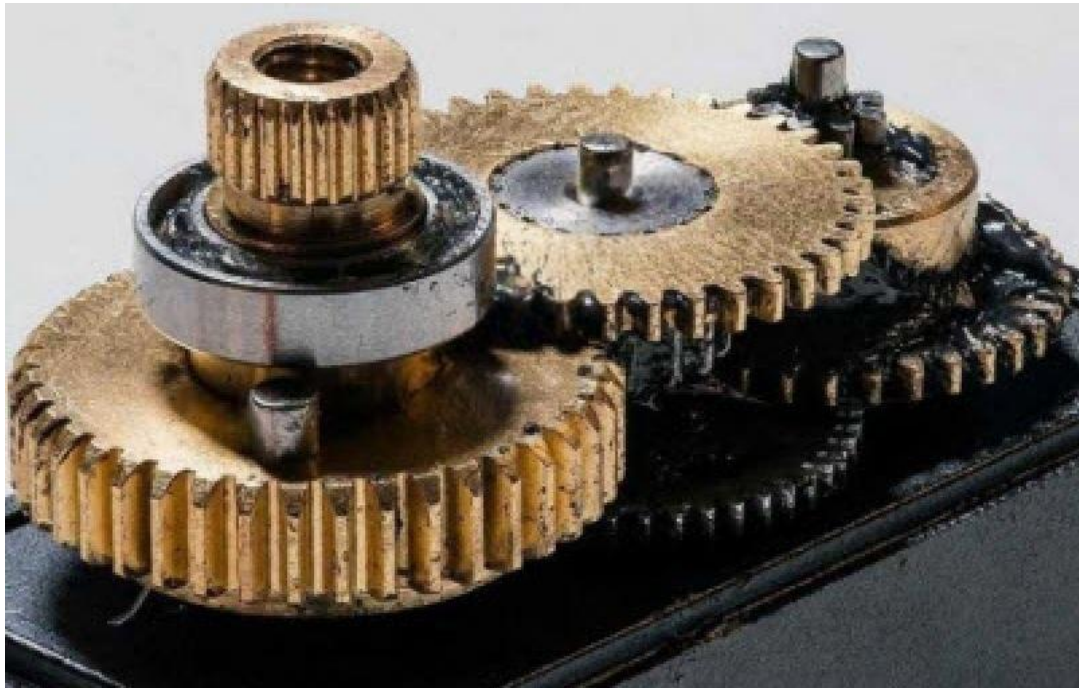


Рис.2.7 – Редуктор MG996R

|     |      |          |        |      |                              |      |
|-----|------|----------|--------|------|------------------------------|------|
|     |      |          |        |      | <i>БР.ПМІ-6100.00.000 ПЗ</i> | Арк. |
| Зм. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата |                              | 28   |

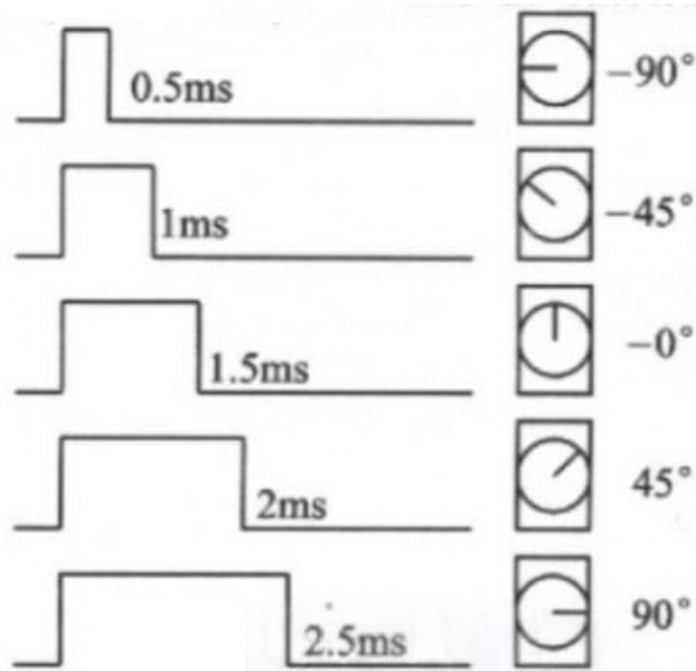


Рис.2.8 – Відповідність довжини сигналу до кута повороту

Можливі альтернативні рішення, які представлені в таблиці 2.2

Таблиця 2.2 Порівняння різних типів редукторів

| Модель | Крутний момент | Матеріал редуктору | Переваги               | Недоліки               |
|--------|----------------|--------------------|------------------------|------------------------|
| MG90S  | 2.2 кг*см      | Метал              | менші розміри          | слабша передача        |
| MG995  | 1.8 кг*см      | Метал              | Дешевший аналог MG996R | частіше перегрівається |
| SG90   | 1.8 кг*см      | Пластик            | Легкий, дешевий        | Недостатній момент     |

Серводвигун MG996R був обраний з огляду на практичність застосування. Його конструкція з металевим редуктором, високим крутним моментом та сумістність з Arduino, робить його оптимальним рішенням.

## 2.6 Моделювання у середовищі Autodesk Inventor

Autodesk Inventor є одним із найпопулярніших та потужним інструментом для створення тривимірних моделей. Розроблене компанією Autodesk, це середовище широко застосовується в машинобудуванні, робототехніці та автоматизації та суміжних областях.

Середовище Inventor дає можливість створювати деталі за допомогою параметричного підходу, що полегшує зміну геометрії. Моделі створюються за допомогою ескізів, операцій на ескізах (наприклад, витягування, обертання, вирізання тощо), та додавання отворів, фасок та інших елементів.

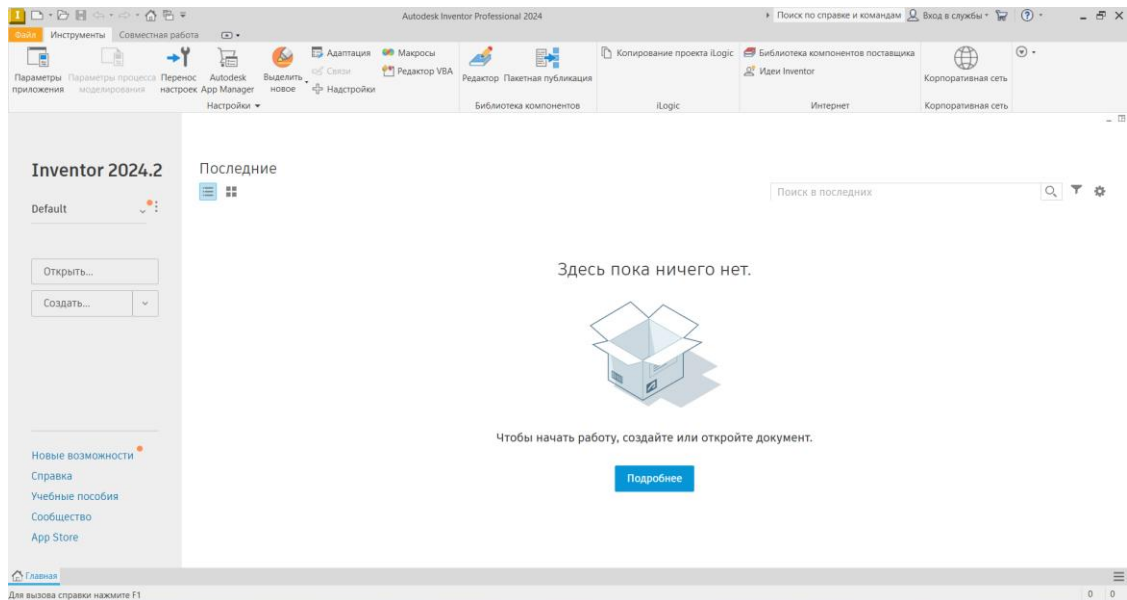


Рис.2.9 – Головний інтерфейс Autodesk Inventor

Крім того, Inventor, має інтеграцію з іншими продуктами компанії Autodesk (наприклад, AutoCad, PowerMill, Fusion 360), також дозволяє зберігати моделі у стандартних CAD форматах (наприклад, STEP, STL).

Однією з його переваг є можливість автоматичного створення документації. Програма дозволяє генерувати креслення з 3D-моделей, додавати розміри, написи, специфікацію та таблиці.

|     |      |          |        |      |                              |      |
|-----|------|----------|--------|------|------------------------------|------|
|     |      |          |        |      | <i>БР.ПМІ-6100.00.000 ПЗ</i> | Арк. |
| Зм. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата |                              | 30   |

## 2.6. Створення механізму схвату.

Для створення шестерні спершу створимо файл збірки. Створивши файл збірки переходимо в вкладку “Проектування” та виберемо “Зубчасте циліндричне зачеплення”, у нас з'явиться діалогове вікно, де ми маємо вказати параметри шестерні. У діалоговому вікні ми задаємо такі параметри: модуль зуба,  $m = 1,5$  мм, кількість зубів шестерні,  $z = 25$ , кут профіля  $20^\circ$  та вказуємо, що не потрібні модулі другого зубчастого колеса.

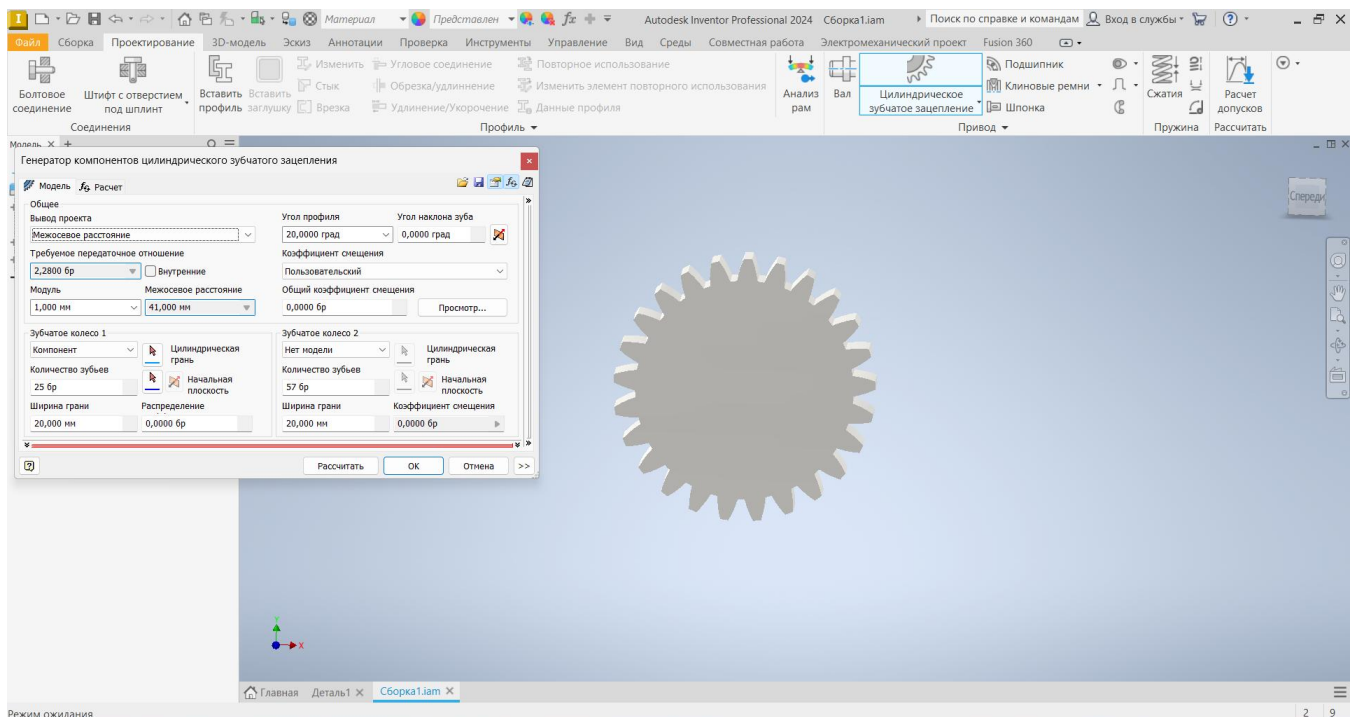


Рис.2.10 – Діалогове вікно для створення шестерні

Далі двічі натискаєм шестерню, вона відкривається як окрема модель, та зберігаємо її.

Створюємо зубчасту рейку.

|     |      |          |        |      |                              |      |
|-----|------|----------|--------|------|------------------------------|------|
|     |      |          |        |      | <i>БР.ПМІ-6100.00.000 ПЗ</i> | Арк. |
| Зм. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата |                              | 31   |

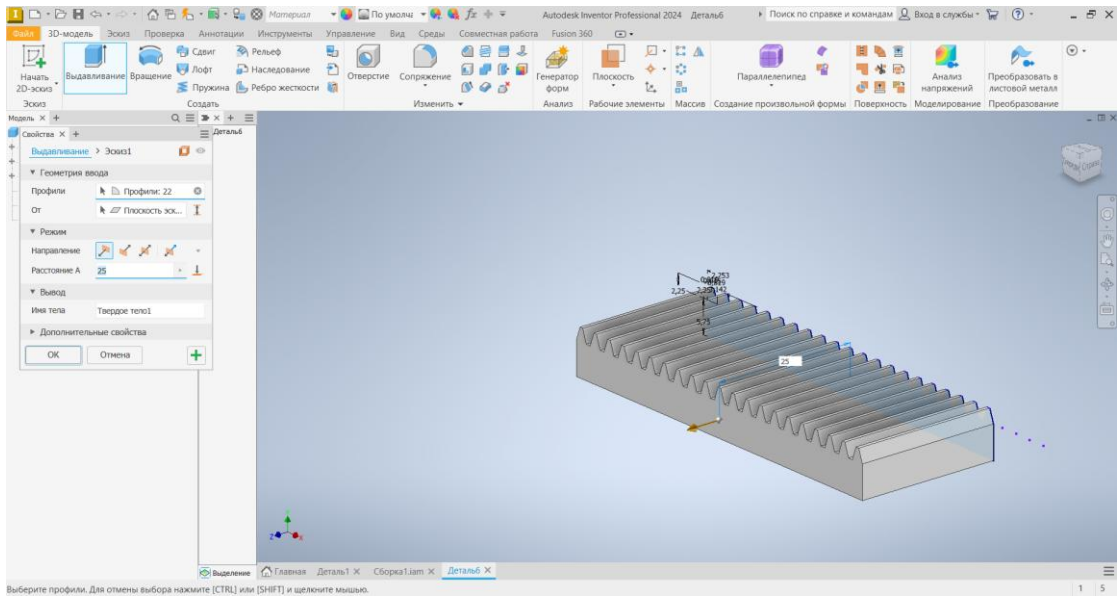


Рис.2.11 - Рейкова шестерня

Далі створюємо збірку для даного механізму.

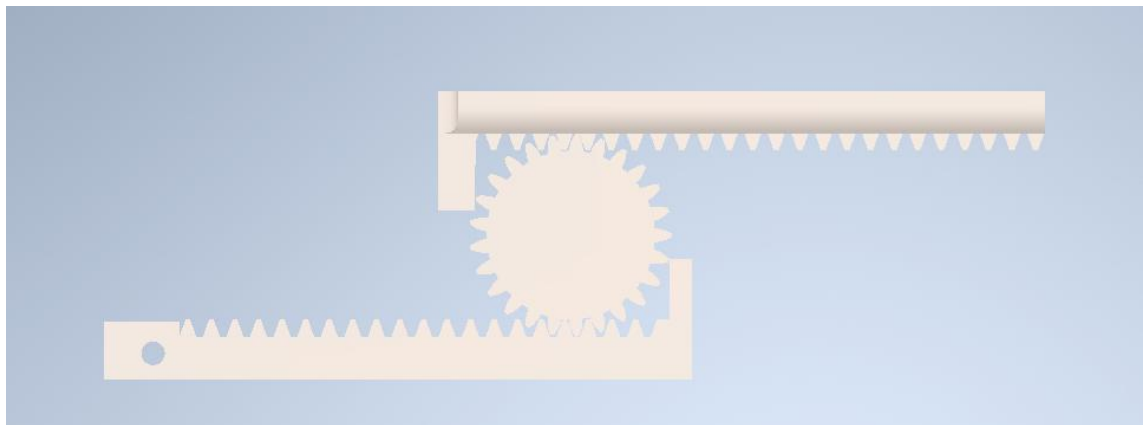


Рис.2.12 – Збірка механізму схвату

### 3. Модернізація конструкції робота SCARA

#### 3.1. Виявлені недоліки конструкції.

В процесі тестувань даної моделі робота SCARA було виявлено ряд недоліків, які негативно впливали на стабільність роботи системи, точність виконання рухів.

##### 1) Провисання башти в напрямку розміщення суглобів.

У результаті тестування було виявлено нахил вертикальної опорної башти, що викликало нахил площини XY, що призводить до некоректної роботи у системі.

Причини цього недоліку є:

- недостатня жорсткість конструкції
- вплив ваги плечей

Це призводить до порушення симетрії обертання, порушення точності розміщення кінцевого ефектора у просторі.



Рис.3.1. – Схематичне зображення деформації

##### 2) Пошкодження кінцевих вимикачів

В результаті випробувань було замічено механічне пошкодження кінцевих вимикачів, можливі причини:

- надмірне зусилля з якою контактує вісь контактує з кінцевиком.

- відсутність амортизації або компенсуючих елементів.

При виході з ладу кінцевиків, робот втрачає можливість знайти базове положення, що призводить до втрати позиціювання в просторі.

### 3.2. Усунення проблеми провисання

Одним із ключових недоліків цієї конструкції є провисання центральної вертикальної опори (далі – башти) – це призводило до втрати точності позиціювання та стабільність обертання плечей. Також такі деформації призводили до створення додаткових навантажень на вал, що призводило до зниження жорсткості всієї конструкції.

З огляду на початкову модель можна сказати, що там використовуються два опорні підшипники 40x60x13 мм та один радіальний 35x47x7 мм. Тут використовується 1 радіальний підшипник, що також призводить до зниження жорсткості вертикальної колони. В таких вузлах слід використовувати пару підшипників.

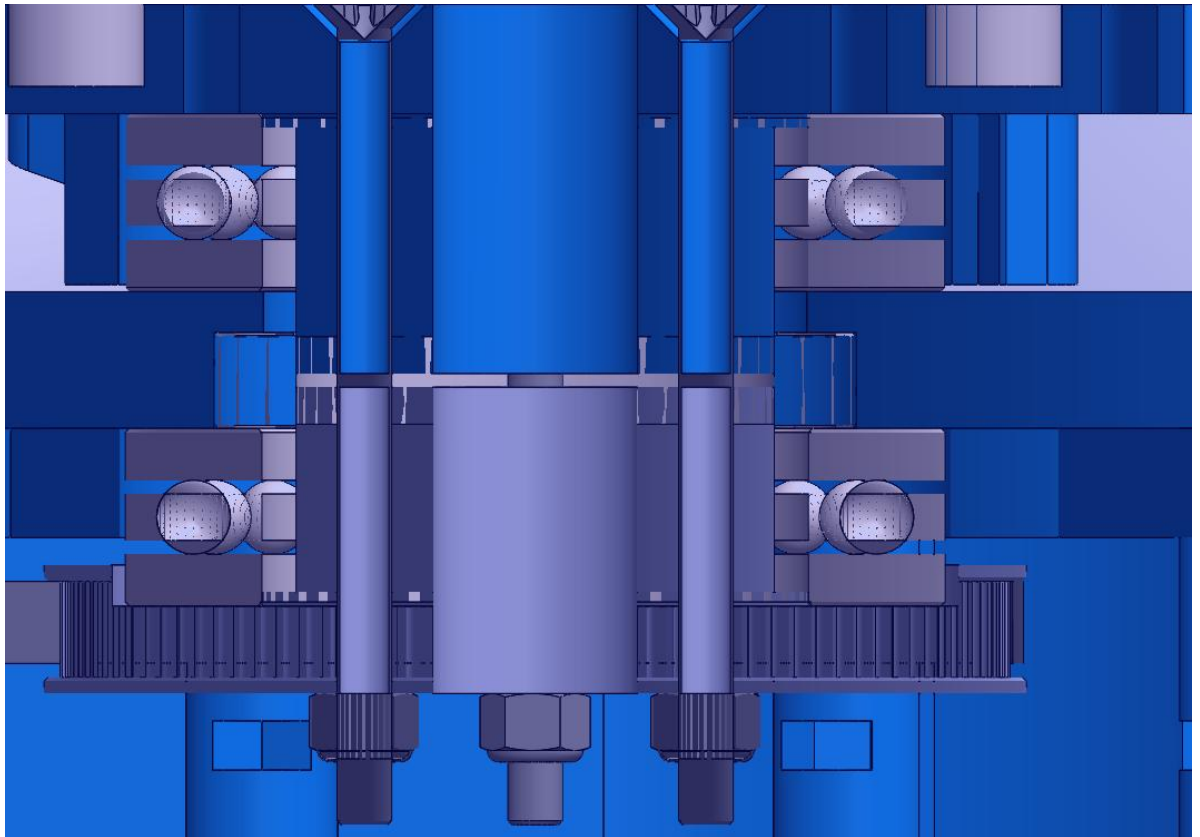


Рис.3.2. – Зображення підшипникового вузла.

|     |      |          |        |      |                              |      |
|-----|------|----------|--------|------|------------------------------|------|
|     |      |          |        |      | <i>БР.ПМІ-6100.00.000 ПЗ</i> | Арк. |
| Зм. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата |                              | 34   |

Для вирішення даної задачі було замінено один підшипник 60x40x13 мм на підшипник більшого діаметра з розмірами 60x78x16 мм, що це нам дає:

- вищу осьову жорсткість
- рівномірній розподіл навантаження на вісь

Через збільшення внутрішнього діаметра з'явилося місце для розміщення другого радіального підшипника 35x47x7 мм, це забезпечує:

- вищу радіальну жорсткість
- додаткову фіксацію вертикальної осі
- кращу стабільність роботи конструкції в динамічних режимах.

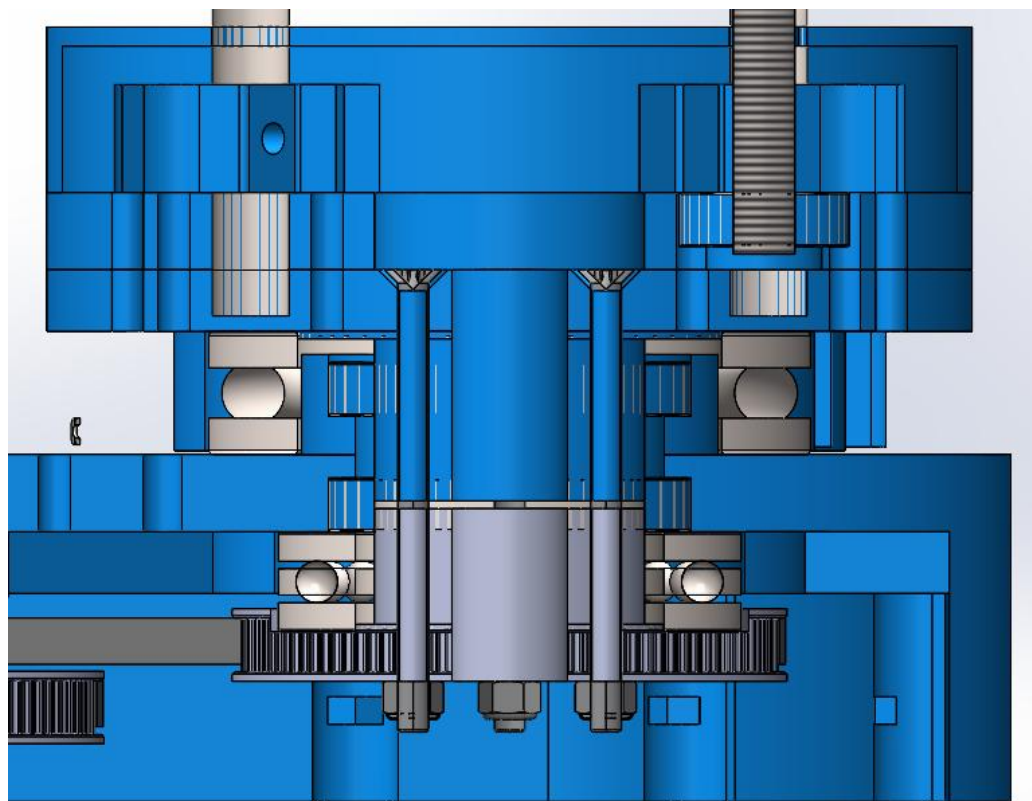


Рис.3.3. – Модифікація підшипникового вузла

У результаті ми отримали конфігурацію, зображену на рисунку 3.3. Внесені зміни до підшипникового вузла призвели до збільшення габаритних розмірів деталі муфта. Це означає, що поточне розташування кінцевого вимикача більше не є придатним. Для збереження точності позиціонування я змістив відповідну частину муфти, що взаємодіє з кінцевим вимикачем, на 39 градусів. Крім того,

|     |      |          |        |      |                              |      |
|-----|------|----------|--------|------|------------------------------|------|
|     |      |          |        |      | <i>БР.ПМІ-6100.00.000 ПЗ</i> | Арк. |
| Зм. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата |                              | 35   |

кріплення кінцевого вимикача також було зміщено на певну відстань і повернено на 39 градусів відносно осі обертання.

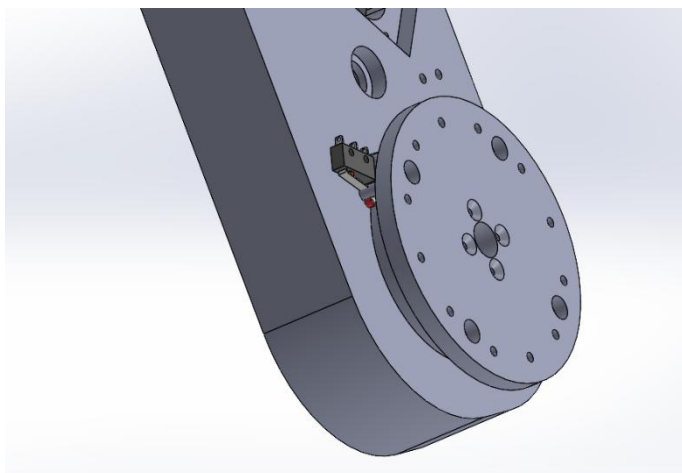


Рис. 3.4. – Зміни, пов'язані з кінцевим вимикачем.

### 3.3 Вирішення проблеми пошкодження кінцевих вимикачів

В конструкції робота SCARA використовуються кінцеві вимикачі kw12-3.

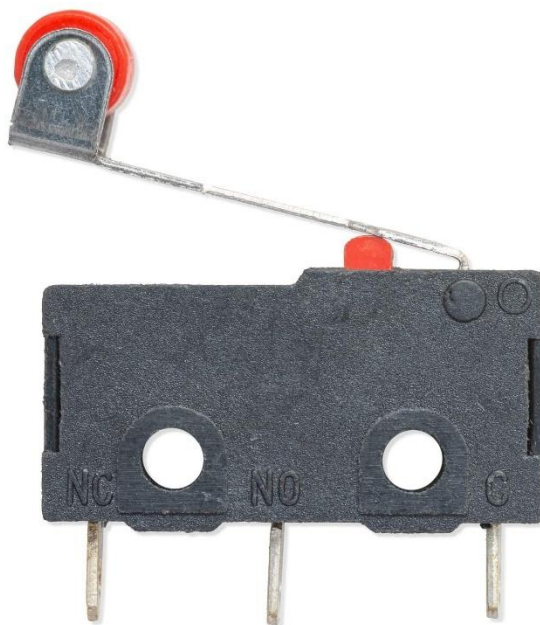


Рис.3.5. – Кінцевий вимикач kw12-3.

Вказаний мікроперемикач відноситься до важільного типу, з встановленим роликом. Така конструкція забезпечує плавне спрацювання кінцевика та зменшує знос важіля.

|     |      |          |        |      |                              |      |
|-----|------|----------|--------|------|------------------------------|------|
|     |      |          |        |      | <i>БР.ПМІ-6100.00.000 ПЗ</i> | Арк. |
| Зм. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата |                              | 36   |

Для підключення використовується 3 контакта:

- NC, нормально замкнений контакт.
- NO, нормально розімкнений контакт.
- COM, спільний контакт.

Зазвичай використовуються контакти COM і NO. Сам кінцевий вимикач працює при 5В, що дозволяє його використовувати з мікроконтролерами типу Arduino, STM.

В даному випадку кінцевики потрібні для знаходження базового положення осей маніпулятора. Під час запуску системи вони забезпечують апаратну фіксацію стартової точки, що необхідне для подальшого використання маніпулятора.

Проблема полягає в тому, що частина яка натискає на кінцевик, робить це з надмірним зусиллям, що призводить до його поломки.

З метою усунення зазначеної проблеми було розглянуто кілька альтернативних варіантів:

#### Варіант 1. Механічний обмежувач:

Пропоную використовувати гвинт М2 або М3 з протилежного від важеля боку. Це гвинт виконує функцію упору, який обмежить подальше пошкодження важеля, проте через навантаження залишаться що призводитиме зносу мікроперемикачу.

Переваги:

- Усуває ризик пошкодження важеля.
- Реалізація з доступних компонентів.

Недоліки:

- Жорстке натискання залишається.
- Ефективність залежить від точності встановлення.

#### Варіант 2. Змінення розміщення деталі.

Цей варіант змінення розміщення кінцевика таким чином, щоб натискання на кінцевик відбувалося через проковзування. Частина яка буде натискати на важіль має бути виконана під кутом.

|            |             |                 |               |             |                              |             |
|------------|-------------|-----------------|---------------|-------------|------------------------------|-------------|
|            |             |                 |               |             | <i>БР.ПМІ-6100.00.000 ПЗ</i> | <i>Арк.</i> |
| <i>Зм.</i> | <i>Арк.</i> | <i>№ докум.</i> | <i>Підпис</i> | <i>Дата</i> |                              | 37          |

Переваги:

- Плавне спрацювання.
- Більша тривалість служби перемикача.

Недоліки:

- Складніше виготовлення.
- Низька можливість у регулюванні.

Для розуміння того, як це має виглядати подаю зображення з реалізацією.

Також можливе розміщення в середині корпусу.

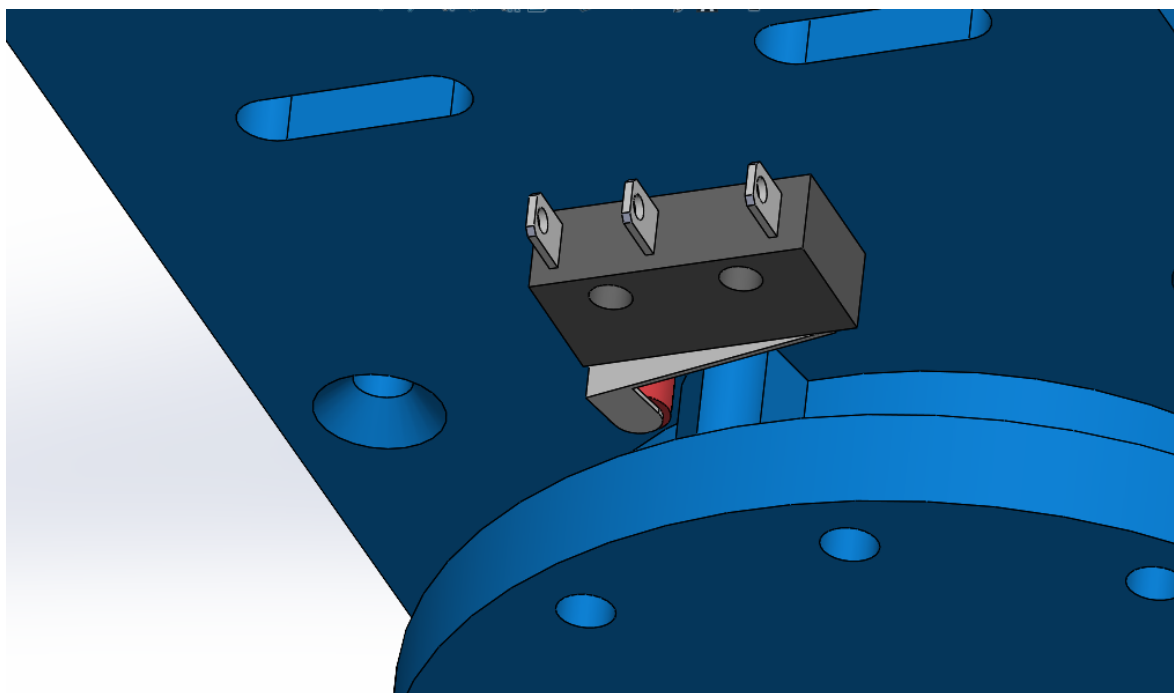


Рис. 3.6. – Реалізація плавного спрацювання кінцевого вимикача.

Таблиця 3.1 Таблиця порівнянь варіантів:

| Критерій     | Варіант 1                     | Варіант 2                      |
|--------------|-------------------------------|--------------------------------|
| Тип контакту | Жорсткий                      | Плавний                        |
| Виготовлення | Просте                        | Потребує точного моделювання   |
| Знос         | Вищий                         | менший                         |
| Стабільність | Залежить від точності монтажу | Вища при правильній реалізації |

|     |      |          |        |      |
|-----|------|----------|--------|------|
|     |      |          |        |      |
| Зм. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата |

БР.ПМІ-6100.00.000 ПЗ

Арк.

38

## 4. Розробка графічного інтерфейсу

### 4.1. Вибір інструментів для створення графічного інтерфейсу

Для зручного та наочного керування роботом SCARA потрібно розробити графічний інтерфейс користувача (GUI), який дозволить задавати координати, керувати рухом робота та змінювати швидкість та прискорення приводів.

Для реалізації інтерфейсу було обрано мову програмування Python, яка є мовою програмування високого рівня. Вона є однією з найбільш гнучких та і зручних мов програмування для створення графічних інтерфейсів.

Безпосередня для створення графічного інтерфейсу було обрана бібліотека pyQT5. Ця бібліотека має широкі можливості, кросплатформеність і підтримку QT Designer.

Для побудови графічної частини інтерфейсу застосовувався QT designer, який дозволяє візуально створювати та розміщувати елементи інтерфейсу, зберігає у вигляді .ui файлу

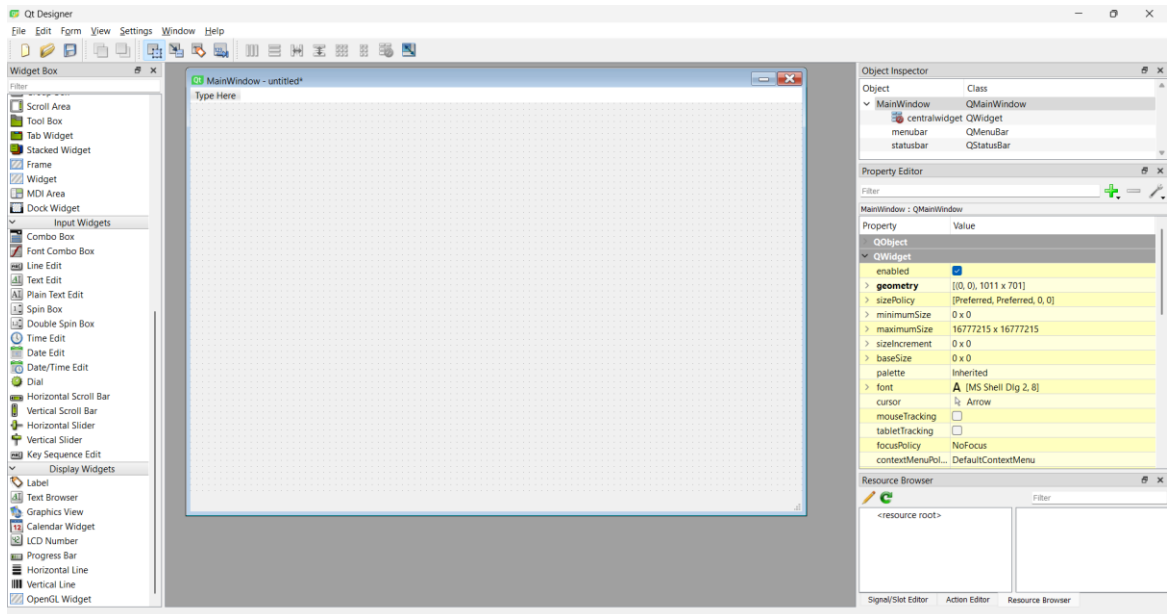


Рис. 4.1 – QT Designer

Реалізацію логіки програми обробки дій користувача та обміну даними між комп'ютером та Arduino було виконано в програмному середовищі PyCharm Community Edition .

|     |      |          |        |      |                              |      |
|-----|------|----------|--------|------|------------------------------|------|
|     |      |          |        |      | <i>БР.ПМІ-6100.00.000 ПЗ</i> | Арк. |
| Зм. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата |                              | 39   |

## 4.2. Створення інтерфейсу користувача в Qt Designer.

Для створення графічної частини інтерфейсу застосовувався QT Designer – візуальний редактор, який входить до складу бібліотеки pyQT5. Його використання значно облегшує роботу, тому ще не потрібно вручну задавати геометрію об'єктів.

Встановлення:

Встановити QT Designer можна кількома способами.

Перший спосіб полягає в встановленні через термінал.

```
pip install PyQT5
```

```
pip install PyQT5-Designer
```

QT5 Designer розміщується у папці lib, яка знаходиться у папці проекту.

Другим способом є встановлення програми з офіційного сайту.

Запускаємо і створюємо новий файл.

Елементи інтерфейсу:

- horizontal slider (QSlider) - застосовується для задання кутів поворотів, прискорення, швидкості та відкривання/закривання сервоприводу захвату.
- label(QLabel) - застосовується для підписання елементів.
- Push Button (QPushButton) - кнопки для запуску команд.
- Line Edit (QLineEdit) - поле вводу та виведення.

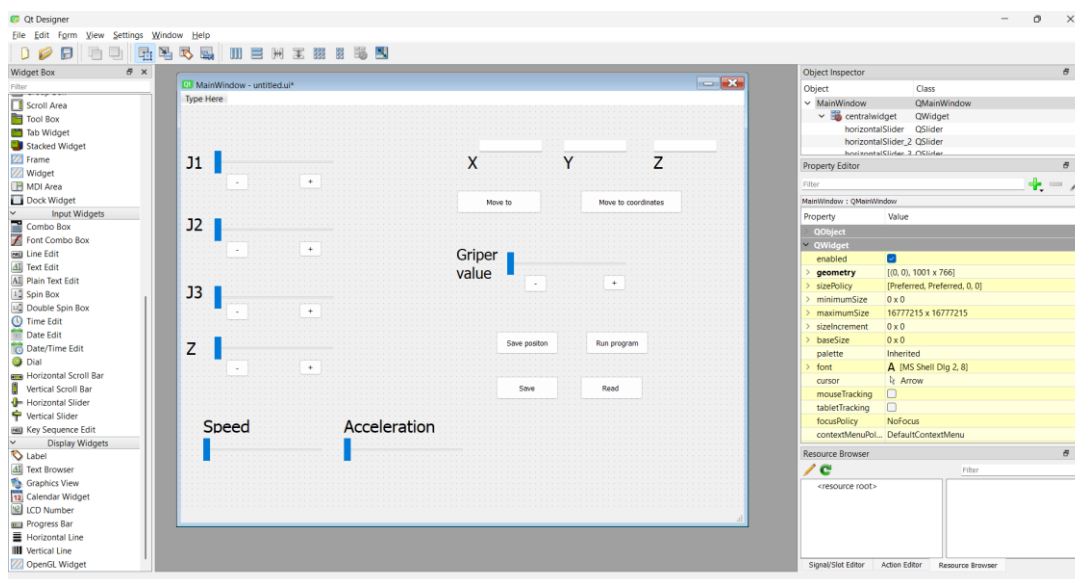


Рис.4.2 – Результат.

Далі необхідно зберегти його в зручному місці.

### 4.3. Конвертація файлу інтерфейсу

Після створення інтерфейсу, у нас є .ui файл. Цей файл на потрібно перетворити у .py файл, для подальшої роботи з інтерфейсом.

Для конвертації файлу потрібна бібліотека PyQt5-tools. В цій бібліотеці знаходиться потрібна нам утиліта ruic5, вона необхідна для перетворення .ui файлу в .py.

Щоб перетворити файл потрібно відкрити термінал та перейти до місця зберігання файлу використовуючи стандартні команди командної строки windows або попередньо зберегти файл у місці проекту. Зайшовши у місце збереження проекту потрібно написати таку команду:

```
ruic5 -x untiled.ui -o untiled.py
```

Після чого ми отримаєм код програми, з яким будемо працювати далі.

### 4.4 Реалізація програмної логіки в середовищі PyCharm

Після конвертації ми отримаєм код python, який реалізований у вигляді класу, який називається Ui\_MainWindow(object). В цьому класі описана геометрія об'єктів та їх розміщення.

Далі буде необхідно задати межі для слайдерів, це буде виглядати так:

```
# Діапазони значень
```

```
self.horizontalSlider.setRange(-90, 266) # Значення theta1 J1 slider  
self.horizontalSlider_2.setRange(-150, 150) # Значення theta2 J2 slider  
self.horizontalSlider_3.setRange(-162, 162) # Значення phi J3 slider  
self.horizontalSlider_4.setRange(0, 150) # Значення Z slider  
self.horizontalSlider_5.setRange(0, 100) # Значення Gripper slider  
self.horizontalSlider_6.setRange(500, 4000) # Значення speed slider  
self.horizontalSlider_7.setRange(500, 4000) # Значення acceleration slider
```

Далі задаємо зміну відображення значень повзунків:

|     |      |          |        |      |                       |      |
|-----|------|----------|--------|------|-----------------------|------|
|     |      |          |        |      | БР.ПМІ-6100.00.000 ПЗ | Арк. |
| Зм. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата |                       | 41   |

```
# Оновлення label при зміні значення
self.horizontalSlider.valueChanged.connect(lambda theta1: self.sliderValue1.setText(str(theta1)))
self.horizontalSlider_2.valueChanged.connect(lambda theta2: self.sliderValue2.setText(str(theta2)))
self.horizontalSlider_3.valueChanged.connect(lambda phi: self.sliderValue3.setText(str(phi)))
self.horizontalSlider_4.valueChanged.connect(lambda Zp: self.sliderValue4.setText(str(Zp)))
self.horizontalSlider_5.valueChanged.connect(lambda G_val: self.sliderValue5.setText(str(G_val)))
self.horizontalSlider_6.valueChanged.connect(lambda speed: self.sliderValue6.setText(str(speed)))
self.horizontalSlider_7.valueChanged.connect(lambda acc: self.sliderValue7.setText(str(acc)))
```

Рис.4.3 – Код оновлення значень.

Далі потрібно створити клас для обчислення кінематики. В цей клас буде закладена зворотна і пряма кінематика.

```
class kinematics:
```

```
    def forward(self, theta1, theta2):
```

```
        theta1 = math.radians(theta1)
```

```
        theta2 = math.radians(theta2)
```

```
        x = self.L1 * math.cos(theta1) + self.L2 * math.cos(theta1 + theta2)
```

```
        y = self.L1 * math.sin(theta1) + self.L2 * math.sin(theta1 + theta2)
```

```
        return round(x), round(y)
```

```
    def inverse(self, x, y):
```

```
        theta2 = math.acos((x ** 2 + y ** 2 - self.L1 ** 2 - self.L2 ** 2) / (2 *
self.L1 * self.L2))
```

```
        if x < 0 and y < 0:
```

```
            theta2 = -theta2
```

```
            theta1 = math.atan2(x, y) - math.atan2(self.L2 * math.sin(theta2), self.L1
+ self.L2 * math.cos(theta2))
```

```
            theta1 = 0
```

Пряма кінематика застосовується, коли користувач переміщає повзунки.

Дальше програмуємо кнопки на виконання заданих команд. Для комунікації використовується бібліотека pyserial. Вона дозволяє застосовувати послідовний порт для комунікації з зовнішнім пристроєм через послідовний порт вводу/виводу.

|     |      |          |        |      |                              |      |
|-----|------|----------|--------|------|------------------------------|------|
|     |      |          |        |      | <i>БР.ПМІ-6100.00.000 ПЗ</i> | Арк. |
| Зм. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата |                              | 42   |

## Висновки

В рамках дипломної роботи було проведено детальний аналіз конструкції робота та заходів щодо підвищення її надійності.

В першому розділі було розглянуто основні типи роботів, історію їх розвитку та проведено аналіз існуючої конструкції робота SCARA.

Другий розділ присвячений процесу розробки захвату маніпулятора, вибору матеріалів та підбору сервоприводу.

У третьому розділі здійснено аналіз виявлених недоліків початкової конструкції робота та описано покращення: посилення підшипникового вузла та модифікацію кріплення кінцевих вимикачів.

Четвертий розділ охоплює розробку графічного інтерфейсу користувача із застосуванням Python, Qt Designer та середовища PyCharm Community Edition, а також реалізацію логіки роботи програми.

|            |             |                 |               |             |                              |      |
|------------|-------------|-----------------|---------------|-------------|------------------------------|------|
|            |             |                 |               |             | <i>БР.ПМІ-6100.00.000 ПЗ</i> | Арк. |
| <i>Зм.</i> | <i>Арк.</i> | <i>№ докум.</i> | <i>Підпис</i> | <i>Дата</i> |                              | 43   |

## Список використаних джерел

1. Дмитрієва І. С., Левченко Д. О. Дослідження кінематичної моделі маніпуляційного робота. Системні технології. 2015. № 3.
2. Лекція 6 . Кінематичний аналіз пр. Розв'язання прямої задачі кінематики. StudFiles. URL: <https://studfile.net/preview/5725414/page:7/>.
3. Проць Я. І. Захоплювальні пристрої промислових роботів : навч. посіб. Тернопіль : Терноп. держ. техн. ун-т ім. І. Пулюя, 2008.
4. Сокол Г. І. Теорія механізмів робототехнічних систем. кінематика. Дніпропетровськ : РВВ ДНУ, 2002.
5. Цвіркун Л. І., Грулер Г. Робототехніка та мехатроніка : навч. посіб. Національний гірничий університет, 2007.
6. Який пластик для 3D друку кращий? Розбираємося разом. 3DDevice. URL: [https://3ddevice.com.ua/faq-voprosy-i-otvety-o-3d-printerakh/plastik-dlia-3d-pechati/#pll\\_switcher](https://3ddevice.com.ua/faq-voprosy-i-otvety-o-3d-printerakh/plastik-dlia-3d-pechati/#pll_switcher).
7. SCARA robot | how to build your own arduino based robot. How To Mechatronics. URL: <https://howtomechatronics.com/projects/scara-robot-how-to-build-your-own-arduino-based-robot/>
8. Riverbank Computing Limited. (Б.д.). *PyQt5 Reference Guide*. URL: <https://www.riverbankcomputing.com/static/Docs/PyQt5/> (Дата перегляду: 11.06.2025).
9. PySerial. (Б.д.). *PySerial Documentation*. URL: <https://pyserial.readthedocs.io/en/latest/>
10. Python Software Foundation. (Б.д.). *Python Documentation*. URL: <https://docs.python.org/>
11. Коваль, В. І. (2020). *Проектування в Autodesk Inventor*. Київ: Основа. 280 с.
12. Theory of Applied Robotics. Reza N.Jazar 2006.
13. Навчальний посібник з дисципліни «Маніпулятори та промислові роботи»//Михайлов Є.П., Лінгур В.М. ОНПУ 2019р.

|     |      |          |        |      |                       |      |
|-----|------|----------|--------|------|-----------------------|------|
|     |      |          |        |      | БР.ПМІ-6100.00.000 ПЗ | Арк. |
| Зм. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата |                       | 44   |

```

# -*- coding: utf-8 -*-

# Form implementation generated from reading ui file 'untitled.ui'
#
# Created by: PyQt5 UI code generator 5.15.11
#
# WARNING: Any manual changes made to this file will be lost when pyuic5 is
# run again. Do not edit this file unless you know what you doing.

from PyQt5 import QtCore, QtGui, QtWidgets
import math, time
import sys
import serial

class kinematics:

    def __init__(self, L1=228, L2=136.5):
        self.L1 = L1 # довжина першої ланки
        self.L2 = L2 # довжина другої ланки

    def inverse(self, x, y):
        try:
            theta2 = math.acos((x ** 2 + y ** 2 - self.L1 ** 2 - self.L2 ** 2) / (2 *
self.L1 * self.L2))
        except ValueError:
            print('недопустимі значення координат, значення J2= 0')
            theta2 = 0

```

|     |      |          |        |      |                              |      |
|-----|------|----------|--------|------|------------------------------|------|
|     |      |          |        |      | <i>БР.ПМІ-6100.00.000 ПЗ</i> | Арк. |
| Зм. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата |                              | 45   |

```

if x < 0 and y < 0:
    theta2 = -theta2
try:
    theta1 = math.atan2(x, y) - math.atan2(self.L2 * math.sin(theta2), self.L1 +
self.L2 * math.cos(theta2))
except ValueError:
    print('недопустимі значення координат, значення J1= 0')
    theta1 = 0
# перетворення в градуси
theta2_deg = -math.degrees(theta2)
theta1_deg = math.degrees(theta1)

# Квадрантна корекція
if x >= 0 and y >= 0: # 1st
    theta1_deg = 90 - theta1_deg
elif x < 0 and y > 0: # 2nd
    theta1_deg = 90 - theta1_deg
elif x < 0 and y < 0: # 3rd
    theta1_deg = 270 - theta1_deg
elif x > 0 and y < 0: # 4th
    theta1_deg = -90 - theta1_deg
elif x < 0 and y == 0:
    theta1_deg = 270 + theta1_deg

# Обчислення кута phi (theta4)
phi = 90 + theta1_deg + theta2_deg
phi = -phi

```

|     |      |          |        |      |                              |      |
|-----|------|----------|--------|------|------------------------------|------|
|     |      |          |        |      | <i>БР.ПМІ-6100.00.000 ПЗ</i> | Арк. |
| Зм. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата |                              | 46   |

```
if x < 0 and y < 0:
```

```
    phi = 270 - theta1_deg - theta2_deg
```

```
if abs(phi) > 165:
```

```
    phi = 180 + phi
```

```
# Округлення
```

```
theta1_rounded = round(theta1_deg)
```

```
theta2_rounded = round(theta2_deg)
```

```
phi_rounded = round(phi)
```

```
return theta1_rounded, theta2_rounded, phi_rounded
```

```
def forward(self, theta1, theta2):
```

```
    theta1_rad = math.radians(theta1)
```

```
    theta2_rad = math.radians(theta2)
```

```
# Рівняння прямої кінематики
```

```
x = self.L1 * math.cos(theta1_rad) + self.L2 * math.cos(theta1_rad +  
theta2_rad)
```

```
y = self.L1 * math.sin(theta1_rad) + self.L2 * math.sin(theta1_rad +  
theta2_rad)
```

```
return round(x), round(y)
```

```
class Ui_MainWindow(object):
```

```
    # Основний клас вікна програми, який обробляє налаштування інтерфейсу  
    користувача та логіку керування роботом.
```

```
    def __init__(self):
```

|     |      |          |        |      |                       |      |
|-----|------|----------|--------|------|-----------------------|------|
|     |      |          |        |      | БР.ПМІ-6100.00.000 ПЗ | Арк. |
| Зм. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата |                       | 47   |

```
self.kinematics = kinematics()
# Ініціалізація прапорців як змінних екземпляра
self.run_status_flag = 0 # 0: Зупинено, 1: Програма виконується
self.save_status_flag = 0
self.data_ = [] # Список для зберігання даних для руху робота
```

```
def setupUi(self, MainWindow):
```

```
    MainWindow.setObjectName("MainWindow")
```

```
    MainWindow.resize(1001, 766)
```

```
    self.centralwidget = QtWidgets.QWidget(MainWindow)
```

```
    self.centralwidget.setObjectName("centralwidget")
```

```
    # Повзунки для Шарніра 1 (J1), Шарніра 2 (J2), Шарніра 3 (J3/Phi) та осі
```

Z

```
    self.horizontalSlider = QtWidgets.QSlider(self.centralwidget)
```

```
    self.horizontalSlider.setGeometry(QtCore.QRect(60, 80, 211, 41))
```

```
    self.horizontalSlider.setOrientation(QtCore.Qt.Horizontal)
```

```
    self.horizontalSlider.setObjectName("horizontalSlider")
```

```
    self.horizontalSlider_2 = QtWidgets.QSlider(self.centralwidget)
```

```
    self.horizontalSlider_2.setGeometry(QtCore.QRect(60, 200, 211, 41))
```

```
    self.horizontalSlider_2.setOrientation(QtCore.Qt.Horizontal)
```

```
    self.horizontalSlider_2.setObjectName("horizontalSlider_2")
```

```
    self.horizontalSlider_3 = QtWidgets.QSlider(self.centralwidget)
```

```
    self.horizontalSlider_3.setGeometry(QtCore.QRect(60, 320, 211, 41))
```

```
    self.horizontalSlider_3.setOrientation(QtCore.Qt.Horizontal)
```

```
    self.horizontalSlider_3.setObjectName("horizontalSlider_3")
```

|            |             |                 |               |             |                              |             |
|------------|-------------|-----------------|---------------|-------------|------------------------------|-------------|
|            |             |                 |               |             | <i>БР.ПМІ-6100.00.000 ПЗ</i> | <i>Арк.</i> |
| <i>Зм.</i> | <i>Арк.</i> | <i>№ докум.</i> | <i>Підпис</i> | <i>Дата</i> |                              | 48          |

```
self.horizontalSlider_4 = QtWidgets.QSlider(self.centralwidget)
self.horizontalSlider_4.setGeometry(QtCore.QRect(60, 410, 211, 41))
self.horizontalSlider_4.setOrientation(QtCore.Qt.Horizontal)
self.horizontalSlider_4.setObjectName("horizontalSlider_4")

# Мітки для Шарніра 1 (J1), Шарніра 2 (J2), Шарніра 3 (J3) та осі Z
self.label = QtWidgets.QLabel(self.centralwidget)
self.label.setGeometry(QtCore.QRect(10, -10, 41, 121))
self.label.setScaledContents(True)
self.label.setWordWrap(True)
self.label.setObjectName("label")

self.label_2 = QtWidgets.QLabel(self.centralwidget)
self.label_2.setGeometry(QtCore.QRect(10, 150, 41, 121))
self.label_2.setScaledContents(True)
self.label_2.setWordWrap(True)
self.label_2.setObjectName("label_2")

self.label_3 = QtWidgets.QLabel(self.centralwidget)
self.label_3.setGeometry(QtCore.QRect(10, 270, 31, 121))
self.label_3.setScaledContents(True)
self.label_3.setWordWrap(True)
self.label_3.setObjectName("label_3")

self.label_4 = QtWidgets.QLabel(self.centralwidget)
self.label_4.setGeometry(QtCore.QRect(10, 370, 16, 121))
self.label_4.setScaledContents(True)
self.label_4.setWordWrap(True)
self.label_4.setObjectName("label_4")
```

```

# Кнопки для збільшення/зменшення значень повзунків
self.pushButton = QtWidgets.QPushButton(self.centralwidget)
self.pushButton.setGeometry(QtCore.QRect(80, 120, 41, 31))
self.pushButton.setObjectName("pushButton")
self.pushButton_2 = QtWidgets.QPushButton(self.centralwidget)
self.pushButton_2.setGeometry(QtCore.QRect(210, 120, 41, 28))
self.pushButton_2.setObjectName("pushButton_2")
self.pushButton_3 = QtWidgets.QPushButton(self.centralwidget)
self.pushButton_3.setGeometry(QtCore.QRect(80, 240, 41, 31))
self.pushButton_3.setObjectName("pushButton_3")
self.pushButton_4 = QtWidgets.QPushButton(self.centralwidget)
self.pushButton_4.setGeometry(QtCore.QRect(210, 240, 41, 28))
self.pushButton_4.setObjectName("pushButton_4")
self.pushButton_5 = QtWidgets.QPushButton(self.centralwidget)
self.pushButton_5.setGeometry(QtCore.QRect(210, 350, 41, 28))
self.pushButton_5.setObjectName("pushButton_5")
self.pushButton_6 = QtWidgets.QPushButton(self.centralwidget)
self.pushButton_6.setGeometry(QtCore.QRect(80, 350, 41, 31))
self.pushButton_6.setObjectName("pushButton_6")
self.pushButton_7 = QtWidgets.QPushButton(self.centralwidget)
self.pushButton_7.setGeometry(QtCore.QRect(210, 450, 41, 28))
self.pushButton_7.setObjectName("pushButton_7")
self.pushButton_8 = QtWidgets.QPushButton(self.centralwidget)
self.pushButton_8.setGeometry(QtCore.QRect(80, 450, 41, 31))
self.pushButton_8.setObjectName("pushButton_8")

# Повзунок значення захвату та пов'язані елементи
self.label_5 = QtWidgets.QLabel(self.centralwidget)

```

|            |             |                 |               |             |                              |             |
|------------|-------------|-----------------|---------------|-------------|------------------------------|-------------|
|            |             |                 |               |             | <i>БР.ПМІ-6100.00.000 ПЗ</i> | <i>Арк.</i> |
| <i>Зм.</i> | <i>Арк.</i> | <i>№ докум.</i> | <i>Підпис</i> | <i>Дата</i> |                              | 50          |

```
self.label_5.setGeometry(QtCore.QRect(490, 220, 111, 121))
self.label_5.setScaledContents(True)
self.label_5.setWordWrap(True)
self.label_5.setObjectName("label_5")
self.horizontalSlider_5 = QtWidgets.QSlider(self.centralwidget)
self.horizontalSlider_5.setGeometry(QtCore.QRect(580, 260, 211, 41))
self.horizontalSlider_5.setOrientation(QtCore.Qt.Horizontal)
self.horizontalSlider_5.setObjectName("horizontalSlider_5")
self.pushButton_9 = QtWidgets.QPushButton(self.centralwidget)
self.pushButton_9.setGeometry(QtCore.QRect(750, 300, 41, 28))
self.pushButton_9.setObjectName("pushButton_9")
self.pushButton_10 = QtWidgets.QPushButton(self.centralwidget)
self.pushButton_10.setGeometry(QtCore.QRect(610, 300, 41, 31))
self.pushButton_10.setObjectName("pushButton_10")
```

# Кнопки дій

```
self.pushButton_11 = QtWidgets.QPushButton(self.centralwidget)
self.pushButton_11.setGeometry(QtCore.QRect(490, 150, 151, 41))
self.pushButton_11.setObjectName("pushButton_11")
self.pushButton_12 = QtWidgets.QPushButton(self.centralwidget)
self.pushButton_12.setGeometry(QtCore.QRect(710, 150, 181, 41))
self.pushButton_12.setObjectName("pushButton_12")
self.pushButton_13 = QtWidgets.QPushButton(self.centralwidget)
self.pushButton_13.setGeometry(QtCore.QRect(560, 400, 111, 41))
self.pushButton_13.setObjectName("pushButton_13")
self.pushButton_14 = QtWidgets.QPushButton(self.centralwidget)
self.pushButton_14.setGeometry(QtCore.QRect(560, 480, 111, 41))
self.pushButton_14.setObjectName("pushButton_14")
self.pushButton_15 = QtWidgets.QPushButton(self.centralwidget)
```

```
self.pushButton_15.setGeometry(QtCore.QRect(720, 400, 111, 41))
self.pushButton_15.setObjectName("pushButton_15")
self.pushButton_16 = QtWidgets.QPushButton(self.centralwidget)
self.pushButton_16.setGeometry(QtCore.QRect(710, 480, 111, 41))
self.pushButton_16.setObjectName("pushButton_16")
```

# Редактори рядків для координат X, Y, Z (для введення оберненої кінематики)

```
self.lineEdit = QtWidgets.QLineEdit(self.centralwidget)
self.lineEdit.setGeometry(QtCore.QRect(530, 60, 113, 22))
self.lineEdit.setText("")
self.lineEdit.setObjectName("lineEdit")
self.lineEdit_2 = QtWidgets.QLineEdit(self.centralwidget)
self.lineEdit_2.setGeometry(QtCore.QRect(680, 60, 113, 22))
self.lineEdit_2.setObjectName("lineEdit_2")
self.lineEdit_3 = QtWidgets.QLineEdit(self.centralwidget)
self.lineEdit_3.setGeometry(QtCore.QRect(840, 60, 113, 22))
self.lineEdit_3.setObjectName("lineEdit_3")
```

# Мітки для полів введення X, Y, Z

```
self.label_6 = QtWidgets.QLabel(self.centralwidget)
self.label_6.setGeometry(QtCore.QRect(510, 40, 21, 121))
self.label_6.setScaledContents(True)
self.label_6.setWordWrap(True)
self.label_6.setObjectName("label_6")
self.label_7 = QtWidgets.QLabel(self.centralwidget)
self.label_7.setGeometry(QtCore.QRect(680, 40, 21, 121))
self.label_7.setScaledContents(True)
self.label_7.setWordWrap(True)
```

```
self.label_7.setObjectName("label_7")
self.label_8 = QtWidgets.QLabel(self.centralwidget)
self.label_8.setGeometry(QtCore.QRect(840, 40, 16, 121))
self.label_8.setScaledContents(True)
self.label_8.setWordWrap(True)
self.label_8.setObjectName("label_8")
```

# Мітки для відображення розрахованих X, Y, Z (виведення прямої кінематики)

```
self.label_11 = QtWidgets.QLabel(self.centralwidget)
self.label_11.setGeometry(QtCore.QRect(544, 95, 81, 21))
self.label_11.setText("")
self.label_11.setObjectName("label_11")
self.label_14 = QtWidgets.QLabel(self.centralwidget)
self.label_14.setGeometry(QtCore.QRect(710, 90, 81, 21))
self.label_14.setText("")
self.label_14.setObjectName("label_14")
self.label_15 = QtWidgets.QLabel(self.centralwidget)
self.label_15.setGeometry(QtCore.QRect(870, 90, 81, 21))
self.label_15.setText("")
self.label_15.setObjectName("label_15")
```

# Повзунки для Швидкості та Прискорення

```
self.horizontalSlider_6 = QtWidgets.QSlider(self.centralwidget)
self.horizontalSlider_6.setGeometry(QtCore.QRect(40, 590, 211, 41))
self.horizontalSlider_6.setOrientation(QtCore.Qt.Horizontal)
self.horizontalSlider_6.setObjectName("horizontalSlider_6")
self.horizontalSlider_7 = QtWidgets.QSlider(self.centralwidget)
self.horizontalSlider_7.setGeometry(QtCore.QRect(340, 590, 211, 41))
```

```
self.horizontalSlider_7.setOrientation(QtCore.Qt.Horizontal)
self.horizontalSlider_7.setObjectName("horizontalSlider_7")
```

```
# Мітки для Швидкості та Прискорення
```

```
self.label_12 = QtWidgets.QLabel(self.centralwidget)
self.label_12.setGeometry(QtCore.QRect(40, 550, 111, 31))
self.label_12.setScaledContents(True)
self.label_12.setWordWrap(True)
self.label_12.setObjectName("label_12")
self.label_13 = QtWidgets.QLabel(self.centralwidget)
self.label_13.setGeometry(QtCore.QRect(340, 550, 181, 31))
self.label_13.setScaledContents(True)
self.label_13.setWordWrap(True)
self.label_13.setObjectName("label_13")
```

```
MainWindow.setCentralWidget(self.centralwidget)
self.menubar = QtWidgets.QMenuBar(MainWindow)
self.menubar.setGeometry(QtCore.QRect(0, 0, 1001, 26))
self.menubar.setObjectName("menubar")
MainWindow.setMenuBar(self.menubar)
self.statusbar = QtWidgets.QStatusBar(MainWindow)
self.statusbar.setObjectName("statusbar")
MainWindow.setStatusBar(self.statusbar)
```

```
# Мітки для відображення поточних значень повзунків
self.sliderValue1 = QtWidgets.QLabel(self.centralwidget)
self.sliderValue1.setGeometry(QtCore.QRect(280, 80, 40, 41))
self.sliderValue2 = QtWidgets.QLabel(self.centralwidget)
```

```

self.sliderValue2.setGeometry(QtCore.QRect(280, 200, 40, 41))
self.sliderValue3 = QtWidgets.QLabel(self.centralwidget)
self.sliderValue3.setGeometry(QtCore.QRect(280, 320, 40, 41))
self.sliderValue4 = QtWidgets.QLabel(self.centralwidget)
self.sliderValue4.setGeometry(QtCore.QRect(280, 410, 40, 41))
self.sliderValue5 = QtWidgets.QLabel(self.centralwidget)
self.sliderValue5.setGeometry(QtCore.QRect(800, 260, 40, 41))
self.sliderValue6 = QtWidgets.QLabel(self.centralwidget)
self.sliderValue6.setGeometry(QtCore.QRect(260, 590, 40, 41))
self.sliderValue7 = QtWidgets.QLabel(self.centralwidget)
self.sliderValue7.setGeometry(QtCore.QRect(560, 590, 40, 41))

```

# Діапазони значень

```

self.horizontalSlider.setRange(-90, 266) # Значення theta1 J1 slider
self.horizontalSlider_2.setRange(-150, 150) # Значення theta2 J2 slider
self.horizontalSlider_3.setRange(-162, 162) # Значення phi J3 slider
self.horizontalSlider_4.setRange(0, 150) # Значення Z slider
self.horizontalSlider_5.setRange(0, 100) # Значення Gripper slider
self.horizontalSlider_6.setRange(500, 4000) # Значення speed slider
self.horizontalSlider_7.setRange(500, 4000) # Значення acceleration slider

```

# Оновлення label при зміні значення

```

self.horizontalSlider.valueChanged.connect(lambda theta1:
self.sliderValue1.setText(str(theta1)))
self.horizontalSlider_2.valueChanged.connect(lambda theta2:
self.sliderValue2.setText(str(theta2)))
self.horizontalSlider_3.valueChanged.connect(lambda phi:
self.sliderValue3.setText(str(phi)))

```

```

        self.horizontalSlider_4.valueChanged.connect(lambda Zp:
self.sliderValue4.setText(str(Zp)))

        self.horizontalSlider_5.valueChanged.connect(lambda G_val:
self.sliderValue5.setText(str(G_val)))

        self.horizontalSlider_6.valueChanged.connect(lambda speed:
self.sliderValue6.setText(str(speed)))

        self.horizontalSlider_7.valueChanged.connect(lambda acc:
self.sliderValue7.setText(str(acc)))

```

# Ініціалізація міток відображення поточними значеннями повзунків

```

self.sliderValue1.setText(str(self.horizontalSlider.value()))
self.sliderValue2.setText(str(self.horizontalSlider_2.value()))
self.sliderValue3.setText(str(self.horizontalSlider_3.value()))
self.sliderValue4.setText(str(self.horizontalSlider_4.value()))
self.sliderValue5.setText(str(self.horizontalSlider_5.value()))
self.sliderValue6.setText(str(self.horizontalSlider_6.value()))
self.sliderValue7.setText(str(self.horizontalSlider_7.value()))

```

#Задачання початкового значення

```

self.horizontalSlider_4.setValue(100)

```

# Tetha1 +-1 градусів кнопка

```

self.pushButton_2.clicked.connect(lambda:self.horizontalSlider.setValue(self.horizontalS
lider.value() + 1)) # кнопка +

```

```

        self.pushButton.clicked.connect(lambda:
self.horizontalSlider.setValue(self.horizontalSlider.value() - 1)) # кнопка -

```

# Tetha2 +-1 градусів

|     |      |          |        |      |                              |      |
|-----|------|----------|--------|------|------------------------------|------|
|     |      |          |        |      | <i>БР.ПМІ-6100.00.000 ПЗ</i> | Арк. |
| Зм. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата |                              | 56   |

```

self.pushButton_4.clicked.connect(lambda:
self.horizontalSlider_2.setValue(self.horizontalSlider_2.value() + 1))# кнопка +
self.pushButton_3.clicked.connect(lambda:
self.horizontalSlider_2.setValue(self.horizontalSlider_2.value() - 1))# кнопка -
# phi +-1 градусів
self.pushButton_5.clicked.connect(lambda:
self.horizontalSlider_3.setValue(self.horizontalSlider_3.value() + 1))# кнопка +
self.pushButton_6.clicked.connect(lambda:
self.horizontalSlider_3.setValue(self.horizontalSlider_3.value() - 1))# кнопка -
# Z +-1
self.pushButton_7.clicked.connect(lambda:
self.horizontalSlider_4.setValue(self.horizontalSlider_4.value() + 1))# кнопка +
self.pushButton_8.clicked.connect(lambda:
self.horizontalSlider_4.setValue(self.horizontalSlider_4.value() - 1))# кнопка -
# Z +-1
self.pushButton_9.clicked.connect(lambda:
self.horizontalSlider_5.setValue(self.horizontalSlider_5.value() + 1)) # кнопка +
self.pushButton_10.clicked.connect(lambda:
self.horizontalSlider_5.setValue(self.horizontalSlider_5.value() - 1)) # кнопка -

# Підключення кнопок дій до відповідних функцій
self.pushButton_13.clicked.connect(self.save_current_position) # кнопка
"Save position"
self.pushButton_11.clicked.connect(self.send_data) # кнопка "Send to
Arduino"
self.pushButton_12.clicked.connect(self.update_inverse_kinematics)#
кнопка "Move to coordinates"

```

|     |      |          |        |      |                              |      |
|-----|------|----------|--------|------|------------------------------|------|
|     |      |          |        |      | <i>БР.ПМІ-6100.00.000 ПЗ</i> | Арк. |
| Зм. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата |                              | 57   |

```

        self.pushButton_15.clicked.connect(self.run_program)      # кнопка "Run
program"
        self.pushButton_14.clicked.connect(self.save_to_file)    # кнопка "Save"
(зберігає всі зібрані позиції)
        self.pushButton_16.clicked.connect(self.load_from_file)  # кнопка
"Load" (завантажує позиції з файлу)

        #спацювання прямої кінематики після відпускання повзунка

self.horizontalSlider.sliderReleased.connect(self.update_forward_kinematics)

self.horizontalSlider_2.sliderReleased.connect(self.update_forward_kinematics)

self.horizontalSlider_4.sliderReleased.connect(self.update_forward_kinematics)

        # Встановлення початкових значень для полів введення X, Y, Z
self.lineEdit.setText(str(364))
self.lineEdit_2.setText(str(0))
self.lineEdit_3.setText(str(100))

        # Виконання початкового оновлення прямої кінематики
self.update_forward_kinematics()
QtCore.QMetaObject.connectSlotsByName(MainWindow)
self.retranslateUi(MainWindow)

def retranslateUi(self, MainWindow):
    _translate = QtCore.QCoreApplication.translate
    MainWindow.setWindowTitle(_translate("MainWindow", "Robotic Arm
Controller"))

```

```

        self.label.setText(_translate("MainWindow",
"<html><head/><body><p><span                                style=\"                                font-
size:18pt;\">J1</span></p></body></html>"))
        self.label_2.setText(_translate("MainWindow",
"<html><head/><body><p><span                                style=\"                                font-
size:18pt;\">J2</span></p></body></html>"))
        self.label_3.setText(_translate("MainWindow",
"<html><head/><body><p><span                                style=\"                                font-
size:18pt;\">J3</span></p></body></html>"))
        self.label_4.setText(_translate("MainWindow",
"<html><head/><body><p><span                                style=\"                                font-
size:18pt;\">Z</span></p></body></html>"))
        self.pushButton.setText(_translate("MainWindow", "-"))
        self.pushButton_2.setText(_translate("MainWindow", "+"))
        self.pushButton_3.setText(_translate("MainWindow", "-"))
        self.pushButton_4.setText(_translate("MainWindow", "+"))
        self.pushButton_5.setText(_translate("MainWindow", "+"))
        self.pushButton_6.setText(_translate("MainWindow", "-"))
        self.pushButton_7.setText(_translate("MainWindow", "+"))
        self.pushButton_8.setText(_translate("MainWindow", "-"))
        self.label_5.setText(_translate("MainWindow",
"<html><head/><body><p><span                                style=\"                                font-size:16pt;\">Gripper
value</span></p></body></html>"))
        self.pushButton_9.setText(_translate("MainWindow", "+"))
        self.pushButton_10.setText(_translate("MainWindow", "-"))
        self.pushButton_11.setText(_translate("MainWindow", "Send to Arduino"))
        self.pushButton_12.setText(_translate("MainWindow", "Move to
Coordinates"))
        self.pushButton_13.setText(_translate("MainWindow", "Save Position"))

```

```

self.pushButton_14.setText(_translate("MainWindow", "Save Program"))
self.pushButton_15.setText(_translate("MainWindow", "Run Program"))
self.pushButton_16.setText(_translate("MainWindow", "Load Program"))
self.label_6.setText(_translate("MainWindow",
"<html><head/><body><p><span style=\" font-size:18pt;\">X</span></p></body></html>"))
self.label_7.setText(_translate("MainWindow",
"<html><head/><body><p><span style=\" font-size:18pt;\">Y</span></p></body></html>"))
self.label_8.setText(_translate("MainWindow",
"<html><head/><body><p><span style=\" font-size:18pt;\">Z</span></p></body></html>"))
self.label_12.setText(_translate("MainWindow",
"<html><head/><body><p><span style=\" font-size:18pt;\">Speed</span></p></body></html>"))
self.label_13.setText(_translate("MainWindow",
"<html><head/><body><p><span style=\" font-size:18pt;\">Acceleration</span></p></body></html>"))

```

```
def update_forward_kinematics(self):
```

```

# Оновлює відображені координати X, Y, Z на основі поточних значень
повзунків суглобів

```

```
# за допомогою прямої кінематики.
```

```
theta1 = self.horizontalSlider.value()
```

```
theta2 = self.horizontalSlider_2.value()
```

```
zP = self.horizontalSlider_4.value() # Значення Z з повзунка
```

```
x, y = self.kinematics.forward(theta1, theta2)
```

```
print(f'Пряма кінематика: x = {x}, y = {y}, z = {zP}')
```

|     |      |          |        |      |                              |      |
|-----|------|----------|--------|------|------------------------------|------|
|     |      |          |        |      | <i>БР.ПМІ-6100.00.000 ПЗ</i> | Арк. |
| Зм. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата |                              | 60   |

```

self.label_11.setText(str(x))
self.label_14.setText(str(y))
self.label_15.setText(str(zP)) # Оновлення відображеного Z

def update_inverse_kinematics(self):

    X = int(self.lineEdit.text())
    Y = int(self.lineEdit_2.text())
    Z = int(self.lineEdit_3.text()) # Отримання Z з поля введення

    theta1, theta2, phi = self.kinematics.inverse(X, Y)

    if self.horizontalSlider.minimum() <= theta1 <=
self.horizontalSlider.maximum():
        self.horizontalSlider.setValue(theta1)
    else:
        print(f"Розрахований J1 ({{theta1}}) поза діапазоном. Повзунок не
оновлено.")

    if self.horizontalSlider_2.minimum() <= theta2 <=
self.horizontalSlider_2.maximum():
        self.horizontalSlider_2.setValue(theta2)
    else:
        print(f"Розрахований J2 ({{theta2}}) поза діапазоном. Повзунок не
оновлено.")

    if self.horizontalSlider_3.minimum() <= phi <=
self.horizontalSlider_3.maximum():
        self.horizontalSlider_3.setValue(phi)

```

|     |      |          |        |      |                              |      |
|-----|------|----------|--------|------|------------------------------|------|
|     |      |          |        |      | <i>БР.ПМІ-6100.00.000 ПЗ</i> | Арк. |
| Зм. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата |                              | 61   |

```

else:
    print(f"Розрахований J3 (phi) ({phi}) поза діапазоном. Повзунок не оновлено.")

# Оновлення відображених значень X, Y, Z для відображення цільових координат
self.label_11.setText(str(X))
self.label_14.setText(str(Y))
self.label_15.setText(str(Z))

def get_current_robot_state(self):
    # Отримує поточні значення з усіх відповідних повзунків та входів інтерфейсу користувача.
    theta1 = self.horizontalSlider.value()
    theta2 = self.horizontalSlider_2.value()
    phi = self.horizontalSlider_3.value()
    z = self.horizontalSlider_4.value() # Значення Z з повзунка
    gval = 50 + (self.horizontalSlider_5.value()) # Значення захвату
    speed = self.horizontalSlider_6.value()
    acceleration = self.horizontalSlider_7.value()

    return (self.save_status_flag, self.run_status_flag,
            theta1, theta2, phi, z, gval, speed, acceleration)

def save_current_position(self):
    # Зберігає поточний стан робота та додає його до списку збережених позицій (self.data_).
    current_state = self.get_current_robot_state()
    self.data_.append(current_state)

```

|     |      |          |        |      |                              |      |
|-----|------|----------|--------|------|------------------------------|------|
|     |      |          |        |      | <i>БР.ПМІ-6100.00.000 ПЗ</i> | Арк. |
| Зм. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата |                              | 62   |

```

print("Позицію збережено:", current_state)

def send_data(self):
    # Надсилає поточний стан робота безпосередньо з повзунків інтерфейсу
користувача на Arduino.

    port = 'COM4'
    baudrate = 115200

    current_state = self.get_current_robot_state()
    data_to_send = ','.join(map(str, current_state)) + '\n'

    try:
        with serial.Serial(port, baudrate, timeout=1) as ser:
            time.sleep(2)
            ser.write(data_to_send.encode('utf-8'))
            print("Current data sent:", data_to_send.strip())
    except serial.SerialException as e:
        QtWidgets.QMessageBox.warning(MainWindow, "Serial Port Error",
            f"Could not open serial port {port}. Error: {e}")
        print("Помилка відкриття послідовного порту: ", e)

def save_to_file(self):
    # Зберігає всі зібрані позиції робота (`self.data_`) у текстовий файл.
    # Кожна позиція зберігається на новому рядку як рядок, розділений
КОМАМИ.

    try:
        file_name, _ = QtWidgets.QFileDialog.getSaveFileName(

```

|     |      |          |        |      |                              |      |
|-----|------|----------|--------|------|------------------------------|------|
|     |      |          |        |      | <i>БР.ПМІ-6100.00.000 ПЗ</i> | Арк. |
| Зм. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата |                              | 63   |

```

        MainWindow, "Save Program File", "program_data.txt", "Text Files
(*.txt);;All Files (*)"
    )
    if file_name:
        with open(file_name, "w") as file:
            for item in self.data_:
                line = ','.join(map(str, item))
                file.write(line + "\n")
        QtWidgets.QMessageBox.information(MainWindow, "Save
Successful",
                                        f"Program data saved to {file_name}")
        print(f"Дані збережено в {file_name}")
    else:
        print("Save operation cancelled.")
except FileNotFoundError as e:
    QtWidgets.QMessageBox.critical(MainWindow, "Save Error",
                                   f"Failed to save data. Error: {e}")
    print("Failed to save data: ", e)

```

```

def load_from_file(self):
    # Завантажує позиції робота з текстового файлу в `self.data_`.
    # Очікується, що кожен рядок у файлі буде рядком, розділеним комами,
що представляє стан робота.
    try:
        file_name, _ = QtWidgets.QFileDialog.getOpenFileName(
            MainWindow, "Load Program File", "", "Text Files (*.txt);;All Files (*)"
        )
        if file_name:

```

|     |      |          |        |      |                              |      |
|-----|------|----------|--------|------|------------------------------|------|
|     |      |          |        |      | <i>БР.ПМІ-6100.00.000 ПЗ</i> | Арк. |
| Зм. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата |                              | 64   |

```

self.data_ = []

with open(file_name, "r") as file:
    for line in file:
        parts = line.strip().split(',')
        try:
            parsed_parts = tuple(map(int, parts))
            self.data_.append(parsed_parts)
        except ValueError as ve:
            print("Skipping malformed line in file: ", ve)

# Покращений рядок: повідомлення створюється окремо для кращої
читабельності
message = f"Дані програми завантажено з {file_name}. Завантажено
{len(self.data_)} позицій."
QtWidgets.QMessageBox.information(MainWindow, "Завантаження
успішне", message)
print(f"Дані завантажено з {file_name}. Завантажено
{len(self.data_)} позицій.")
else:
    print("Загрузка скасована.")
except FileNotFoundError:
    QtWidgets.QMessageBox.warning(MainWindow, "Load Error", "Selected
file not found.")
    print("Файл не знайдено")
except ValueError as e:
    QtWidgets.QMessageBox.critical(MainWindow, "Load Error",
f"Failed to load data. Error: {e}")
print("Failed to load data: ", e)

```

|            |             |                 |               |             |                              |             |
|------------|-------------|-----------------|---------------|-------------|------------------------------|-------------|
|            |             |                 |               |             | <i>БР.ПМІ-6100.00.000 ПЗ</i> | <i>Арк.</i> |
| <i>Зм.</i> | <i>Арк.</i> | <i>№ докум.</i> | <i>Підпис</i> | <i>Дата</i> |                              | 65          |

```

def run_program(self):
    # Перемикає статус запуску програми. Якщо програма запущена, вона
    послідовно надсилає всі збережені позиції.
    if self.run_status_flag == 0:
        self.run_status_flag = 1
        print("Програма запущена")
        self.send_saved_data()
        self.pushButton_15.setText("Stop Program")
    else:
        self.run_status_flag = 0
        print("Програма зупинена")
        self.pushButton_15.setText("Run Program")

def send_saved_data(self):
    port = 'COM4'
    baudrate = 115200

    if not self.data_:
        QtWidgets.QMessageBox.information(MainWindow, "Run Program",
            "No saved positions to run. Please save positions
first.")

        print("No saved data to send.")
        self.run_status_flag = 0
        self.pushButton_15.setText("Run Program")
        return

    try:
        with serial.Serial(port, baudrate, timeout=1) as ser:
            time.sleep(2)

```

|     |      |          |        |      |                              |      |
|-----|------|----------|--------|------|------------------------------|------|
|     |      |          |        |      | <i>БР.ПМІ-6100.00.000 ПЗ</i> | Арк. |
| Зм. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата |                              | 66   |

```

for entry in self.data_:
    if self.run_status_flag == 0:
        print("Program execution interrupted by user.")
        break
    line = ','.join(map(str, entry)) + '\n'
    ser.write(line.encode('utf-8'))
    print("Sent:", line.strip())
    time.sleep(0.5)

print("Завершення програми.")
self.run_status_flag = 0
self.pushButton_15.setText("Run Program")
except serial.SerialException as e:
    QtWidgets.QMessageBox.warning(MainWindow, "Serial Port Error",
        f"Could not open serial port {port}. Error: {e}")
    print("Помилка відкриття послідовного порту: ", e)

if __name__ == "__main__":
    app = QtWidgets.QApplication(sys.argv)
    MainWindow = QtWidgets.QMainWindow()
    ui = Ui_MainWindow()
    ui.setupUi(MainWindow)
    MainWindow.show()
    sys.exit(app.exec_())

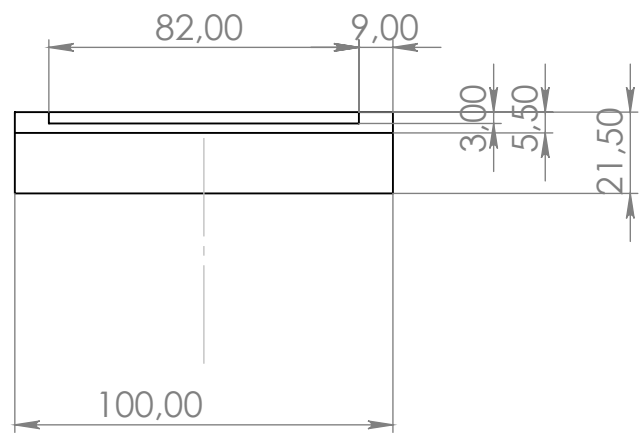
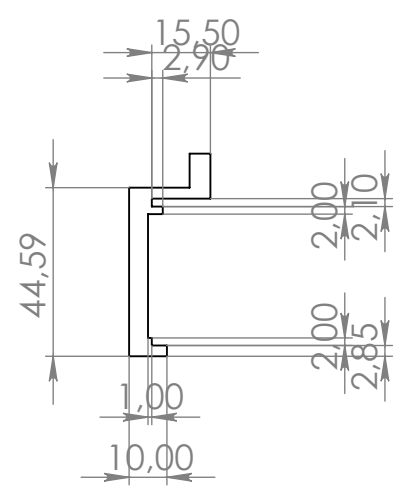
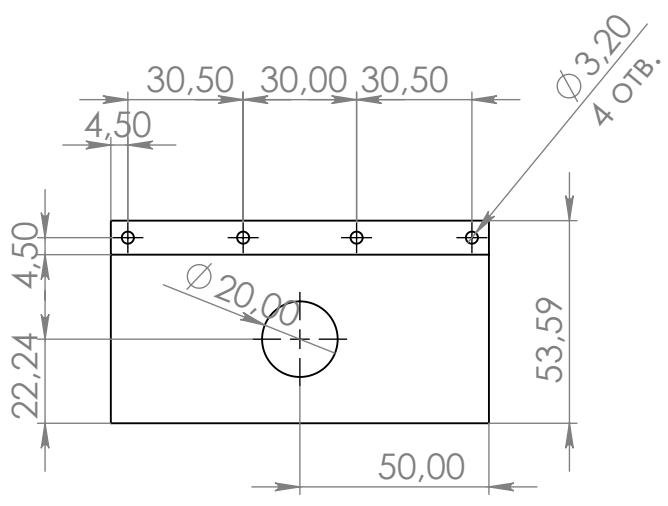
```

|            |             |                 |               |             |                              |             |
|------------|-------------|-----------------|---------------|-------------|------------------------------|-------------|
|            |             |                 |               |             | <i>БР.ПМІ-6100.00.000 ПЗ</i> | <i>Арк.</i> |
| <i>Зм.</i> | <i>Арк.</i> | <i>№ докум.</i> | <i>Підпис</i> | <i>Дата</i> |                              | 67          |

БР.ПМІ-61.01.01.001

Перв. примен.

Справ. №



|              |              |              |              |              |
|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|
| Инд. № подл. | Подп. и дата | Взам. инв. № | Инд. № дубл. | Подп. и дата |
|              |              |              |              |              |

|           |      |             |       |      |
|-----------|------|-------------|-------|------|
| Изм.      | Лист | № докум.    | Підп. | Дата |
| Разраб.   |      | Іванов І.С. |       |      |
| Пров.     |      | Лукань Т.В. |       |      |
| Т. контр. |      | Лукань Т.В. |       |      |
| Реценз.   |      |             |       |      |
| Н. контр. |      | Лукань Т.В. |       |      |
| Утв.      |      | Панчук В.Г. |       |      |

БР.ПМІ-61.01.01.001

Кришка 1

PLA ISO 5425:2023

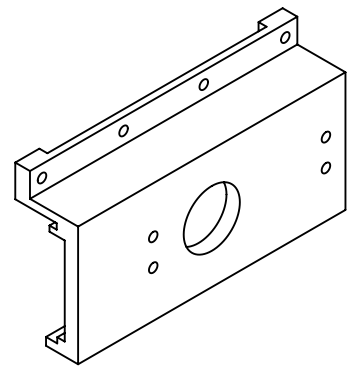
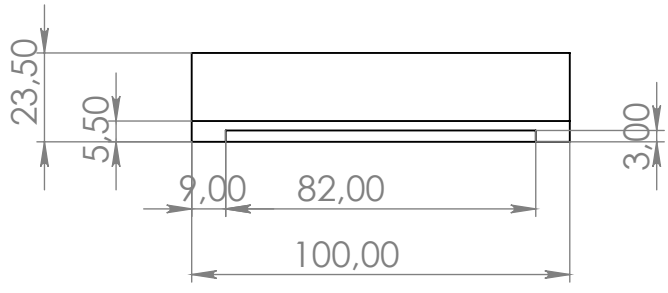
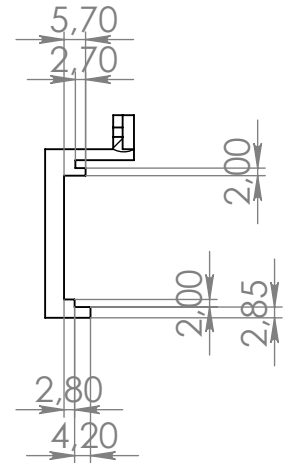
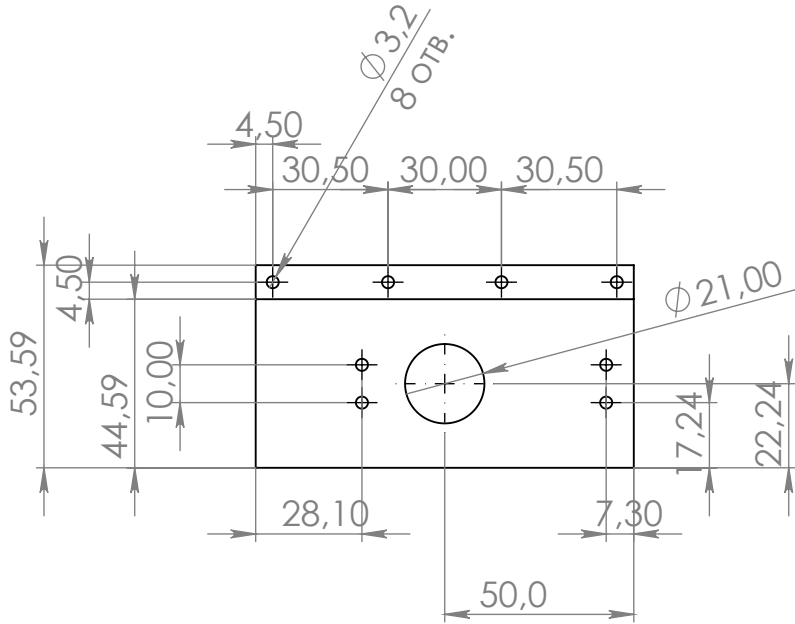
|      |        |         |
|------|--------|---------|
| Лит. | Масса  | Масштаб |
|      |        | 1:2     |
| Лист | Листів |         |

ІФНТУНГ  
ПМІ-21-1

БР.ПМІ-61.01.01.002

Перв. примен.

Справ. №



Подп. и дата

Инв. № дубл.

Взам. инв. №

Подп. и дата

Инв. № подл.

| Изм.      | Лист | № докум.    | Підп. | Дата |
|-----------|------|-------------|-------|------|
| Разраб.   |      | Іванов І.С. |       |      |
| Пров.     |      | Лукань Т.В. |       |      |
| Т. контр. |      | Лукань Т.В. |       |      |
| Реценз.   |      |             |       |      |
| Н. контр. |      | Лукань Т.В. |       |      |
| Утв.      |      | Панчук В.Г. |       |      |

БР.ПМІ-61.01.01.002

Кришка 2

PLA ISO 5425:2023

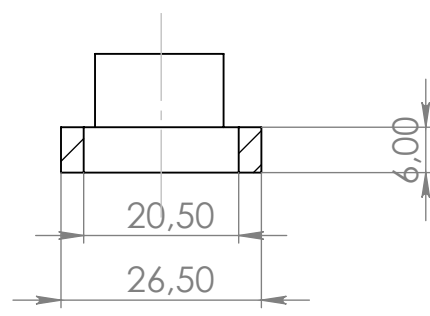
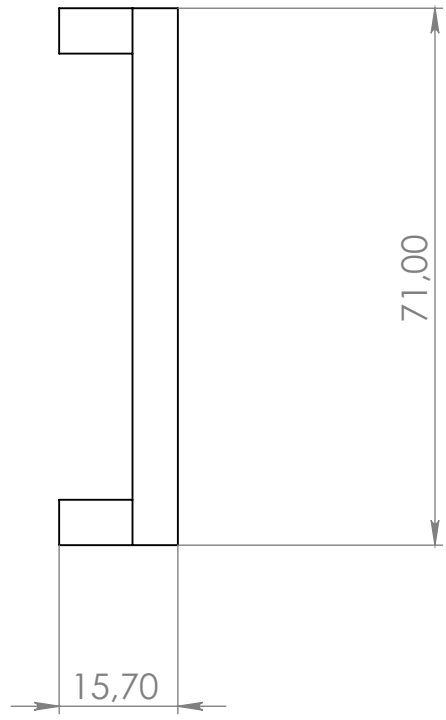
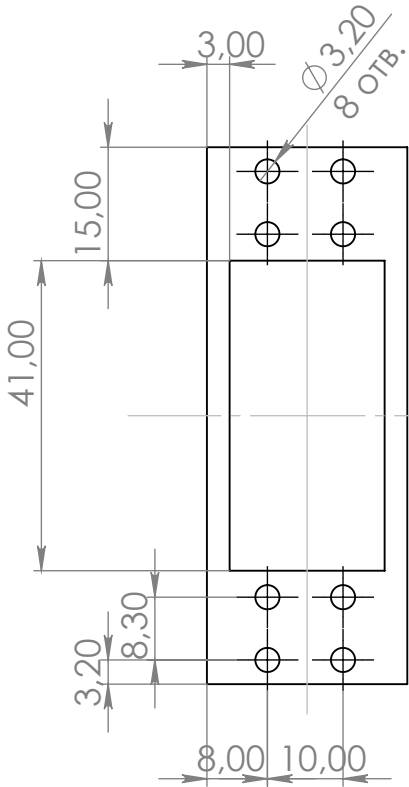
| Лит. | Масса | Масштаб |
|------|-------|---------|
|      |       | 1:2     |
| Лист |       | Листів  |

ІФНТУНГ  
ПМІ-21-1

БР.ПМІ-61.01.01.003

Перв. примен.

Справ. №



Подп. и дата

Инв. № дубл.

Взам. инв. №

Подп. и дата

Инв. № подл.

| Изм.      | Лист | № докум.    | Подп. | Дата |
|-----------|------|-------------|-------|------|
| Разраб.   |      | Иванов И.С. |       |      |
| Пров.     |      | Лукань Т.В. |       |      |
| Т. контр. |      | Лукань Т.В. |       |      |
| Реценз.   |      |             |       |      |
| Н. контр. |      | Лукань Т.В. |       |      |
| Утв.      |      | Панчук В.Г. |       |      |

БР.ПМІ-61.01.01.003

Кріплення для сервоприводу

PLA ISO 5425:2023

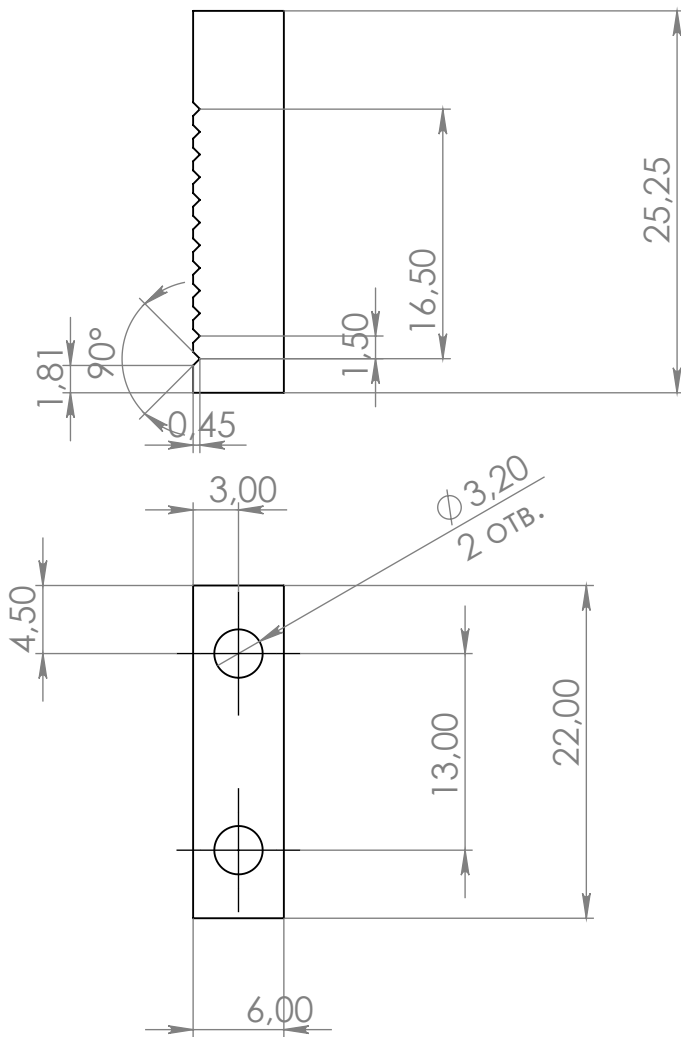
| Лит. | Масса | Масштаб |
|------|-------|---------|
|      |       | 1:1     |
| Лист |       | Листів  |

ІФНТУНГ  
ПМІ-21-1

БР.ПМІ-61.01.01.005

Перв. примен.

Справ. №



Подп. и дата

Инв. № дубл.

Взам. инв. №

Подп. и дата

Инв. № подл.

| Изм.      | Лист | № докум.    | Підп. | Дата |
|-----------|------|-------------|-------|------|
| Разраб.   |      | Іванов І.С. |       |      |
| Пров.     |      | Лукань Т.В. |       |      |
| Т. контр. |      | Лукань Т.В. |       |      |
| Реценз.   |      |             |       |      |
| Н. контр. |      | Лукань Т.В. |       |      |
| Утв.      |      | Панчук В.Г. |       |      |

БР.ПМІ-61.01.01.005

Щелепа 1

PLA ISO 5425:2023

| Лит. | Масса | Масштаб |
|------|-------|---------|
|      |       | 1:1     |

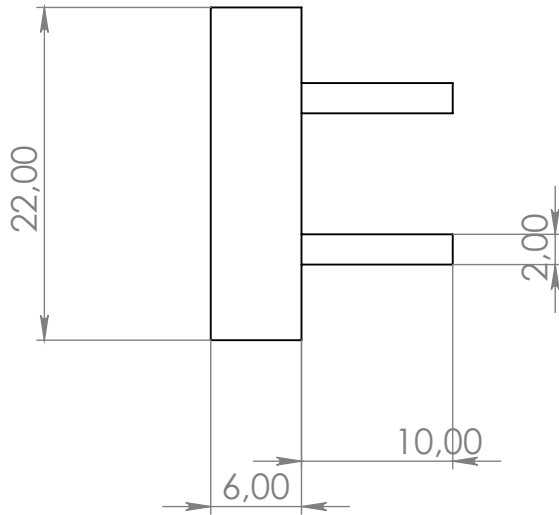
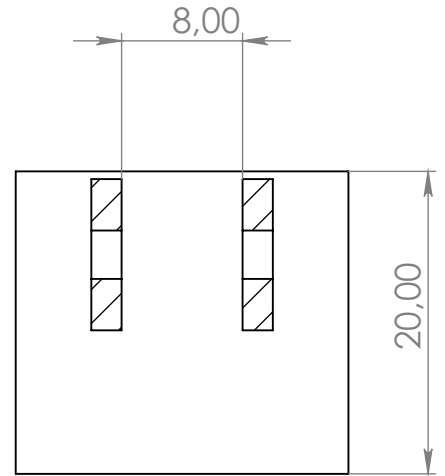
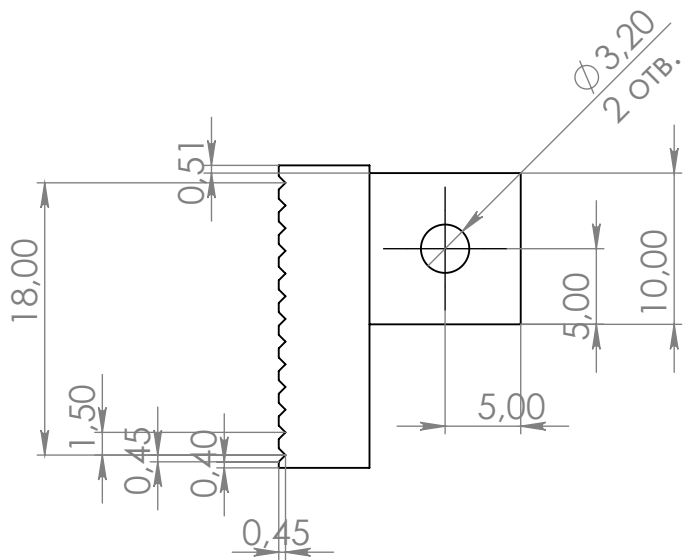
Лист Листів

ІФНТУНГ  
ПМІ-21-1

БР.ПМІ-61.01.01.006

Перв. примен.

Справ. №



Подп. и дата

Инв. № дубл.

Взам. инв. №

Подп. и дата

Инв. № подл.

| Изм.      | Лист | № докум.    | Подп. | Дата |
|-----------|------|-------------|-------|------|
| Разраб.   |      | Иванов И.С. |       |      |
| Пров.     |      | Лукань Т.В. |       |      |
| Т. контр. |      | Лукань Т.В. |       |      |
| Реценз.   |      |             |       |      |
| Н. контр. |      | Лукань Т.В. |       |      |
| Утв.      |      | Панчук В.Г. |       |      |

БР.ПМІ-61.01.01.006

Щелепа 2

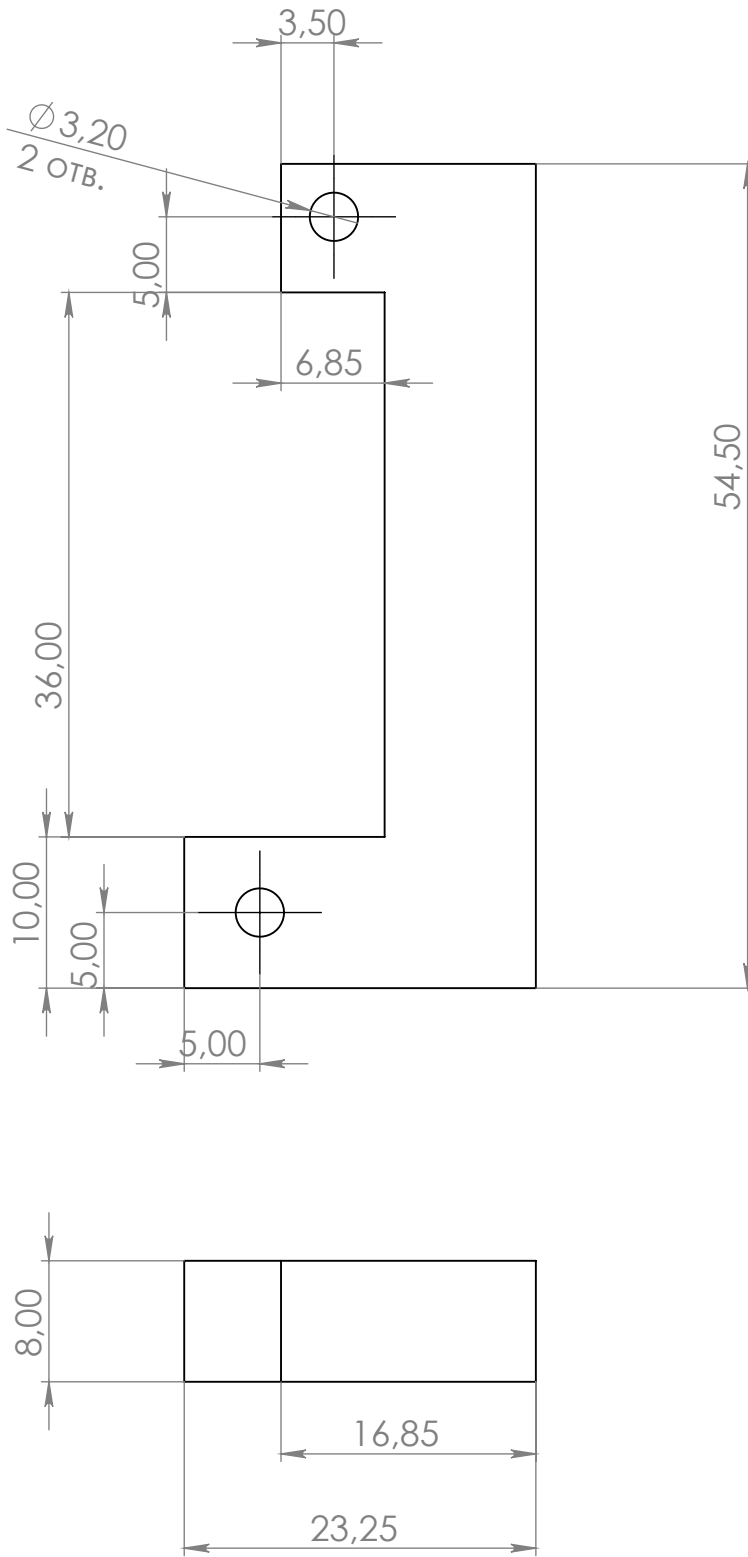
PLA ISO 5425:2023

| Лит. | Масса | Масштаб |
|------|-------|---------|
|      |       | 1:1     |

Лист Листів

ІФНТУНГ  
ПМІ-21-1

БР.ПМІ-61.01.01.007



|          |               |
|----------|---------------|
| Справ. № | Перв. примен. |
|----------|---------------|

|              |              |
|--------------|--------------|
| Изм. № подл. | Подп. и дата |
| Взам. инв. № | Инв. № дубл. |
| Подп. и дата |              |

|           |      |             |       |      |
|-----------|------|-------------|-------|------|
| Изм.      | Лист | № докум.    | Підп. | Дата |
| Разраб.   |      | Іванов І.С. |       |      |
| Пров.     |      | Лукань Т.В. |       |      |
| Т. контр. |      | Лукань Т.В. |       |      |
| Реценз.   |      |             |       |      |
| Н. контр. |      | Лукань Т.В. |       |      |
| Утв.      |      | Панчук В.Г. |       |      |

**БР.ПМІ-61.01.01.007**

**Кріплення 1**

PLA ISO 5425:2023

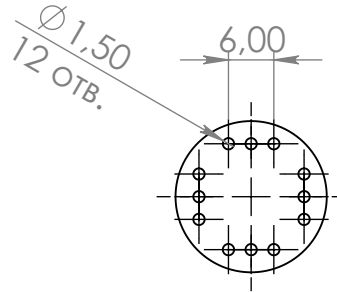
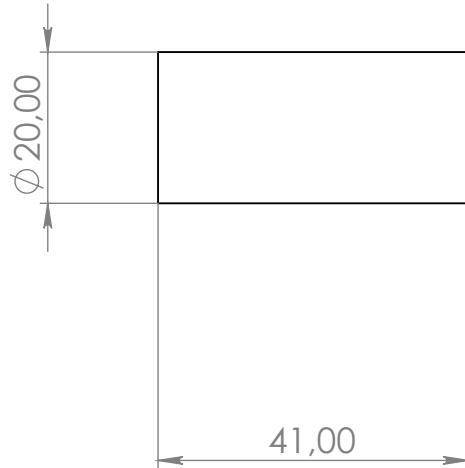
|      |        |         |
|------|--------|---------|
| Лит. | Масса  | Масштаб |
|      |        | 1:1     |
| Лист | Листів |         |

ІФНТУНГ  
ПМІ-21-1

БР.ПМІ-61.01.01.008

Перв. примен.

Справ. №



|              |              |              |              |
|--------------|--------------|--------------|--------------|
| Подп. и дата | Инв. № дубл. | Взам. инв. № | Подп. и дата |
| Инв. № подл. |              |              |              |

|              |      |             |       |      |
|--------------|------|-------------|-------|------|
| Подп. и дата |      |             |       |      |
| Изм.         | Лист | № докум.    | Підп. | Дата |
| Разраб.      |      | Іванов І.С. |       |      |
| Пров.        |      | Лукань Т.В. |       |      |
| Т. контр.    |      | Лукань Т.В. |       |      |
| Реценз.      |      |             |       |      |
| Н. контр.    |      | Лукань Т.В. |       |      |
| Утв.         |      | Панчук В.Г. |       |      |

БР.ПМІ-61.01.01.008

Вал

PLA ISO 5425:2023

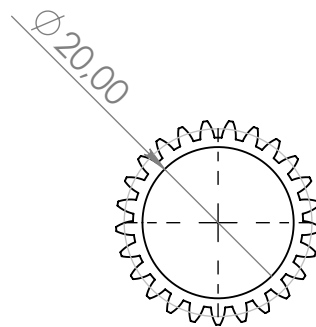
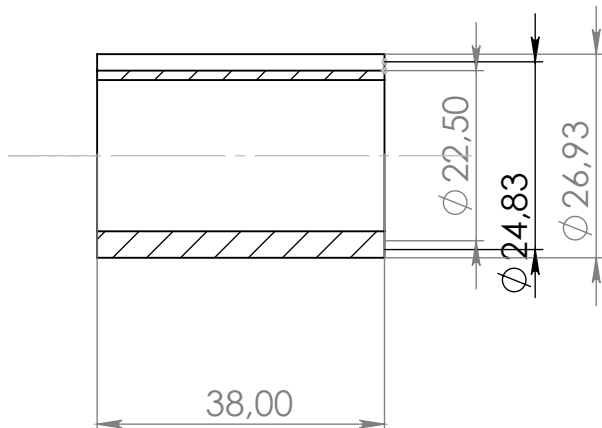
|      |        |         |
|------|--------|---------|
| Лит. | Масса  | Масштаб |
|      |        | 1:1     |
| Лист | Листів |         |

ІФНТУНГ  
ПМІ-21-1

БР.ПМІ-61.01.01.009

Перв. примен.

Справ. №



Д

Подп. и дата

Инв. № дубл.

Взам. инв. №

Подп. и дата

Инв. № подл.

| Изм.      | Лист | № докум.    | Подп. | Дата |
|-----------|------|-------------|-------|------|
| Разраб.   |      | Иванов И.С. |       |      |
| Пров.     |      | Лукань Т.В. |       |      |
| Т. контр. |      |             |       |      |
| Реценз.   |      |             |       |      |
| Н. контр. |      |             |       |      |
| Утв.      |      | Панчук В.Г. |       |      |

БР.ПМІ-61.01.01.009

Шестерня

PLA ISO 5425:2023

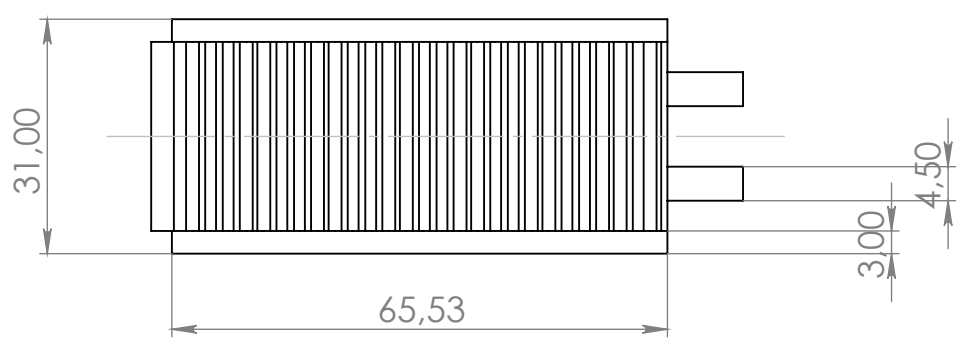
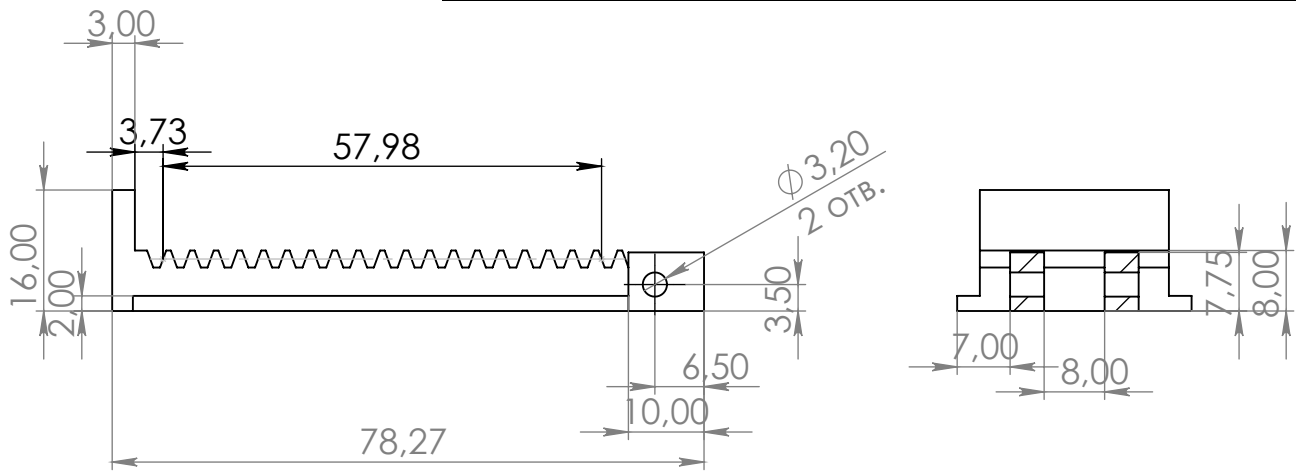
| Лит. | Масса | Масштаб |
|------|-------|---------|
|      |       | 1:1     |

Лист Листів

ІФНТУНГ  
ПМІ-21-1

**БР.ПМІ-61.01.01.010**

| Найменування параметра              | Значення           | Одиниця |
|-------------------------------------|--------------------|---------|
| Модуль, <i>m</i>                    | 1                  | мм      |
| Кількість зубців шестерні, <i>z</i> | 25                 | —       |
| Поділочна довжина рейки             | $25 \cdot m = 25$  | мм      |
| Крок зуба, <i>t</i>                 | 3.1416             | мм      |
| Висота головки зуба, <i>ha</i>      | 1.0                | мм      |
| Висота ніжки зуба, <i>hf</i>        | 1.25               | мм      |
| Повна висота зуба, <i>h</i>         | 2.25               | мм      |
| Товщина зуба, <i>s</i>              | 1.571              | мм      |
| Тип зачеплення                      | Прямозубе          | —       |
| Стандарт                            | ДСТУ ГОСТ 16532-70 | —       |



Перв. примен.  
Справ. №

А  
Подп. и дата  
Инв. № дубл.  
Взам. инв. №  
Подп. и дата  
Инв. № подл.

| Изм.      | Лист | № докум.    | Подп. | Дата |
|-----------|------|-------------|-------|------|
| Разраб.   |      | Іванов І.С. |       |      |
| Пров.     |      | Лукань Т.В. |       |      |
| Т. контр. |      | Лукань Т.В. |       |      |
| Реценз.   |      |             |       |      |
| Н. контр. |      | Лукань Т.В. |       |      |
| Утв.      |      | Панчук В.Г. |       |      |

**БР.ПМІ-61.01.01.010**

**Зубчаста рейка 1**

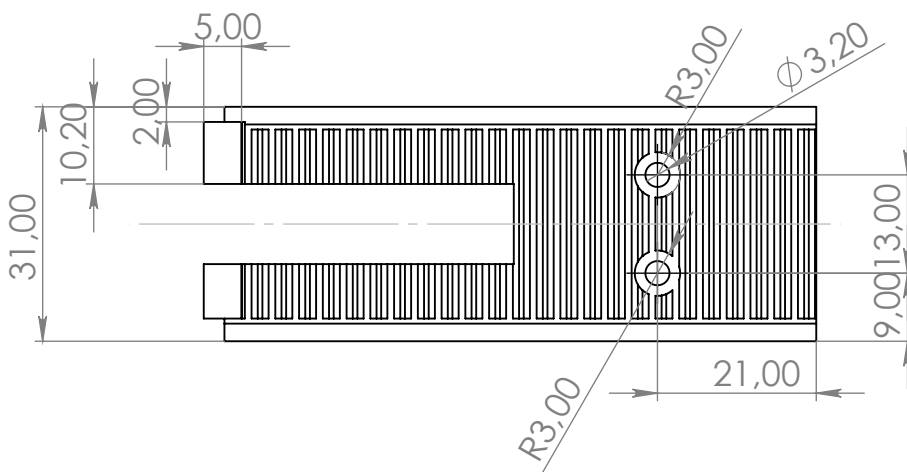
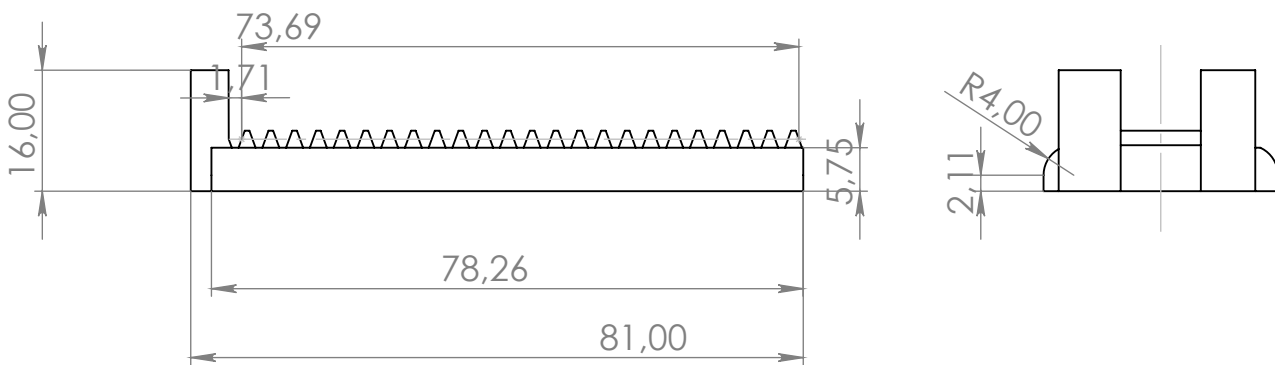
PLA ISO 5425:2023

| Лит. | Масса | Масштаб |
|------|-------|---------|
|      |       | 1:1     |
| Лист |       | Листів  |

ІФНТУНГ  
ПМІ-21-1

БР.ПМІ-61.01.01.011

| Найменування параметра         | Значення           | Одиниця |
|--------------------------------|--------------------|---------|
| Модуль, $m$                    | 1                  | мм      |
| Кількість зубців шестерні, $z$ | 25                 | —       |
| Поділочна довжина рейки        | $25 \cdot m = 25$  | мм      |
| Крок зуба, $t$                 | 3.1416             | мм      |
| Висота головки зуба, $h_a$     | 1.0                | мм      |
| Висота ніжки зуба, $h_f$       | 1.25               | мм      |
| Повна висота зуба, $h$         | 2.25               | мм      |
| Товщина зуба, $s$              | 1.571              | мм      |
| Тип зачеплення                 | Прямозубе          | —       |
| Стандарт                       | ДСТУ ГОСТ 16532-70 | —       |



|               |
|---------------|
| Перв. примен. |
| Справ. №      |

|   |              |              |              |              |              |
|---|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|
| А | Подп. и дата | Инв. № дубл. | Взам. инв. № | Подп. и дата | Инв. № подл. |
|   |              |              |              |              |              |

|           |      |             |       |      |
|-----------|------|-------------|-------|------|
|           |      |             |       |      |
| Изм.      | Лист | № докум.    | Підп. | Дата |
| Разраб.   |      | Іванов І.С. |       |      |
| Пров.     |      | Лукань Т.В. |       |      |
| Т. контр. |      | Лукань Т.В. |       |      |
| Реценз.   |      |             |       |      |
| Н. контр. |      | Лукань Т.В. |       |      |
| Утв.      |      | Панчук В.Г. |       |      |

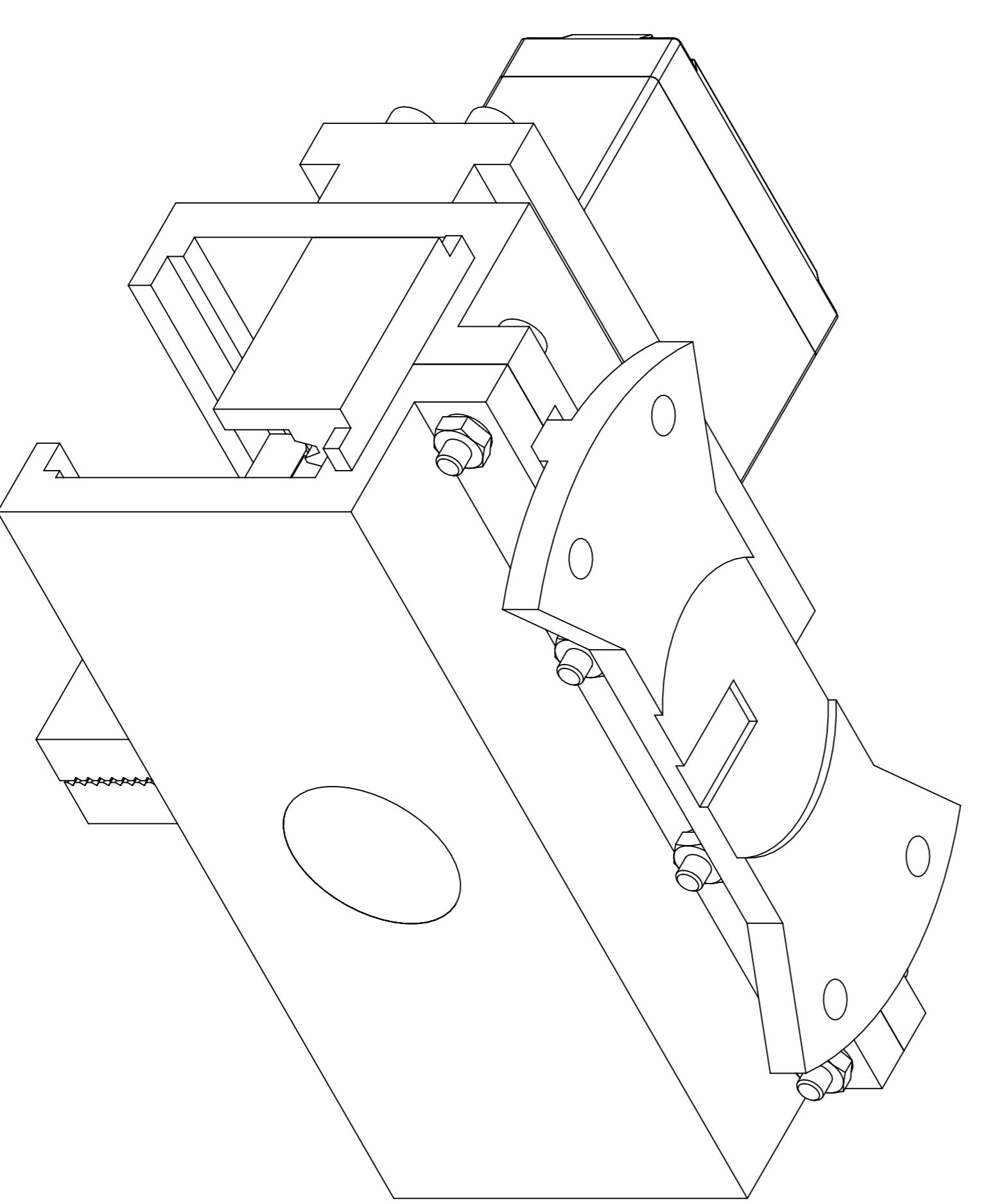
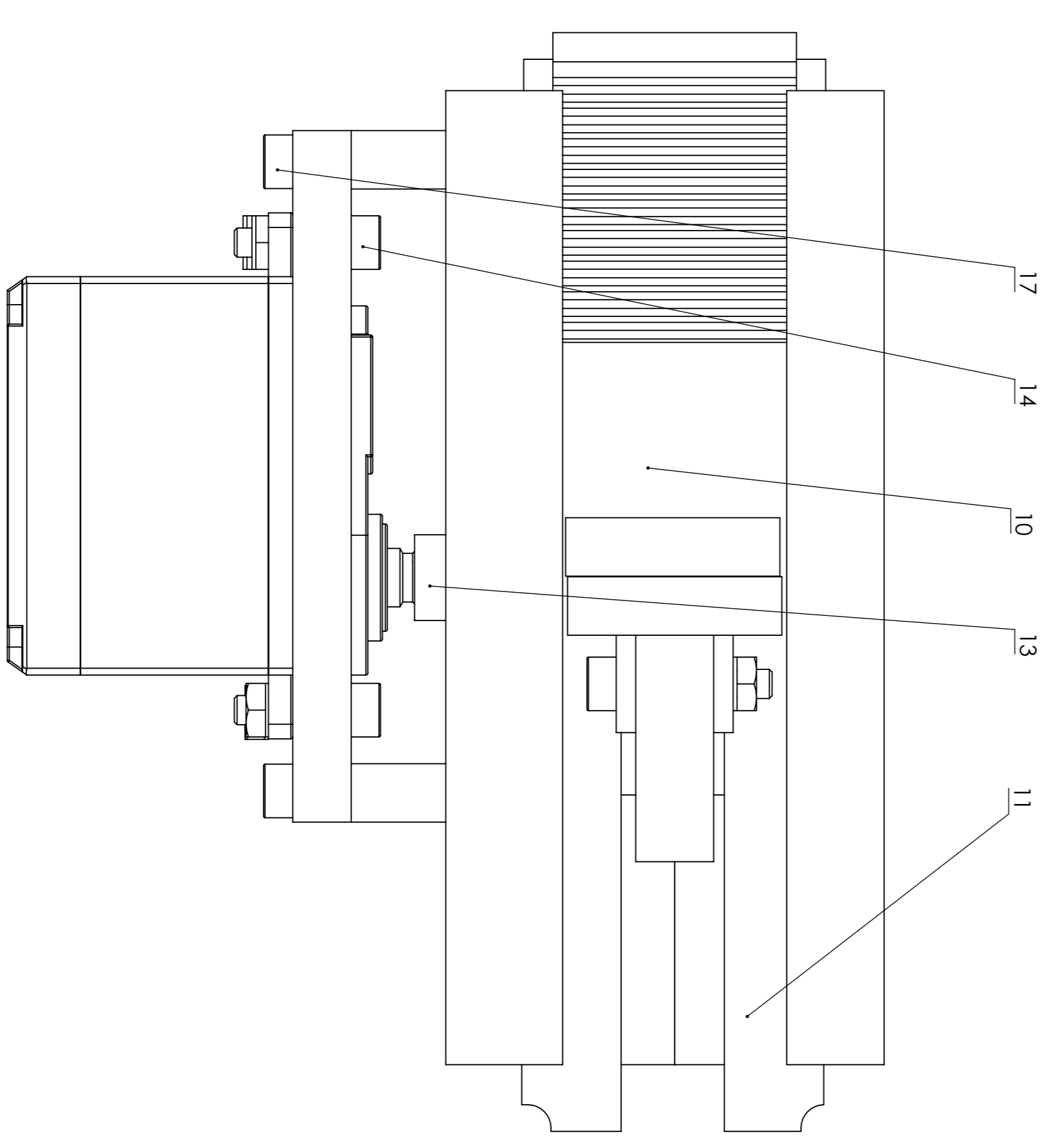
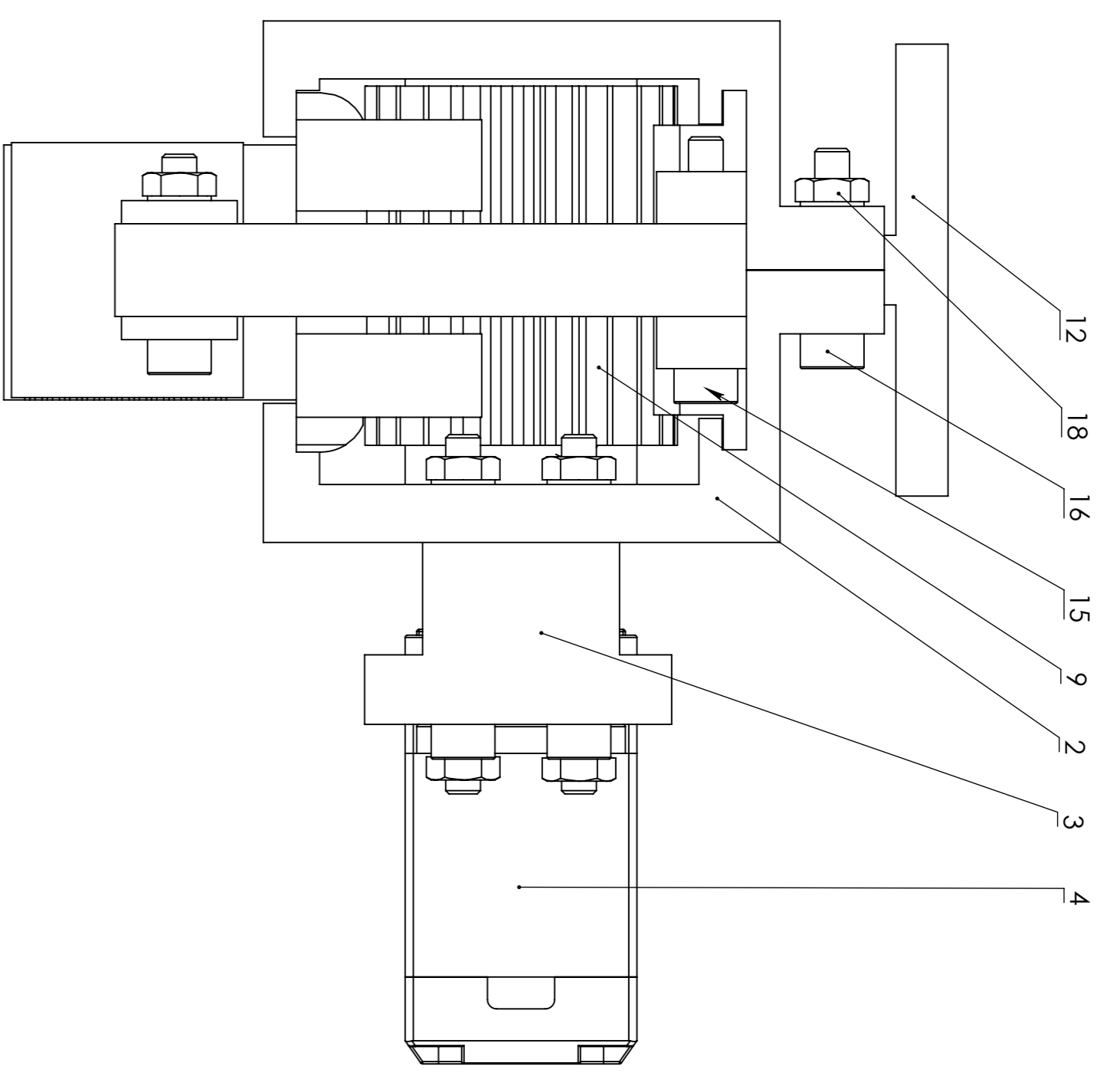
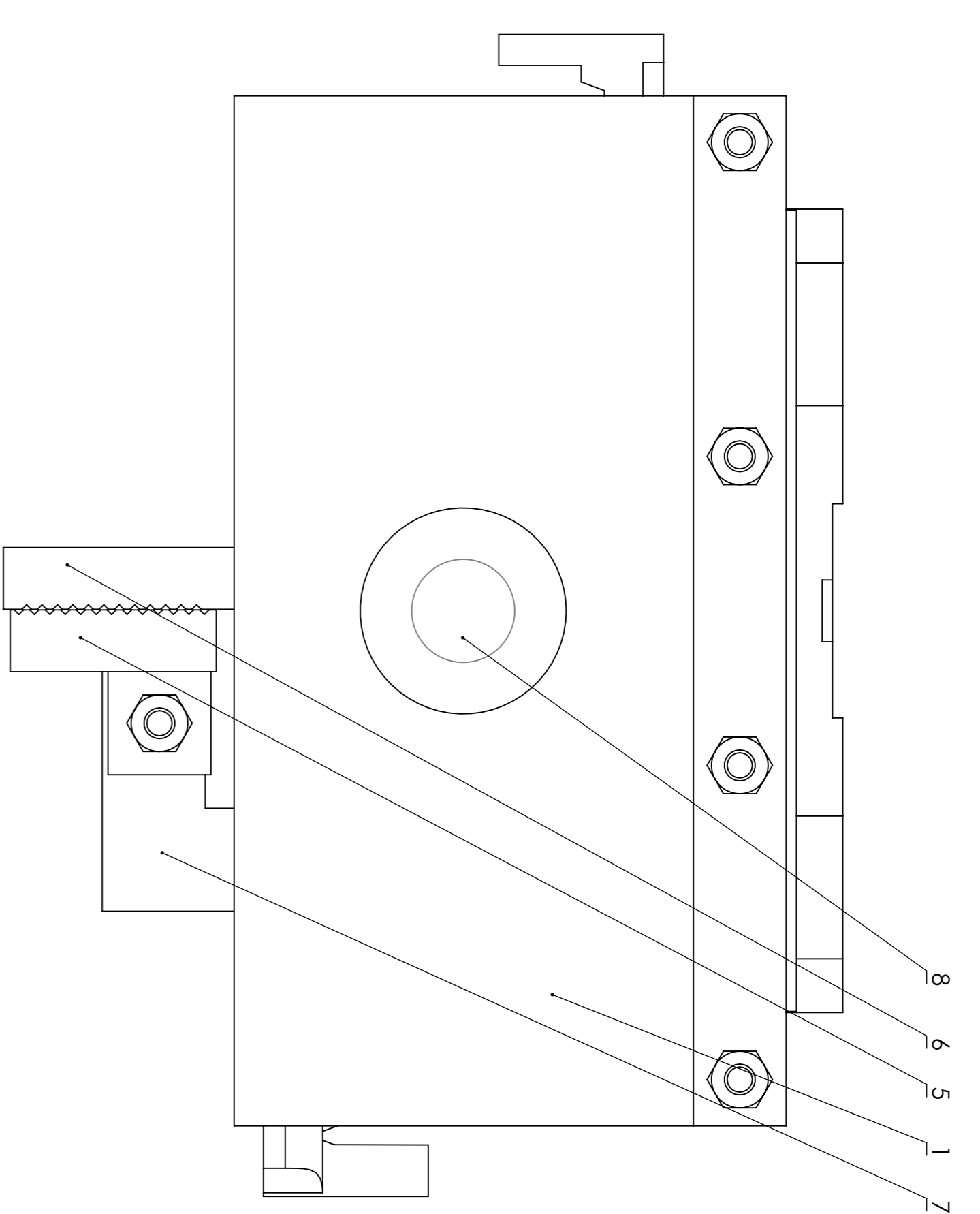
БР.ПМІ-61.01.01.011

Прямозуба рейка 2

PLA ISO 5425:2023

|      |        |         |
|------|--------|---------|
| Лит. | Масса  | Масштаб |
|      |        | 1:1     |
| Лист | Листів |         |

ІФНТУНГ  
ПМІ-21-1

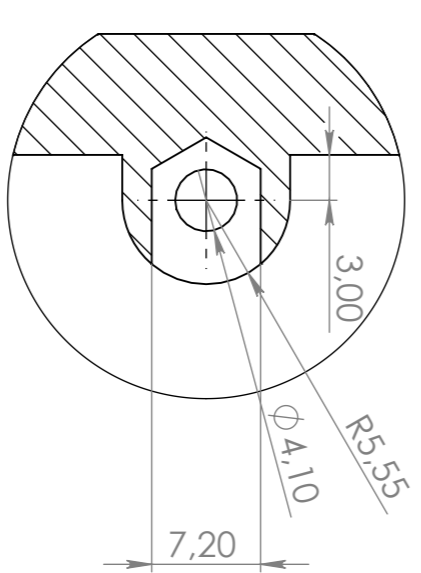
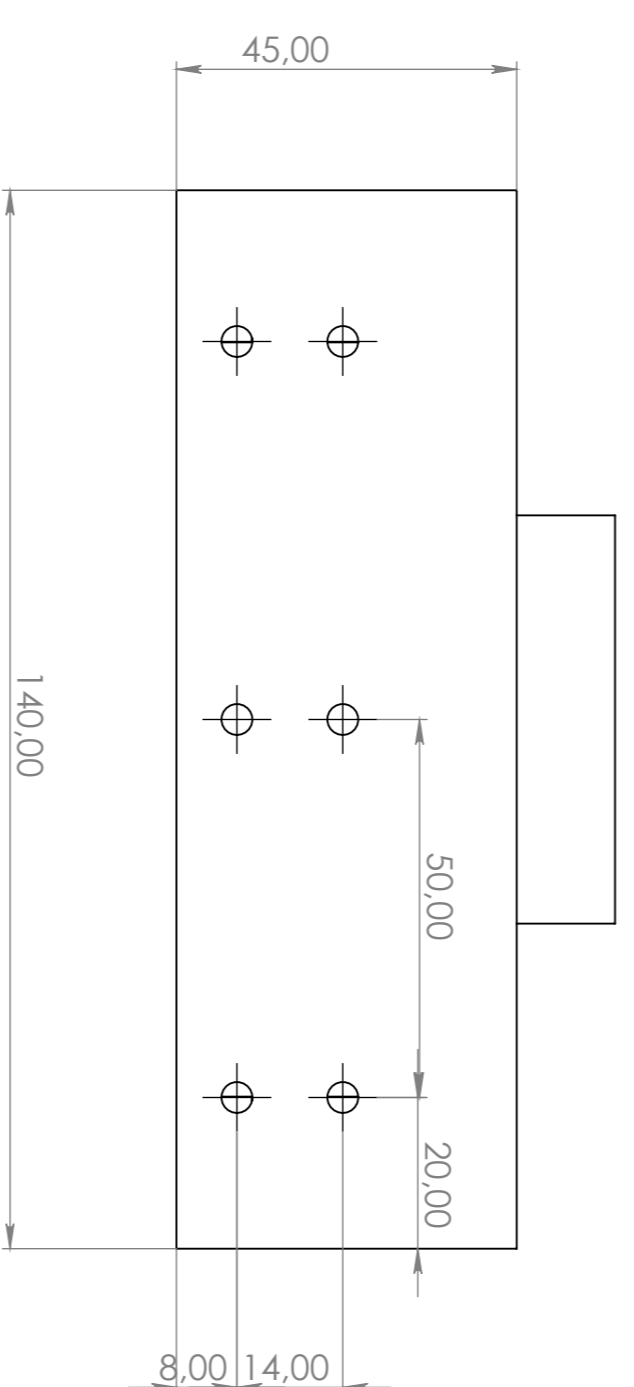
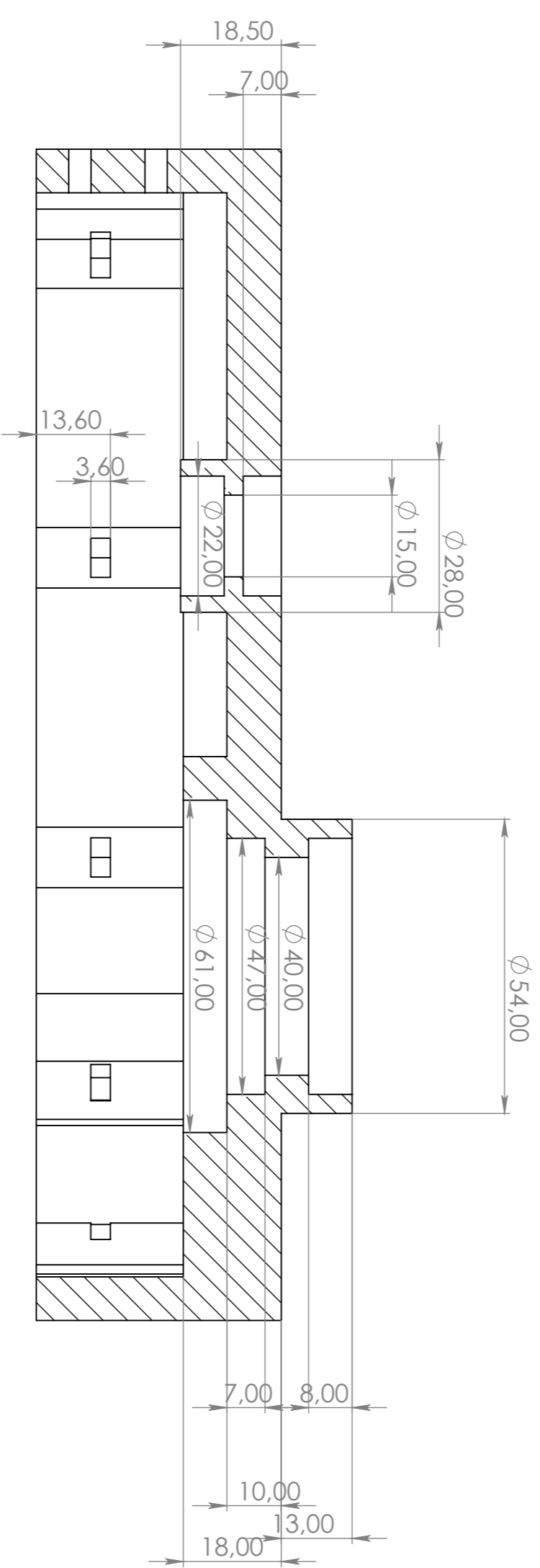
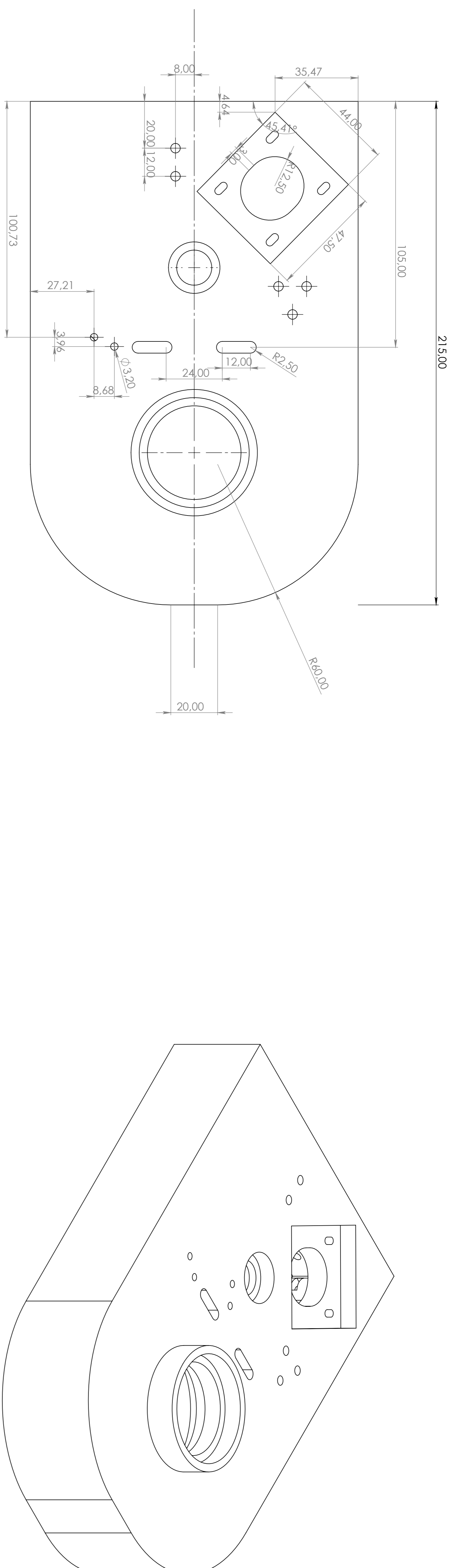


|              |              |              |              |              |          |               |
|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|----------|---------------|
| Инд. № подл. | Подп. и дата | Взам. инв. № | Инд. № дубл. | Подп. и дата | Справ. № | Перв. примен. |
|              |              |              |              |              |          |               |

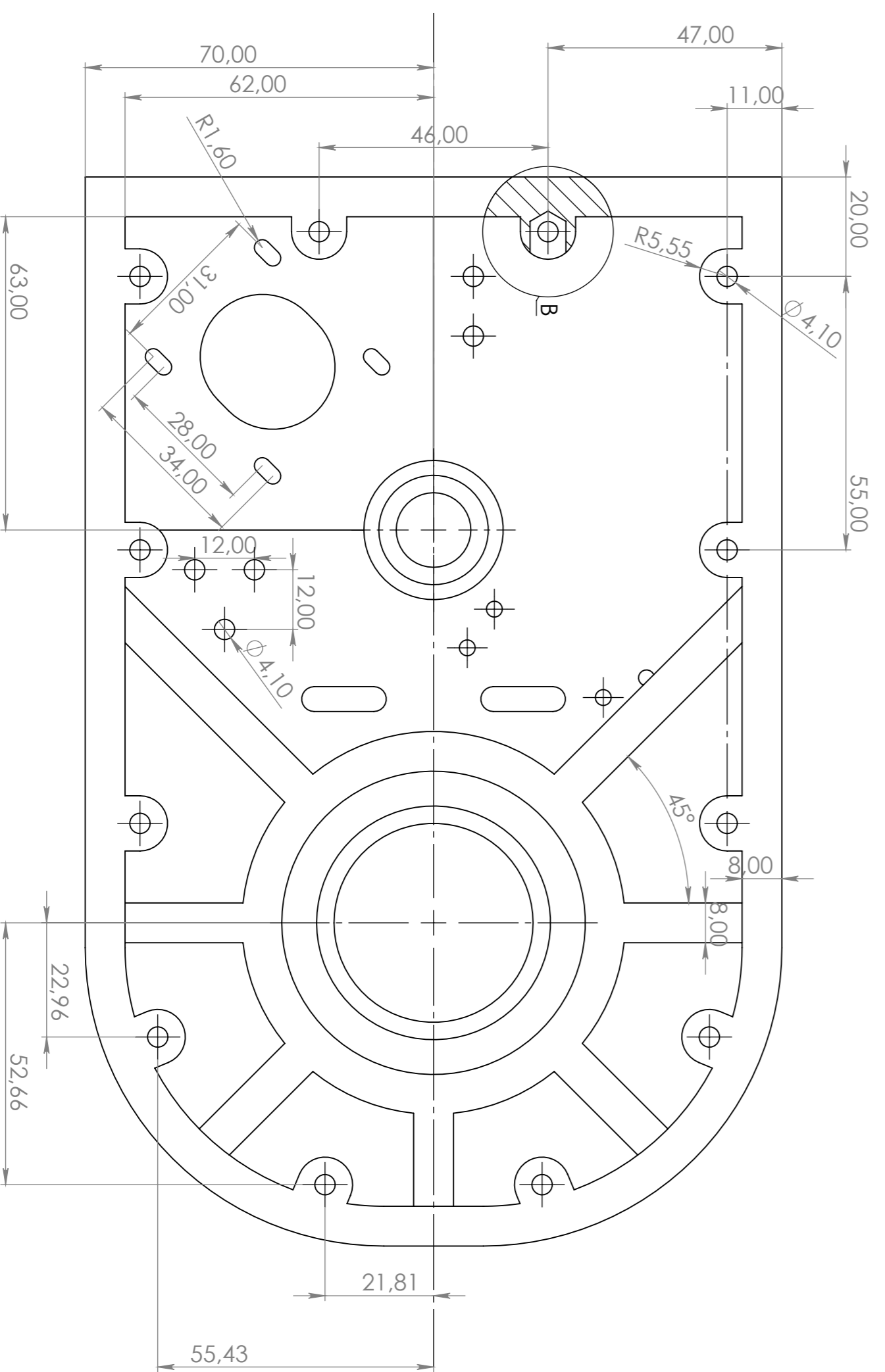
|                       |             |           |        |         |
|-----------------------|-------------|-----------|--------|---------|
| БР.ПМІ-61.01.01.000СК |             | Лист      | Масса  | Масштаб |
| Схват                 |             |           |        | 2:1     |
| ФНТУНГ                |             | Лист      | Листов |         |
| ПМІ-21-1              |             | Формат А1 |        |         |
| Имя                   | Лист        | № докум.  | Пом.   | Дата    |
| Разработ              | Лукьян І.С. |           |        |         |
| Проект                | Лукьян Т.В. |           |        |         |
| Т.контр.              | Лукьян Т.В. |           |        |         |
| Реценз.               | Лукьян Т.В. |           |        |         |
| Н.контр.              | Лукьян Т.В. |           |        |         |
| Утв.                  | Лукьян Т.В. |           |        |         |

БР.ПМІ-61.01.01.0000СК

| Изм.      | Лист | № докум.    | Підп. | Дата |              |                     |        |         |
|-----------|------|-------------|-------|------|--------------|---------------------|--------|---------|
| Разраб.   |      | Іванов І.С. |       |      | <i>Схват</i> | Лит.                | Масса  | Масштаб |
| Пров.     |      | Лукань Т.В. |       |      |              |                     |        | 1:1     |
| Т. контр. |      | Лукань Т.В. |       |      |              | Лист                | Листів |         |
| Реценз.   |      |             |       |      |              | ІФНТУНГ<br>ПМІ-21-1 |        |         |
| Н. контр. |      | Лукань Т.В. |       |      |              |                     |        |         |
| Утв.      |      | Панчук В.Г. |       |      |              |                     |        |         |



В 2 : 1



|               |              |              |               |              |
|---------------|--------------|--------------|---------------|--------------|
| Инов. № подл. | Подп. и дата | Взам. инв. № | Инов. № дубл. | Подп. и дата |
|---------------|--------------|--------------|---------------|--------------|

|          |               |
|----------|---------------|
| Справ. № | Перв. примен. |
|----------|---------------|

|             |      |               |       |      |
|-------------|------|---------------|-------|------|
| Имя         | Лист | № докум.      | Наим. | Дата |
| Разработ    |      | Иванов И.С.   |       |      |
| Проект      |      | Дьячкова Т.В. |       |      |
| Т. контрол. |      | Дьячкова Т.В. |       |      |
| Рецензент   |      | Дьячкова Т.В. |       |      |
| Н. контрол. |      | Дьячкова Т.В. |       |      |
| УТВ.        |      | Паньчук В.Г.  |       |      |

|                     |          |        |         |
|---------------------|----------|--------|---------|
| БР.ПММ-61.01.02.002 |          | Лист   | Масштаб |
| База робота         |          |        | 1:1     |
| РЛ ISO 6425:2023    | Лист     | Листов |         |
|                     | ПММ-21-1 |        |         |

Формат А1

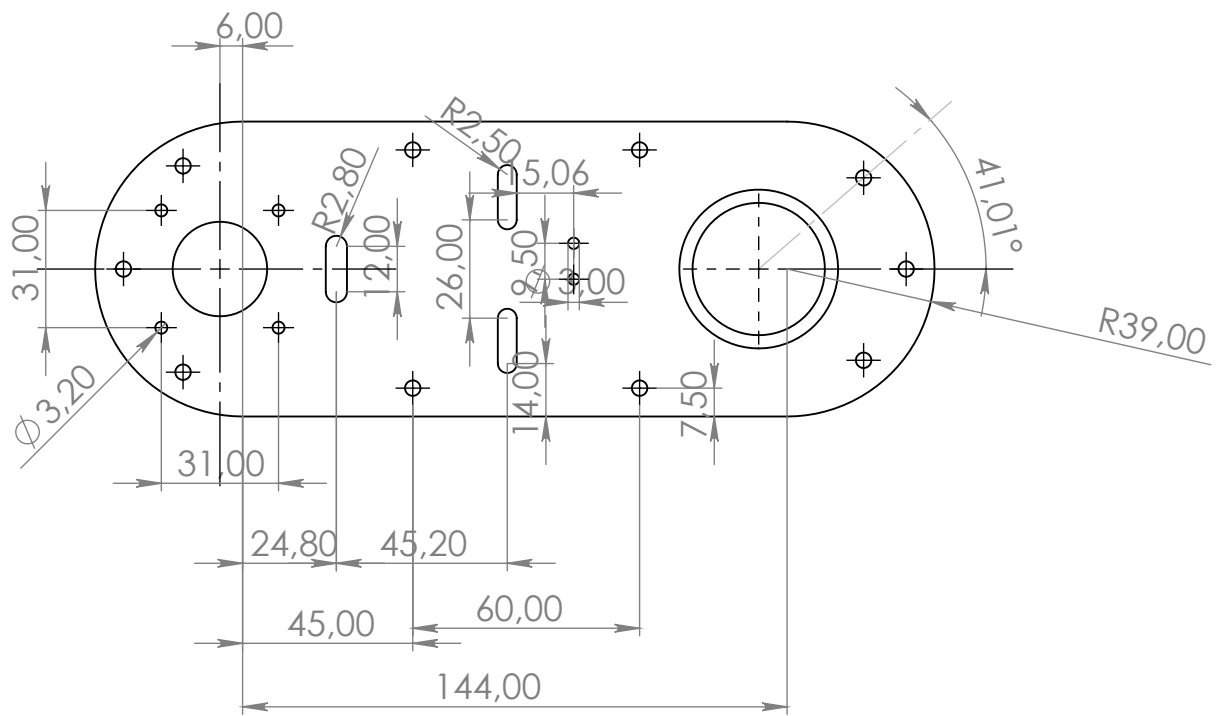
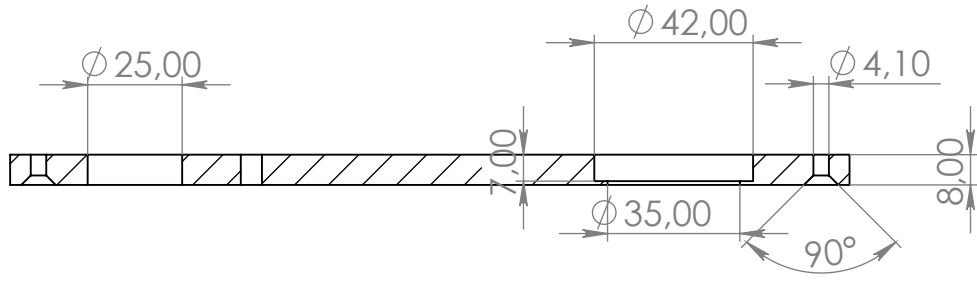
БР.ПМІ-61.01.02.002

| Изм.      | Лист | № докум.    | Підп. | Дата | База робота |  |  | Лист.               | Масса  | Масштаб |  |
|-----------|------|-------------|-------|------|-------------|--|--|---------------------|--------|---------|--|
| Разраб.   |      | Іванов І.С. |       |      |             |  |  |                     |        | 1:1     |  |
| Пров.     |      | Лукань Т.В. |       |      |             |  |  |                     |        |         |  |
| Т. контр. |      | Лукань Т.В. |       |      |             |  |  | Лист                | Листів |         |  |
| Реценз.   |      |             |       |      |             |  |  | ІФНТУНГ<br>ПМІ-21-1 |        |         |  |
| Н. контр. |      | Лукань Т.В. |       |      |             |  |  |                     |        |         |  |
| Утв.      |      | Панчук В.Г. |       |      |             |  |  |                     |        |         |  |

БР.ПМІ-61.01.02.003

Перв. примен.

Справ. №



Подп. и дата

Инв. № дубл.

Взам. инв. №

Подп. и дата

Инв. № подл.

| Изм.      | Лист | № докум.    | Подп. | Дата |
|-----------|------|-------------|-------|------|
| Разраб.   |      | Иванов И.С. |       |      |
| Пров.     |      | Лукань Т.В. |       |      |
| Т. контр. |      | Лукань Т.В. |       |      |
| Реценз.   |      |             |       |      |
| Н. контр. |      | Лукань Т.В. |       |      |
| Утв.      |      | Панчук В.Г. |       |      |

БР.ПМІ-61.01.02.008

Кришка ланки 2

PLA ISO 5425:2023

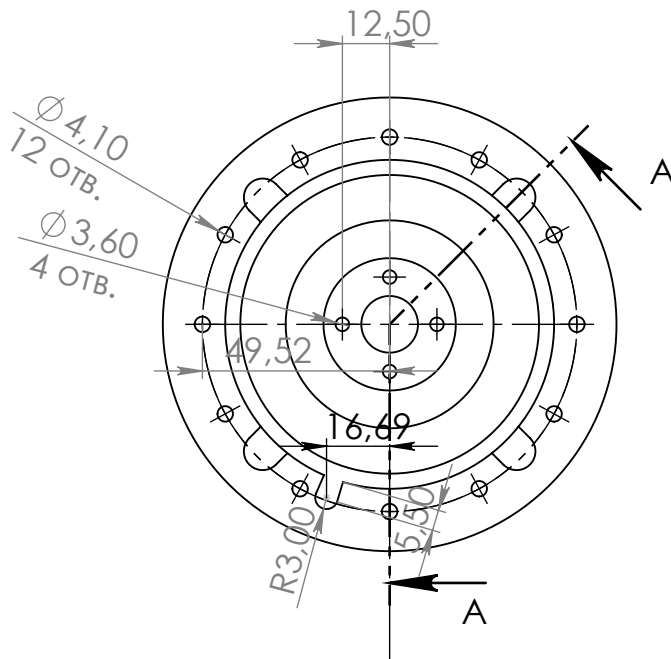
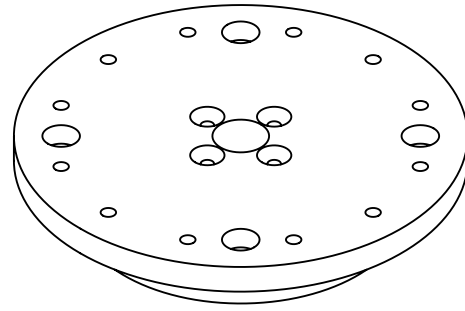
| Лит. | Масса | Масштаб |
|------|-------|---------|
|      |       | 1:2     |
| Лист |       | Листов  |

ІФНТУНГ  
ПМІ-21-1

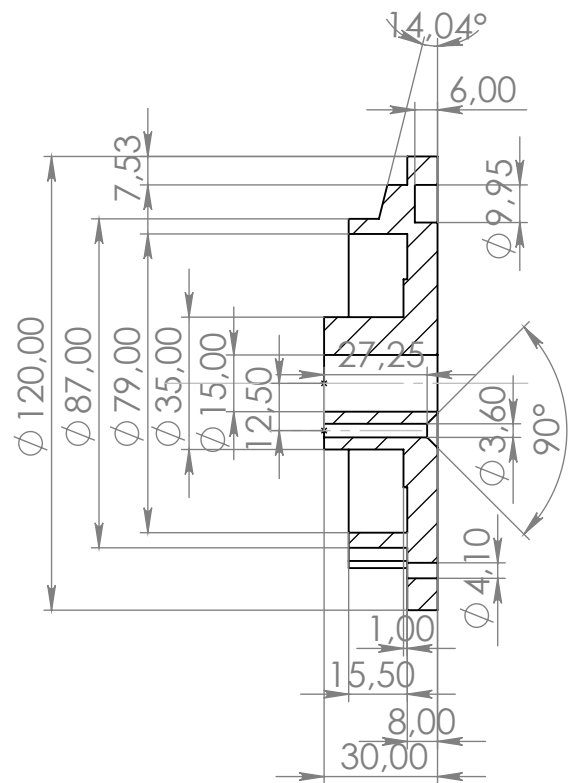
БР.ПМІ-61.01.02.012

Перв. примен.

Справ. №



A-A



Подп. и дата

Инд. № дубл.

Взам. инв. №

Подп. и дата

Инд. № подл.

|           |      |             |       |      |
|-----------|------|-------------|-------|------|
| Изм.      | Лист | № докум.    | Подп. | Дата |
| Разраб.   |      | Івнов І.С.  |       |      |
| Пров.     |      | Лукань Т.В. |       |      |
| Т. контр. |      | Лукань Т.В. |       |      |
| Реценз.   |      |             |       |      |
| Н. контр. |      | Лукань Т.В. |       |      |
| Утв.      |      | Панчук В.Г. |       |      |

БР.ПМІ-61.01.02.012

Муфта J1

PLA ISO 5425:2023

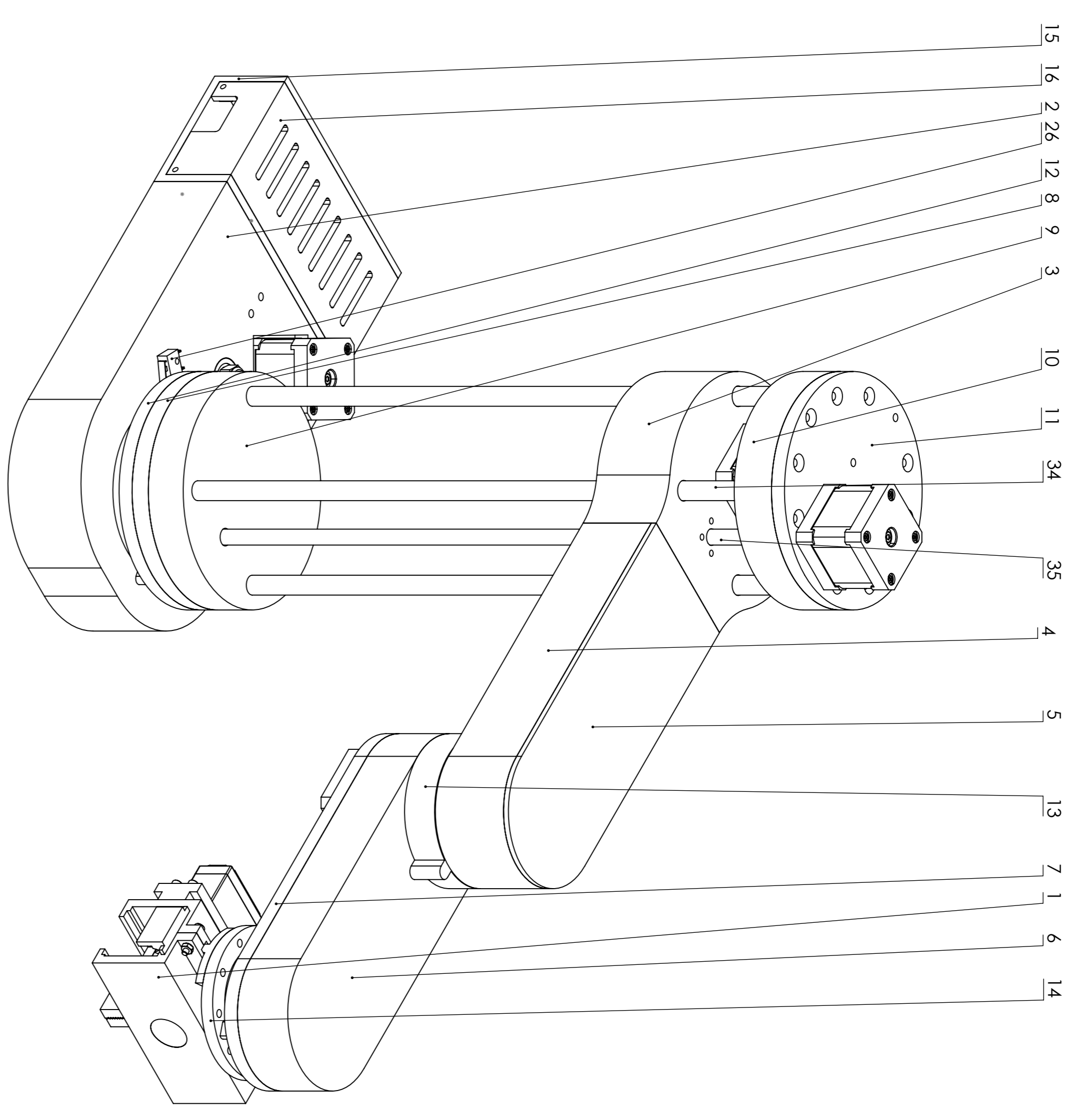
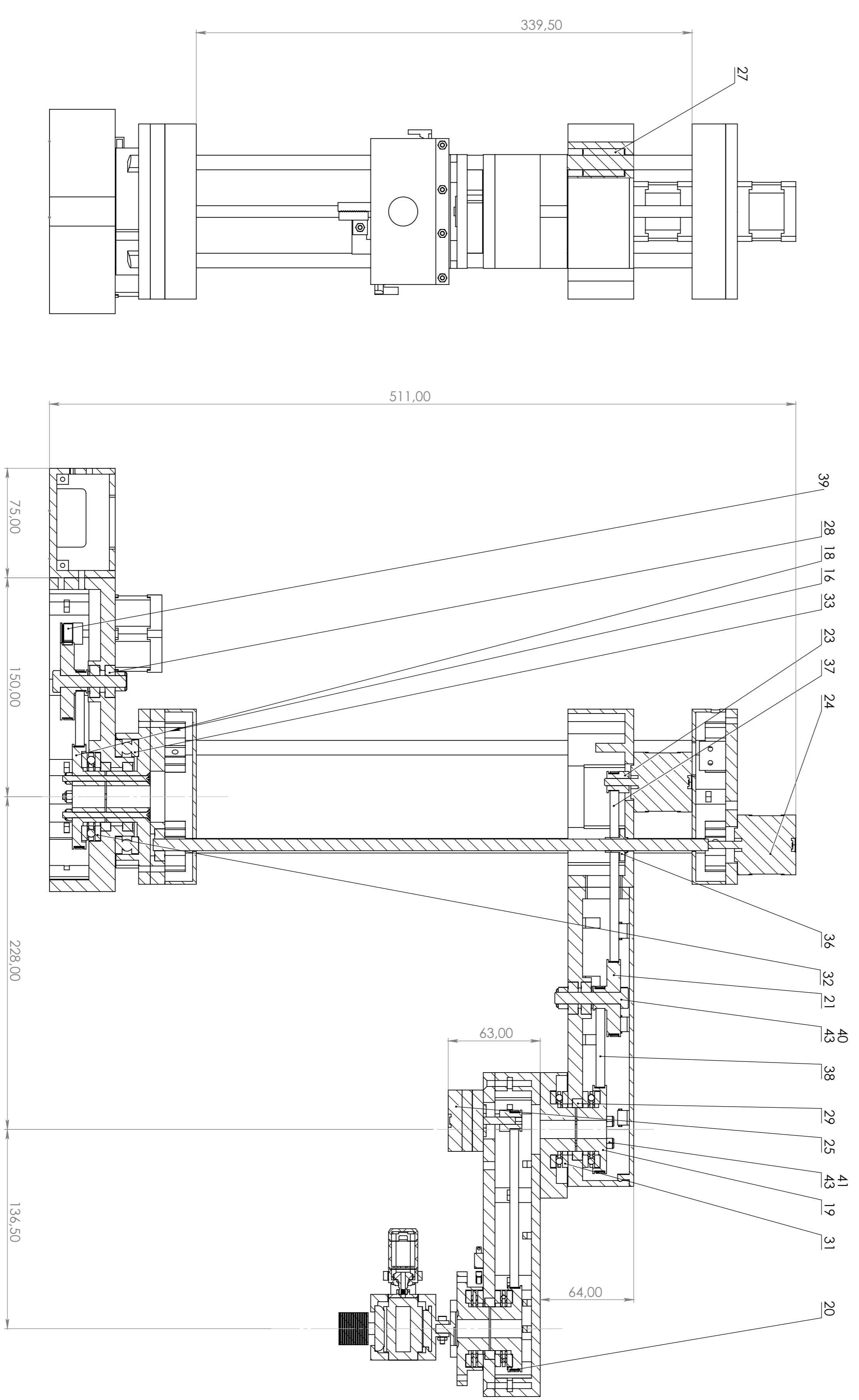
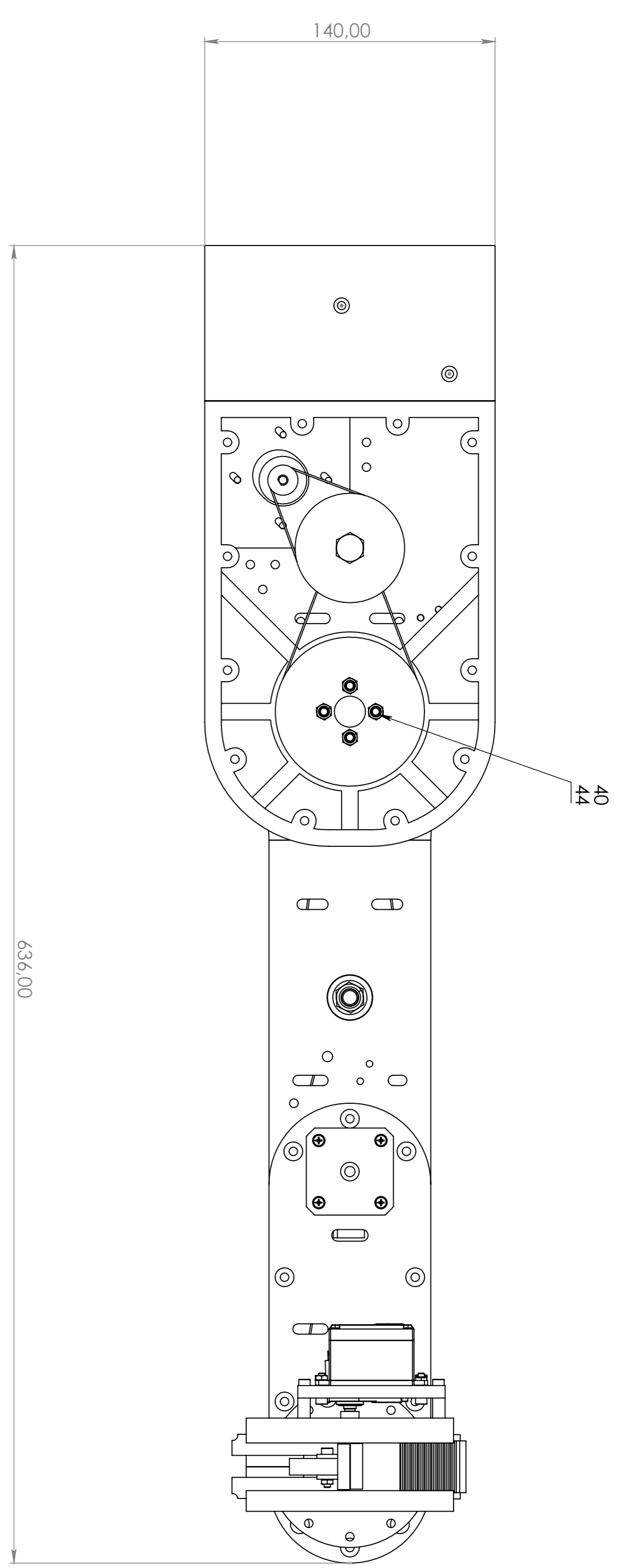
Лит. Масса Масштаб

2:1

Лист Листов

ІФНТУНГ  
ПМІ-21-1





|              |              |              |              |              |
|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|
| Ивл. № подл. | Подл. и дата | Взам. инв. № | Ивл. № дубл. | Подл. и дата |
|              |              |              |              |              |

|          |               |
|----------|---------------|
| Справ. № | Перв. примен. |
|          |               |

|             |               |       |      |
|-------------|---------------|-------|------|
| Ивл. Лист   | № докум.      | Наим. | Дата |
| Разработ.   | Иванов И.С.   |       |      |
| Проект.     | Лукина Т.В.   |       |      |
| Т. контрол. | Лукина Т.В.   |       |      |
| Рецензент.  | Лукина Т.В.   |       |      |
| Н. контрол. | Лукина Т.В.   |       |      |
| Утв.        | Павличук Е.Г. |       |      |

|                       |  |          |         |
|-----------------------|--|----------|---------|
| БР.ПММ-61.01.02.000СК |  | Лист     | Масштаб |
| Робот SCARA           |  |          | 2:1     |
|                       |  | Лист     | Листов  |
|                       |  | ПММ-21-1 | 1       |

БР.ПМІ-61.01.02.0000СК

| Изм.      | Лист | № докум.    | Підп. | Дата | Робот SCARA | Лист.    | Масса  | Масштаб |
|-----------|------|-------------|-------|------|-------------|----------|--------|---------|
| Разраб.   |      | Іванов І.С. |       |      |             |          |        | 1:1     |
| Пров.     |      | Лукань Т.В. |       |      |             |          |        |         |
| Т. контр. |      | Лукань Т.В. |       |      |             | Лист     | Листів |         |
| Реценз.   |      |             |       |      |             | ІФНТУНГ  |        |         |
| Н. контр. |      | Лукань Т.В. |       |      |             | ПМІ-21-1 |        |         |
| Утв.      |      | Панчук В.Г. |       |      |             |          |        |         |



БР.ПМІ-61.01.02.000

| Изм.      | Лист | № докум.    | Підп. | Дата | Лист.               | Масса  | Масштаб |
|-----------|------|-------------|-------|------|---------------------|--------|---------|
| Разраб.   |      | Іванов І.С. |       |      |                     |        | 1:1     |
| Пров.     |      | Лукань Т.В. |       |      |                     |        |         |
| Т. контр. |      | Лукань Т.В. |       |      | Лист                | Листів |         |
| Реценз.   |      |             |       |      | ІФНТУНГ<br>ПМІ-21-1 |        |         |
| Н. контр. |      | Лукань Т.В. |       |      |                     |        |         |
| Утв.      |      | Панчук В.Г. |       |      |                     |        |         |



*БР.ПМІ-61.01.02.000*

| <i>Изм.</i>      | <i>Лист</i> | <i>№ докум.</i>    | <i>Підп.</i> | <i>Дата</i> | <i>Графічний Інтерфейс</i> | <i>Лист.</i>    | <i>Масса</i>  | <i>Масштаб</i> |
|------------------|-------------|--------------------|--------------|-------------|----------------------------|-----------------|---------------|----------------|
| <i>Разраб.</i>   |             | <i>Іванов І.С.</i> |              |             |                            |                 |               | <i>1:1</i>     |
| <i>Пров.</i>     |             | <i>Лукань Т.В.</i> |              |             |                            |                 |               |                |
| <i>Т. контр.</i> |             | <i>Лукань Т.В.</i> |              |             |                            | <i>Лист</i>     | <i>Листів</i> |                |
| <i>Реценз.</i>   |             |                    |              |             |                            | <i>ІФНТУНГ</i>  |               |                |
| <i>Н. контр.</i> |             | <i>Лукань Т.В.</i> |              |             |                            | <i>ПМІ-21-1</i> |               |                |
| <i>Утв.</i>      |             | <i>Панчук В.Г.</i> |              |             |                            |                 |               |                |

| Форм. | Зона | Поз. | Позначення            | Назва                          | Кіл. | Замітки |
|-------|------|------|-----------------------|--------------------------------|------|---------|
|       |      |      |                       |                                |      |         |
|       |      |      |                       | <u>Документація</u>            |      |         |
|       |      |      |                       |                                |      |         |
| A4    |      |      | БР.ПМІ-61.00.00.000   | Пояснювальна записка           | 1    |         |
| A1    |      |      | БР.ПМІ-61.01.01.000СК | Схват                          |      |         |
|       |      |      |                       |                                |      |         |
|       |      |      |                       |                                |      |         |
|       |      |      |                       | <u>Деталі</u>                  |      |         |
|       |      |      |                       |                                |      |         |
| A4    | 1    |      | БР.ПМІ-61.01.01.001   | Кришка 1                       | 1    |         |
| A4    | 2    |      | БР.ПМІ-61.01.01.002   | Кришка 2                       | 1    |         |
| A4    | 3    |      | БР.ПМІ-61.01.01.003   | Кріплення для сервоприводу     | 1    |         |
| A4    | 5    |      | БР.ПМІ-61.01.01.005   | Щелепа 1                       | 1    |         |
| A4    | 6    |      | БР.ПМІ-61.01.01.006   | Щелепа 2                       | 1    |         |
| A4    | 7    |      | БР.ПМІ-61.01.01.007   | Кріплення 1                    | 1    |         |
| A4    | 8    |      | БР.ПМІ-61.01.01.008   | Вал                            | 1    |         |
| A4    | 9    |      | БР.ПМІ-61.01.01.009   | Шестерня                       | 1    |         |
| A4    | 10   |      | БР.ПМІ-61.01.01.010   | Рейка нижня                    | 1    |         |
| A4    | 11   |      | БР.ПМІ-61.01.01.011   | Рейка верхня                   | 1    |         |
| A4    | 12   |      | БР.ПМІ-61.01.01.012   | Кріплення 2                    | 1    |         |
|       |      |      |                       |                                |      |         |
|       |      |      |                       | <u>Стандартні вироби</u>       |      |         |
|       |      | 4    |                       | Сервопривід MG996R             | 1    |         |
|       |      | 14   |                       | Гвинт ДСТУ ISO 4762:2006 М3х12 | 4    |         |
|       |      | 15   |                       | Гвинт ДСТУ ISO 4762:2006 М3х16 | 5    |         |

БР.ПМІ-61.01.01.000

Изм Лист № докум Подп. Дата

|          |              |  |  |
|----------|--------------|--|--|
| Разраб.  | Иванов І. С. |  |  |
| Пров.    | Лукань Т. В. |  |  |
| Н.контр. | Лукань Т. В. |  |  |
| Утв.     | Панчук В. Г. |  |  |

Схват

Лит. Лист Листов

1

ІФНТУНГ  
ПМІ-21-1



| Форм. | Зона | Поз. | Позначення            | Назва                         | Кіл. | Замітки |
|-------|------|------|-----------------------|-------------------------------|------|---------|
|       |      |      |                       |                               |      |         |
|       |      |      |                       | <u>Документація</u>           |      |         |
| A4    |      |      | БР.ПМІ-61.00.00.000   | Пояснювальна записка          | 1    |         |
| A1    |      |      | БР.ПМІ-61.01.02.000СК | Робот SCARA                   |      |         |
|       |      |      |                       | <u>Вузол</u>                  |      |         |
| A1    | 1    |      | БР.ПМІ-61.01.01.000СК | Схват                         | 1    |         |
|       |      |      |                       | <u>Деталі</u>                 |      |         |
| A1    | 2    |      | БР.ПМІ-61.01.02.001   | База робота                   | 1    |         |
|       | 3    |      |                       | Платформа для кріплення осі Z | 1    |         |
|       | 4    |      |                       | Ланка 1                       | 1    |         |
|       | 5    |      |                       | Кришка ланки 1                | 1    |         |
|       | 6    |      |                       | Ланка 2                       | 1    |         |
| A4    | 7    |      | БР.ПМІ-61.01.01.008   | Кришка ланки 2                | 1    |         |
|       | 8    |      |                       | Нижня пластина осі Z          | 1    |         |
|       | 9    |      |                       | Кришка бази                   | 1    |         |
|       | 10   |      |                       | Верхня кришка                 | 1    |         |
|       | 11   |      |                       | Вісь Z зверху                 | 1    |         |
| A4    | 12   |      | БР.ПМІ-61.01.01.013   | Муфта J1                      | 1    |         |
|       | 13   |      |                       | Муфта J2                      | 1    |         |
| A4    | 14   |      | БР.ПМІ-61.01.01.015   | Муфта J3                      | 1    |         |
|       | 15   |      |                       | Корпус коробки для Arduino    | 1    |         |
|       | 16   |      |                       | Кришка коробки для Arduino    | 1    |         |

БР.ПМІ-61.01.02.000

Изм Лист № докум Подп. Дата

|          |              |  |  |
|----------|--------------|--|--|
| Разраб.  | Иванов І. С. |  |  |
| Пров.    | Лукаць Т. В. |  |  |
| Н.контр. | Лукаць Т. В. |  |  |
| Утв.     | Панчук В. Г. |  |  |

Робот SCARA

Лит. Лист Листов

1

ІФНТУНГ  
ПМІ-21-1



