

НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ УКРАЇНИ
«КИЇВСЬКИЙ ПОЛІТЕХНІЧНИЙ ІНСТИТУТ
ім. ІГОРЯ СІКОРСЬКОГО»
МЕХАНІКО-МАШИНОБУДІВНИЙ ІНСТИТУТ
КАФЕДРА КОНСТРУЮВАННЯ МАШИН

До захисту допущено

В.о. завідувача кафедри

Олександр ОХРИМЕНКО

(підпис) (ініціали, прізвище)

“ ” 2020 р.

Дипломний проект

на здобуття ступеня бакалавра

за освітньо-професійною програмою «Металорізальні верстати та системи»
спеціальності 133 «Галузеве машинобудування»

на тему Маніпулятор для завантаження високотемпературної печі

Виконав студент групи

IV курсу, групи МІ-61-2

Попов Сімеон Олексійович

(прізвище ім'я по батькові)

(підпис)

Керівник проекту

Шевченко Олександр
Віталійович д.т.н., професор

(вчена ступінь та звання, прізвище, ініціали)

(підпис)

КОНСУЛЬТАНТИ:

Конструкторська
частина

Попов Олексій Юрійович
д. ф.-м. н., доцент

РЕЦЕНЗЕНТ:

(посада, наукова ступінь, вчене звання, науковий ступінь, прізвище та ініціали)

(підпис)

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

Студент _____
(підпис)

Київ - 2020 року

Національний технічний університет України
“Київський політехнічний інститут
ім. Ігоря Сікорського”
Механіко-машинобудівний інститут
Кафедра конструювання машин

Рівень вищої освіти _____ перший (бакалаврський) _____

Спеціальність _____ **133 «Галузеве машинобудування»** _____

(код і назва)

Освітньо-професійна програма _____ **«Металорізальні верстати та системи»** _____

1. **ЗАТВЕРДЖУЮ**

В.о. завідувача кафедри

_____ **Олександр ОХРИМЕНКО** _____

(підпис)

(ініціали, прізвище)

“ _____ ” _____ 2019 р.

2. ЗАВДАННЯ

3. НА ДИПЛОМНИЙ ПРОЕКТ СТУДЕНТУ

_____ **Попов Сімеон Олексійович** _____

(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема проекту: _____ **Маніпулятор для завантаження високотемпературної печі.** _____

керівник проекту _____ **д.т.н., професор Шевченко О.В.** _____

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

затверджені наказом по університету від **“20” травня 2020 року № 1120-с**

2. Термін подання студентом проекту **10 червня 2020 року** _____

3. Вихідні дані до проекту _____ **механізація процесу переміщення ємностей з попередньо спресованими деталями порошкової металургії між зонами комплектації, попереднього нагрівання, спікання, охолодження та розвантаження.** _____

4. Зміст пояснювальної записки: **Вступ. Розділ 1 – Аналіз відомих рішень та вибір конструкції прототипу маніпулятора. Розділ 2 – Розробка конструкції маніпулятора та розрахунки базових вузлів. Розділ 3 - Розробка, виготовлення та програмування макету маніпулятора. Висновки. Література.** _____

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

1. Вибір конструкції прототипу. 2.Відомі конструкції маніпуляторів. 3. Маніпулятор для завантаження печі. 4. Деталювання. 5. Схема керування маніпулятором. 6. Конструкція моделі маніпулятора.

6. Консультанти розділів проекту

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	завдання прийняв
Конструкторська частина	Попов Олексій Юрійович д. ф.-м. н., доцент		

7. Дата видачі завдання _____

4. КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва етапів виконання дипломного проекту	Строк виконання етапів проекту	5. Примітка
1.	Огляд наявних конструктивних рішень маніпулятора	17.03.20	
2.	Вибір конструкції прототипу методом парних порівнянь	24.03.20	
3.	Вибір основних розмірів маніпулятора та типу привода	14.04.20	
4.	Розрахунки базових вузлів	21.04.20	
5.	Проектування твердотільної моделі макета маніпулятора в середовищі автоматизованого проектування Inventor	05.05.20	
6.	Збирання макета маніпулятора, створення програми керування на базі Arduino	02.06.20	
7.	Оформлення пояснювальної записки	10.06.20	

Студент _____ Попов С. О.
(підпис) (прізвище та ініціали)

Керівник проекту _____ Шевченко О.В. д.т.н., професор _____

Реферат

Дипломна робота складається з пояснювальної записки 71 стор., 35 рис., 24 таблиці. Графічна частина містить 6 аркушів формату А1.

Виконано вибір конструкції-прототипу методом парних порівнянь. Розглядалися поширені напрями конструкції машин, основне призначення яких є маніпулювання важкими, великогабаритними об'єктами, з точки зору особливостей поставленої задачі: робота в зоні періодичного впливу високих температур.

Розглянуті аналоги машин обраної конструкції провідних фірм та визначені їх переваги та недоліки.

Розв'язано зворотну задачу кінематики, розв'язок якої в подальшому використаний в програмі керування.

Обрано основні розміри маніпулятора, виходячи з необхідних технологічних рухів та габаритів об'єкту маніпулювання.

Розраховано необхідні потужності приводів.

Спроековано в САПР Inventor та виготовлено макет маніпулятора. Система керування побудована на мікроконтролерах Arduino. За допомогою радіомодулей, встановлених на маніпулятор та на пульт керування, можлива передача керуючих сигналів на відстані прямої видимості.

Реферат

Дипломная работа содержит пояснительную записку, состоящую из 71 стр., 35 рис., 24 табл. Графическая часть содержит 6 листов формата А1.

Выполнен выбор конструкции-прототипа методом парных сравнений. Рассматривались распространенные направления конструкции машин, основное назначение которых является манипулирование тяжелыми, крупногабаритными объектами, с точки зрения особенностей поставленной задачи: работа в зоне периодического воздействия высоких температур.

Рассмотрены аналоги машин выбранной конструкции ведущих фирм и определены их преимущества и недостатки.

Решена обратная задача кинематики, решение которой в дальнейшем использовано в программе управления.

Выбраны основные размеры манипулятора, исходя из необходимых технологических движений и габаритов объекта манипулирования.

Рассчитано необходимые мощности приводов.

Спроектирован в САПР Inventor и изготовлено макет манипулятора. Система управления построена на микроконтроллерах Arduino. С помощью радиомодуля, установленных на манипулятор и на пульт управления, возможна передача управляющих сигналов на расстоянии прямой видимости.

Abstract

Diploma contains an explanatory note consisting of 71 pages, 35 figures, 24 tables. The graphical part contains 6 A1 sheets.

The prototype design is chosen with the use of the pairwise comparison method. General approaches of machine construction based on the main purpose: heavy and large objects manipulation at periodic high temperature exposure are considered. Different machines of the chosen design manufactured by leading firms are analyzed, their advantages and disadvantages are defined.

The main dimensions of the manipulator are selected basing on the manipulated object shape as well as the necessary technological movements. The inverse kinematics problem is solved; the solution is used for the control program algorithm. The required drive capacities are calculated.

The manipulator prototype is designed in CAD Inventor and constructed from aluminium details in 1:8 scale. The control system is built on Arduino microcontrollers. The signal from control panel to manipulator transmission is executed by means of radiomodules; the prototype can be driven from the distance of direct visibility.

**Пояснювальна записка
до дипломного проекту**

на тему: Маніпулятор для завантаження високотемпературної печі

Київ – 2020 року

Зміст

Актуальність _____	10
Мета дослідження _____	10
Об'єкт дослідження _____	11
Предмет дослідження _____	11
Задачі _____	11
1. Розділ 1 _____	13
1.2 Вибір конструкції-прототипу методом парних порівнянь _____	13
1.2.1. Перший етап: формування множини конструктивних рішень _____	16
1.2.2. Етап 2. Вибір критеріїв для методу парних порівнянь _____	17
1.2.3. Етап 3: Реалізація методу парних порівнянь. _____	18
1.2.4. Етап 4: Обробка таблиць попарних переваг _____	20
1.3 Огляд наявних конструктивних рішень маніпулятора _____	20
1.3.1. KR 40 PA _____	20
1.3.2. KR 700 PA _____	23
1.3.3. KR 1000 1300 titan PA _____	26
1.3.4. M-2000iA/1700L _____	30
1.3.5. CP700L-AC03 _____	32
2. Розділ 2. _____	36
1.4 Опис конструкції маніпулятора _____	36
1.5 Різновиди приводів _____	37
1.6 Вибір типу приводу _____	38
1.6.1. Безщітковий двигун постійного струму _____	38
1.6.2. Синхронний привід _____	39
1.6.3. Асинхронний двигун _____	40
1.6.4. Кроковий двигун _____	40
1.6.5. Сервопривід _____	41
1.6.6. Пневматичний привід _____	43
1.6.7. Гідравлічний привід _____	44

					МІ612.ДІБ009.00.000ПЗ			
Змн.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата	Пояснювальна записка	Літ.	Арк.	Акрушів
Розроб.		Попов С. О.						
Перевір.		Шевченко О.В.						
Реценз.								
Н. Контр.								
Затверд.						ММІ НТУУ «КПІ»		

1.7	Розрахунок основних параметрів маніпулятора	46
1.7.1.	Вибір основних розмірів маніпулятора	46
1.7.2.	Кінематика: пряма і зворотна задачі	49
1.7.3.	Розрахунок потрібних потужностей приводів плеча та передпліччя	51
1.7.3.1.	Утримуючі моменти на приводах плеча та передпліччя	53
1.7.3.2.	Оцінка динамічної складової	57
1.7.4.	Розрахунок потужностей приводів із врахуванням отриманих розмірів ланок	58
3.	Розділ 3. Розробка, виготовлення та програмування макету маніпулятора	60
1.8	Виготовлення твердотільної моделі маніпулятора в САПР Inventor	60
1.9	Вивчення системи керування на базі мікроконтролерів Arduino	64
1.9.1.	Різновиди плат Arduino	64
1.9.2.	Сервоприводи	67
1.9.3.	Радіо модуль NRF24L01	70
1.10	Підключення маніпулятору та системи керування	70
	Висновки	74
	Використані джерела	75
	Додатки	79

Актуальність

На даний момент використання керамічних бронепластин українського виробництва вкрай недоцільне через, здебільшого, занадто високу вартість процесу спікання. Через високу температуру спікання процес такий: порошкові заготовки (пластини) завантажуються в холодну піч, відбувається процес нагрівання печі разом з заготовками до температури близько 2000°С протягом 20 годин (оскільки об'єм корисного простору близько одного метру кубічного, об'єм теплоізоляційних матеріалів, які теж нагріваються - відповідний), спікання за цієї температури від 2 до 6 годин та охолодження печі протягом доби перед розвантаженням готових пластин та завантаженням нової партії. Таким чином весь технологічний цикл виготовлення керамічних матеріалів методом традиційного спікання[1, 2, 3, 4, 5] займає близько двох діб. На сьогодні українські вчені розробили прогресивні методики реакційного спікання та гарячого пресування із застосуванням екзотермічних реакцій під час виготовлення матеріалу[6, 7, 8, 9, 10, 11]. Ці методики дозволяють одержати високоякісний керамічний матеріал протягом 2-20 хвилин, що може істотно знизити собівартість одержання керамічних деталей. Проте, через необхідність заново розігрівати, а потім повністю охолоджувати піч для кожної нової партії, зменшення часу спікання не може суттєво вплинути на собівартість продукції. Це зумовлює необхідність створення нових установок для порошкової металургії із скороченим виробничим циклом.

Мета дослідження

Розробка конструкції машини для маніпулювання важкими об'єктами певних фіксованих розмірів, в умовах періодичного короткочасного впливу високих температур, розрахунку основних вузлів, вибір приводів.

					МІ612.ДПБ009.00.000ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		3

Об'єкт дослідження

Процес переміщення ємностей з попередньо спресованими деталями порошкової металургії між зонами комплектації, попереднього нагрівання, спікання, охолодження, розвантаження (Рис. 1).

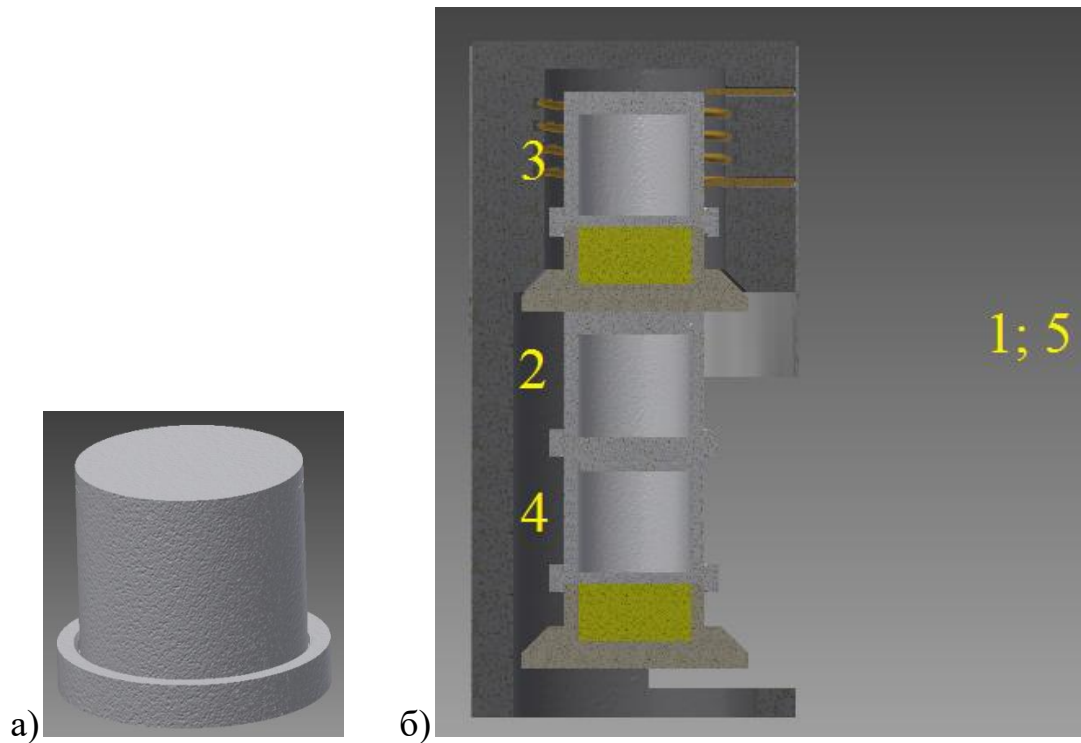


Рис. 1 – ілюстрації задачі, яку має виконувати пристрій маніпулювання:
а) ємність з попередньо спресованими деталями порошкової металургії; б) зони: 1 – комплектації, 2 – попереднього нагрівання, 3 – спікання, 4 – охолодження, 5 – розвантаження;

Предмет дослідження

Пристрій маніпулювання для автоматизованого цеху спікання, основну ідею конструкції якого буде обрано в даній роботі.

Задачі

- 1) Вибір методом парних порівнянь конструкції, яка в подальшому буде використовуватися як прототип;
- 2) Вивчення аналогів обраної конструкції;

					МІ612.ДПБ009.00.000ПЗ	Лист
						4
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		

3) Опис конструкції;

3)Вибір типу приводів;

4)Розв'язання оберненої задачі кінематики;

5)Розрахунок потужностей приводів;

6)Розробка обраної конструкції за допомогою засобів автоматизованого проектування, з використанням середовища проектування «Autodesk Inventor»;

7) Створення макету для подальшої розробки усього цеху в масштабі;

					МІ612.ДПБ009.00.000ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		5

1.Розділ 1

5.2 Вибір конструкції-прототипу методом парних порівнянь

Основна частина автоматичної виробничої лінії містить наступні основні елементи (Рис. 2): піч для спікання 1, маніпулятор для транспортування контейнерів між технологічними операціями 2, область наповнення контейнера 3 попередньо спресованими керамічними бронепластинами перед завантаженням у піч, область розвантаження 4 контейнера після завершення процесу спікання. Метою даного дипломного проекту є розробка конструкції маніпулятора.

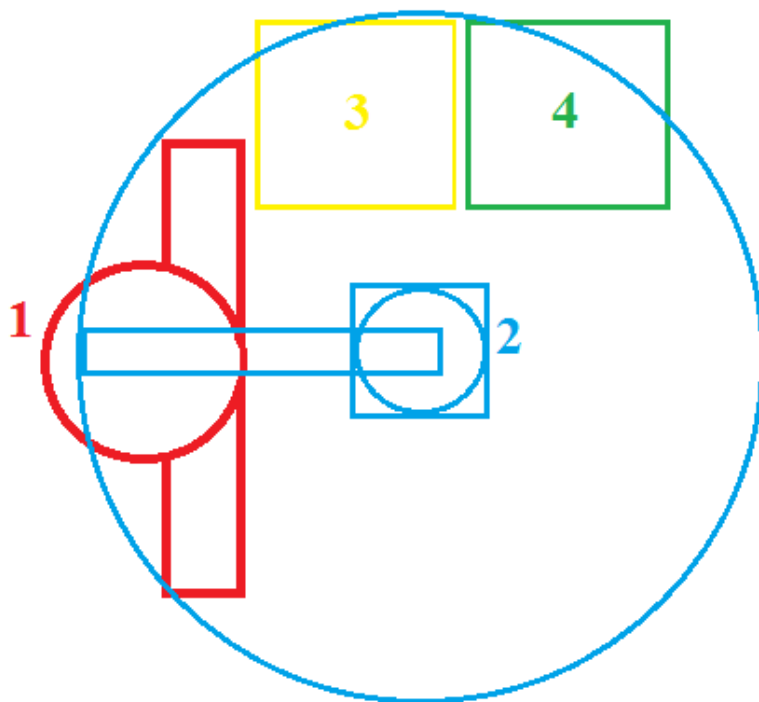


Рис. 2 – схема автоматичної виробничої лінії для спікання керамічних матеріалів.

Оскільки маніпулятор має працювати в досить агресивних умовах періодичного впливу високих температур (в момент завантаження контейнера у піч та виймання з печі) – вибір основного напрямку його конструкції виявився нелегкою задачею. Після вивчення великої кількості різних вантажопідйомних пристроїв та спроб обрати, яка конструкція краще

всього задовольняє умовам поставленої задачі, було вирішено виділити декілька основних напрямків розвитку конструкції машин для оперування важкими вантажами та обрати кращий методом парних порівнянь.

Метод парних порівнянь полягає в оцінюванні варіантів конструктивних рішень шляхом порівняльного аналізу можливих варіантів щодо відповідності основним критеріям виконання поставленої задачі. Всі можливі конструктивні рішення попарно порівнюють між собою, причому кожна наступна оцінка не зв'язана з попередньою; усі ці парні оцінки складають таблицю парних переваг, при спеціальній обробці якої одержують числові параметри показників пріоритетності об'єкту для конкретного підприємства[12].

Метод використовується для якісного порівняння різних конструктивних рішень з точки зору поставлених задачі та обмежень. Перевагами методу є:

порівняння кожної роботи з іншими за більшим числом факторів пріоритетності, завдяки чому підвищується точність оцінки і відкривається можливість вивчати якість більшого числа конструкції, ніж при використанні інших методів;

експерт у процесі експертизи зосереджує свою увагу не на всіх роботах відразу, а тільки на двох, порівнюваних у кожен даний момент, це полегшує роботу і сприяє підвищенню її якості;

Тому в нашому випадку метод попарного порівняння використовується для вибору напрямку подальшого проектування.

Етапи оцінювання методом парних порівнянь.

1) Формування множини конструктивних рішень для поставленої задачі, серед яких в подальшому буде обране краще.

					МІ612.ДПБ009.00.000ПЗ	Лист
						7
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		

2) Вибір критеріїв оцінки, які є важливі для щонайкращого виконання поставленої задачі.

3) Реалізація методу шляхом попарного порівняння конструкції між собою за певним критерієм та заповнення таблиць попарних переваг.

Наприклад (Табл. 1.1):

«Конструкція 1» (з першого стовпчика) порівнюється з «Конструкцією 2» (з першого рядка) за «Критерієм 1». Нехай, «Конструкція 1» виявляється переважною за даним критерієм. Тоді на перетині відповідних рядка і стовпчика ставиться «1» (якби «Конструкція 1» виявилась гіршою від «Конструкції 2» - було б написано «0»). Далі числа в кожному рядку підсумовуються і виставляється сума.

На перетині однакових конструкцій стоїть «-», оскільки конструкція не може бути порівняна сама з собою.

Таблиця 1.1 – приклад реалізації методу парних порівнянь.

Критерій 1		Конструкція	Конструкція	Сума
1		2		
1	Конструкція	-	<u>1</u>	1
	Конструкція	0	-	0
2				

4) Обробка таблиць попарних переваг відбувається шляхом складання сум певної конструкції за усіма критеріями та, таким чином, отримання сумарної оцінки конструктивного рішення за умовами (критеріями) поставленої задачі.

5.2.1.Перший етап: формування множиниконструктивних рішень

Оскільки, вантажні машини в умовах впливу високих температур не є розповсюдженими, а їх конструкція не є легкодоступною – на даному етапі розглядаються вантажні машини із різними підходами до конструкції, які використовуються в середовищах нормальних температур (Рис. 3), можливість використання кожного підходу для поставленої задачі (подача контейнеру у гарячу піч) буде оцінюватися протягом використання методу парних порівнянь.



Рис. 3 – різні конструктивні рішення машин маніпулювання важкими об'єктами.: а) Козловий кран[13] , б) Електричний штабелер[14], в) Міні

кран-маніпулятор з телескопічною конструкцією[15] г) Маніпулятор KUKA для пакетування, складання продукції[16].

5.2.2.Етап 2. Вибір критеріїв для методу парних порівнянь

Основною задачею маніпулятора є подача контейнеру (Рис. 1, а), після завантаження попередньо спресованими керамічними деталями (Рис. 1, б, зона 1) у зону попереднього нагрівання (Рис. 1, б, зона 2). Далі контейнер подається в піч (Рис. 1, б, зона 3), а після спікання за температури до 2000°C – переміщується у зону охолодження (Рис. 1, б, зона 4), останнім етапом технологічного циклу маніпулятора є виймання гарячого контейнера з печі в зону розвантаження контейнеру (Рис. 1, б, зона 5), в якій готові керамічні вироби з контейнера потрапляють на наступні технологічні операції. Під час виконання даної задачі маніпулятор деякий час перебуває під дією високих температур, що має бути враховано при розробці конструкції. Виходячи з цієї задачі можна сформулювати наступні критерії оцінювання.

1) **Забезпечення необхідних рухів;** є важливим для виконання основної технологічної мети, а саме просування контейнеру в робочу зону печі.

2) **Можливість використання в інших задачах по переміщенню вантажу;** створює умови для виконання додаткових функцій та усунення необхідності закупівлі додаткового обладнання в разі створення повнопрофільного цеху автоматизованого спікання керамічних матеріалів.

3) **Габарити органу захвату;** впливає на розмір отвору для подачі контейнеру в піч та на вагу маніпулятора – потужності приводів та частоту ремонту через зношення.

4) **Можливість періодичної роботи в зоні високих температур;** є основною умовою здатності виконання маніпулятором технологічного процесу.

					МІ612.ДПБ009.00.000ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		10

5) **Точність позиціонування**; поставлена задача на вимагає особливо високої точності – зависока точність буде невиправдано підвищувати вартість виготовлення та обслуговування. Тож точність позиціонування має бути в межах від 1мм до 0.1 мм.

6) **Простота обслуговування і ремонту**; деталі, вузли, використані в конструкції мають бути стандартними задля зниження вартості як виготовлення, так і обслуговування, ремонту. Також, складність конструктивних рішень може бути джерелом неочікуваних складностей через агресивну дію середовища роботи машини, у тому числі короткочасну роботу у зоні високих температур.

Обрані критерії достатньо точно охоплюють усі складності поставленої задачі. Вони будуть використані для наступного етапу методу.

5.2.3.Етап 3: Реалізація методу парних порівнянь.

Звісно, порівняння не виявить конструкцію, яка ідеально задовольнить усі умови поставленої задачі. Обрану конструкцію ще необхідно буде спрощувати і розробляти допоміжний захист, через періодичний короткочасний вплив високих температур. Реалізація методу представлена в Таблиці 1.2.

Таблиця 1.2. Реалізація методу парних порівнянь для обраних напрямків конструктивних рішень: 1 – козловий кран; 2 – електричний штабелер; 3 – міні кран-маніпулятор з телескопічною конструкцією; 4 – маніпулятор KUKA для пакетування, складання продукції.

Критерій 1	1	2	3	4	Сума
1	-	0	0	0	0
2	1	-	1	0	2
3	1	0	-	0	1

4	1	1	1	-	3
---	---	---	---	---	---

Крит ерій 2	1	2	3	4	Сума
1	-	1	1	1	3
2	0	-	0	0	0
3	0	1	-	0	2
4	0	1	1	-	2

Крит ерій 3	1	2	3	4	Сума
1	-	1	1	1	3
2	0	-	0	0	0
3	0	1	-	1	2
4	0	1	0	-	1

Крит ерій 4	1	2	3	4	Сума
1	-	1	0	0	1
2	0	-	0	0	0
3	1	1	-	0	2
4	1	1	1	-	3

Крит ерій 5	1	2	3	4	Сума
1	-	0	0	0	0
2	1	-	0	0	1
3	1	1	-	0	2
4	1	1	1	-	3

Крит ерій 6	1	2	3	4	Сума
1	-	0	0	0	0
2	1	-	1	0	2
3	1	0	-	0	1
4	1	1	1	-	3

5.2.4.Етап 4: Обробка таблиць попарних переваг

Метод парних порівнянь, застосований до основних напрямків конструктивних рішень (Табл. 1.2) дозволяє зробити висновок (Табл. 1.3), що найкращим з точки зору відповідності критеріям 1 – 6 слід визнати конструкцію чотириланкового (основа, плече, передпліччя, кисть-захват) маніпулятора KUKA для пакування з ангулярною системою координат (Рис. 3, г).

Таблиця 1.3. Результат методу парних порівнянь

Конструкція	Сума
Козловий кран	7
Електричний штабелер	5
Міні кран-маніпулятор з телескопічною конструкцією	10
Маніпулятор KUKA для пакування, складання продукції	15

5.3 Огляд наявних конструктивних рішень маніпулятора

З метою всебічного вивчення конструктивних особливостей наявних рішень чотириланкового маніпулятора з ангулярною системою координат розглянемо декілька маніпуляторів цього типу, виготовлених кращими закордонними виробниками.

5.3.1.KR 40 PA

Маніпулятор KR 40 PA[17](Рис. 4, а), виготовлений фірмою KUKA та використовуваний для палетовкладання легких об'єктів з максимальною швидкістю (через невеликі габарити і, відповідно, вагу маніпулятора). Маніпулятор KR 40 PA має наступні переваги:

Винесена система двигунів (двигун передпліччя знаходиться на основі маніпулятора і передає рух через спеціальний ланковий механізм), що

зменшує вагу «руки» маніпулятора і дозволяє швидше виконувати технологічний цикл через меншу інерційність всього робота.

Допоміжний механізм паралельності кисті не тільки «знімає» з кінця передпліччя вагу приводу, але й взагалі замінює привід, підтримуючи постійне положення органу захвату, спрощує систему керування маніпулятором, знижує вартість виготовлення та використання.

Розміри робочої зони (Табл. 1.4) (Рис. 4, б) та паспортні дані (Табл. 1.5) дозволяють отримати кількісну оцінку маніпулятора.



					MI612.ДПБ009.00.000ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		14

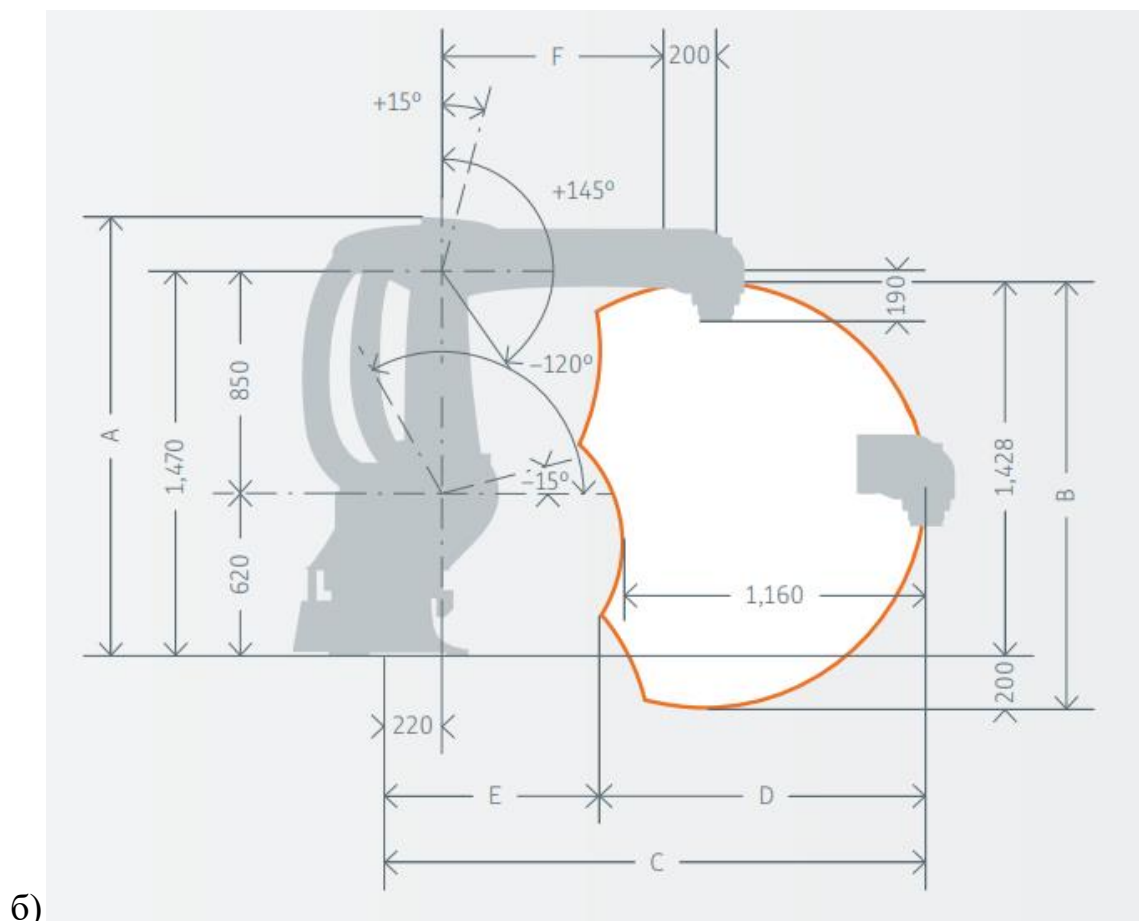


Рис. 4 – Маніпулятор KR 40 PA: а) зовнішній вигляд маніпулятора; б) робоча зона маніпулятора;

Таблиця 1.4 –розміри робочої зони маніпулятора KR 40 PA(Рис.4, б)

Модель	Розмір (мм)						Об'єм м, м ³
	A	B	C	D	E	F	
KR 40 PA	1	1	2	1	8	8	12.6
	675	628	091	240	51	50	

Таблиця 1.5 – паспортні дані маніпулятора KR 40 PA.

Максимальний радіус дії	2019 мм.
Номінальне корисне навантаження	40 кг.
Номінальне завантаження	20 кг.
Номінальне загальне навантаження	110 кг.
Повторюваність позиції	+ -0.05 мм.
Кількість осей	4
Монтажне положення	Підлога

Версія	Standart
Робоча зона	850 мм. х 950 мм.
Вага (включаючи контролер), приблизно	695 кг.
Температура навколишнього середовища	0°Сдо +55°С
Вісь 1 (A1)	+/-185°
Вісь 2 (A2)	+10°/-120°
Вісь 3 (A3)	+150°/-10°
Вісь 6 (A6)	+ /-350°

5.3.2.KR 700 PA

Маніпулятор KR 700 PA[17](Рис. 5), виготовлений фірмою KUKA та використовуваний для палетовкладання об'єктів середньої та великої ваги з максимальною точністю. Маніпулятор KR 700 PA має наступні переваги:

На відміну від попередньо розглянутого KR 40 PA, система двигунів є розподіленою, тобто двигун, керуючий передпліччям, розміщений на кінці плеча (Рис. 5, а). Це додає ваги, що діє на привід плеча, але скорочується зв'язок між двигуном та передпліччям, що позитивно впливає на точність виходу в позицію.

Вісь обертання плеча винесена вперед з обертаючої платформи (Рис. 5, б), завдяки цьому збільшується робоча зона маніпулятора за рахунок нижньої частини робочої зони (Рис. 5, в).

a)



б)



					MI612.ДПБ009.00.000ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		17

в)

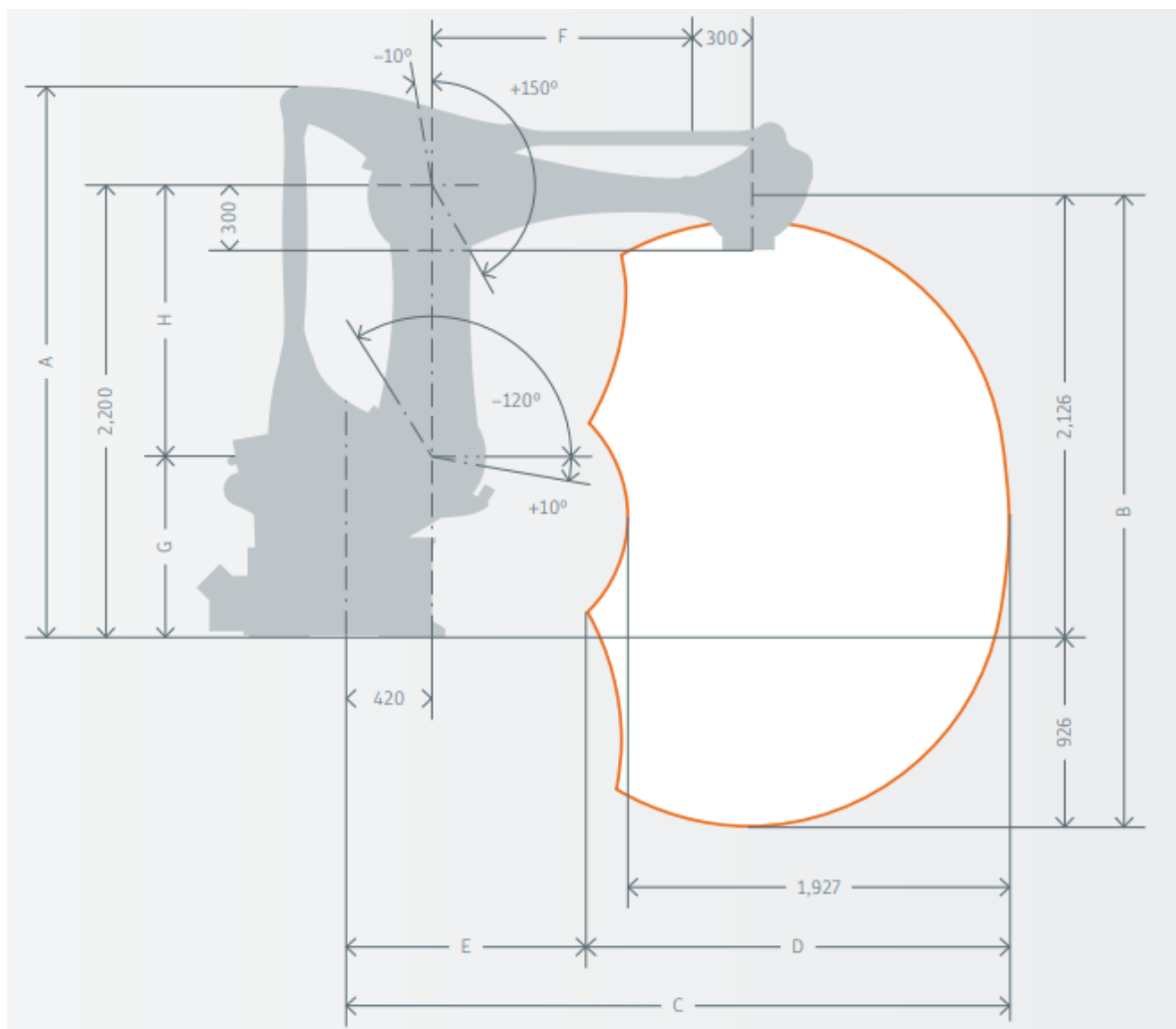


Рис. 5 – маніпулятор KR 700 PA: а),б) загальний вигляд маніпулятора;
в) робоча зона маніпулятора.

Розміри робочої зони (Табл. 1.6) (Рис. 5, в) та паспортні дані (Табл. 1.7) дозволяють отримати кількісну оцінку маніпулятора.

Таблиця 1.6 –розміри робочої зони маніпулятора KR 700 PA(Рис.5, в).

Мо дель	Розмір (мм)								Об'є м, м ³
	1	2	3	4	5	6	7	8	
KR 40 PA	744	052	320	124	196	300	00	300	73

Таблиця 1.7 – паспортні дані маніпулятора KR 40 PA.

Максимальний радіус дії	3320 мм.
Номінальне корисне навантаження	700 кг.
Номінальне завантаження	50 кг.
Номінальне загальне навантаження	750 кг.
Повторюваність позиції	+/-0.08 мм.
Кількість осей	4
Монтажне положення	Підлога
Версія	Arctic
Робоча зона	1000 мм. x 1000 мм.
Вага (включаючи контролер), приблизно	2850 кг.
Температура навколишнього середовища, робот	0°C до +55°C
Температура навколишнього середовища, Arctic	-30°C до +5°C
Вісь 1 (A1)	+/-183 град
Вісь 2 (A2)	-15/-120 град
Вісь 3 (A3)	+15/+145 град
Вісь 6 (A6)	+/-350 град

5.3.3.KR 1000 1300 titan PA

Маніпулятор KR 1000 1300 titan PA[17](Рис. 6), виготовлений фірмою KUKA та використовуваний для маніпулювання об'єктами великої ваги з максимальною кількістю можливих технологічних операцій. Маніпулятор KR 1000 1300 titan PA має наступні переваги:

Можливе встановлення різних органів захвату, що дозволяє використовувати дану модель маніпулятора як для складання, пакетування важкої продукції, так і для перенесення, встановлення великогабаритних, важких деталей на різні технологічні операції (Рис. 6, а, б);

6 вісей руху маніпулятора та відсутність механізму паралельності кисті, розширює можливість виконання складних рухів.

Вісь обертання плеча винесена вперед з обертаючої платформи (Рис. 6), завдяки цьому збільшується робоча зона (Рис. 7, а) маніпулятора за рахунок нижньої частини робочої зони.



Рис. 6 – зовнішній вигляд маніпулятора KR 1000 1300 titan PA:
 а) маніпулятор, обладнаний захватом для пакетування; б) маніпулятор,
 обладнаний захватом для валів;

Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата

МІ612.ДПБ009.00.000ПЗ

Лист

20

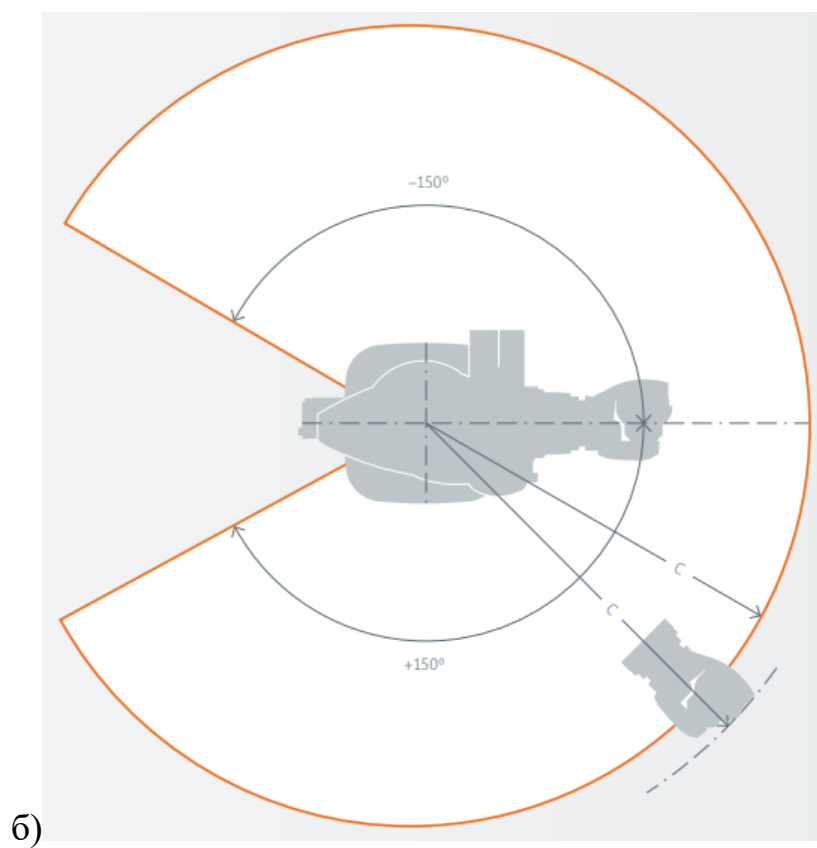
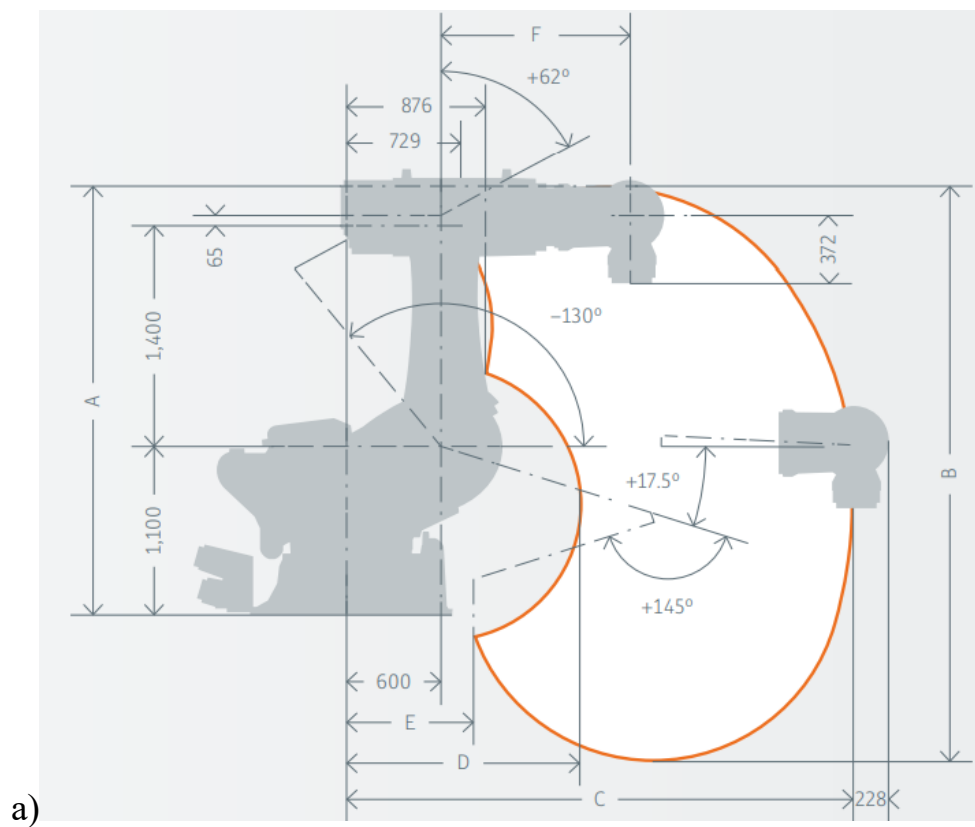


Рис. 7 – робоча зона маніпулятора KR 1000 1300 titan PA: а) робоча зона; б) можливі кути повороту;

Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата

МІ612.ДПБ009.00.000ПЗ

Лист

21

Розміри робочої зони (Табл. 9) (Рис. 7, а,б) та паспортні дані (Табл. 10, 11) дозволяють отримати кількісну оцінку маніпулятора.

Таблиця 9 - розміри робочої зони маніпулятора (Рис.7, а, б).

Модель	Розмір (мм)						О б'єм, м ³
KR 1000 1300 titan РА	749	937	202	937	937	937	1 2102,5

Таблиця 10 – паспортні дані маніпулятора KR 1000 1300 titan РА.

Максимальний радіус дії	3202 мм.
Номінальне корисне навантаження	1300 кг.
Номінальне завантаження	100 кг.
Номінальне загальне навантаження	1350 кг.
Повторюваність позиції	+/-0.01 мм.
Кількість осей	6
Монтажне положення	Підлога
Версія	-
Робоча зона	1300 мм. х 1500 мм.
Вага (включаючи контролер), приблизно	4690 кг.
Температура навколишнього середовища	+10°C до +55°C

Таблиця 11 – паспортні дані маніпулятора KR 1000 1300 titan РА щодо діапазонів та швидкостей рухів

Дані вісі	Діапазон руху	Швидкість при приблизному корисному навантаженні:	
		1300 кг.	950 кг.
Вісь 1 (A1)	+ /-183°	58°/с	58°/с
Вісь 2 (A2)	-15°/-120°	50°/с	50°/с
Вісь 3 (A3)	+15°/+145°	50°/с	50°/с
Вісь 6 (A6)	+ /-350°	72°/с	72°/с

5.3.4.М-2000iA/1700L

Маніпулятор М-2000iA/1700L (Рис. 8)[18], виготовлений фірмою FANUC та використовуваний для палетування об'єктів великої ваги. Маніпулятор М-2000iA/1700L має наступні переваги:

Багатодвигунний привід плеча – 4 двигуна, по 2 з кожної сторони дозволяє встановити з кожної сторони по зубчатому редуктору внутрішнього зачеплення. Наявність двох редукторів зменшує навантаження на зуб кожного. А 2 двигуни на кожний редуктор дозволяють нівелювати мертвий хід зубчатої передачі (зубчата передача завжди виконується з зазором), шляхом притискання зубчатих колес обох двигунів до різних сторін зубів, що значно підвищує точність виходу в позицію.

6 вісей руху маніпулятора та відсутність механізму паралельності кисті, розширює можливість виконання складних рухів.



Рис. 8 – Маніпулятор М-2000iA/1700L.

					МІ612.ДПБ009.00.000ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		23

Розміри робочої зони (Табл. 12) (Рис. 9, а,б) та паспортні дані (Табл. 13, 14) дозволяють отримати кількісну оцінку маніпулятора.

Таблиця 13 – паспортні дані маніпулятора М-2000іА/1700L.

Максимальний радіус дії	4683 мм.
Номінальне корисне навантаження	1700 кг.
Повторюваність позиції	+/-0.27 мм.
Кількість осей	6
Монтажне положення	Підлога
Площа встановлення	1540 мм. х 1480 мм.
Вага (включаючи контролер), приблизно	12500 кг.
Температура навколишнього середовища	0°С до +45°С
Рівень акустичного шуму	72.8 дБ

Таблиця 14 – діапазон рухів маніпулятора М-2000іА/1700L.

	Діапазон рухів	Максимальна швидкість
Вісь 1 (J1)	330°	20°/с
Вісь 2 (J2)	160°	14°/с
Вісь 3 (J3)	165°	14°/с
Вісь 4 (J4)	720°	18°/с
Вісь 5 (J5)	240°	18°/с
Вісь 6 (J6)	720°	40°/с

5.3.5.CP700L-AC03

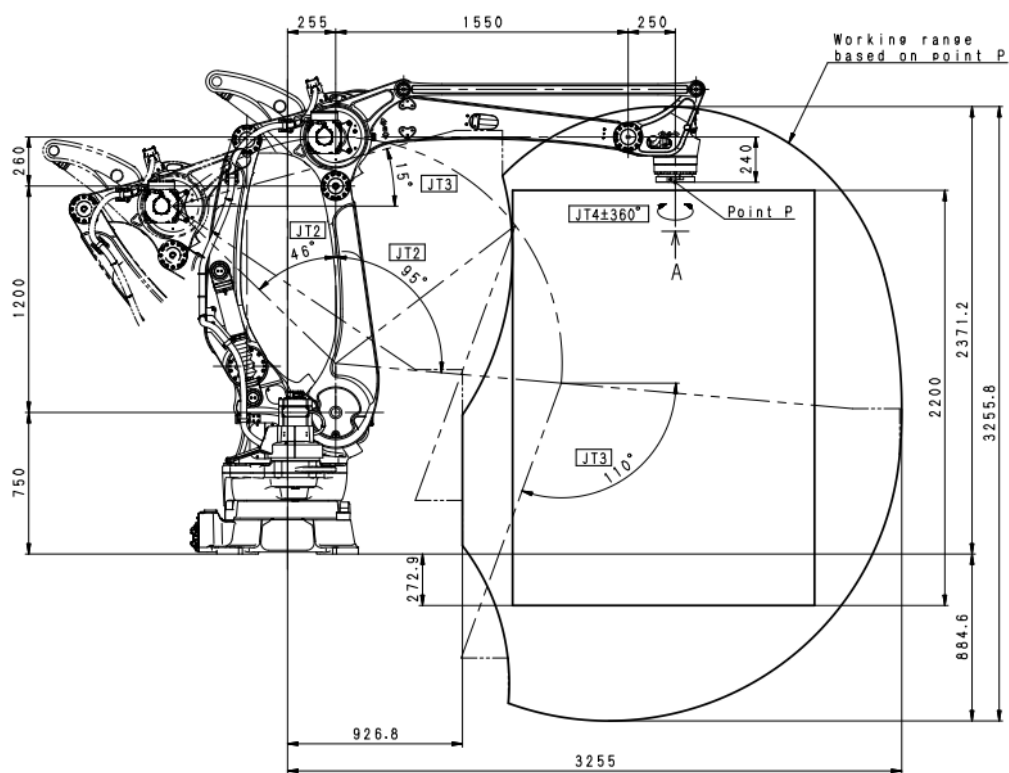
Маніпулятор CP700L-AC03 (Рис. 10)[19], виготовлений фірмою Kawasaki, США та використовуваний для пакетування, нанесення фарби, переміщення деталі між технологічними операціями. Маніпулятор CP700L-AC03 має наступні переваги:

Система двигунів є розподіленою, що позитивно впливає на точність виходу в позицію;

Додає точності маніпулятору і прямий привід плеча (відсутність редукції між двигуном ланкою, якою він керує) (Рис. 10, а).



а)



б)

Рис 10 – маніпулятор CP700L-AC03: а) зовнішній вигляд; б) робоча зона.

Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата

МІ612.ДПБ009.00.000ПЗ

Лист

26

Розміри робочої зони (Рис. 10,б) та паспортні дані (Табл. 15, 16) дозволяють отримати кількісну оцінку маніпулятора.

Таблиця 15 – паспортні дані маніпулятора CP700L-AC03.

Максимальний радіус дії	3255 мм.
Номінальне загальне навантаження	700 кг.
Повторюваність позиції	+/-0.5 мм.
Кількість осей	4
Монтажне положення	Підлога
Вага (включаючи контролер), приблизно	1650 кг.
Температура навколишнього середовища	0°C до +45°C

Таблиця 16 – діапазони рухів маніпулятора CP700L-AC03.

	Діапазон рухів	Максимальна швидкість
Вісь 1 (JT1)	+160°/-160°	70°/с
Вісь 2 (JT2)	+95°/-46°	65°/с
Вісь 3 (JT3)	+15°/-110°	65°/с
Вісь 4 (JT4)	+360°/-360°	170°/с

Висновки.

1. Розвиток сучасної важкої промисловості потребує створення в Україні власних потужностей для виготовлення конкурентоспроможної керамічної продукції. Така продукція може бути створена за допомогою автоматизованої виробничої лінії спікання керамічних матеріалів.

2. Одним з основних елементів такої лінії є маніпулятор для переміщення попередньо сформованих керамічних заготовок в робочу зону печі для спікання.

3. Методом парних порівнянь встановлено, що оптимальним рішенням щодо конструкції такого маніпулятора може бути чотириланковий маніпулятор з ангулярною системою координат, основними перевагами якого

є відносна простота конструкції, достатня робоча зона, універсальність можливих рухів та можливість налаштування на складну траєкторію.

4. Створення маніпулятора вказаного конструктивного типу для роботи в умовах підвищених температур та конкретного робочого простору є необхідним етапом для подальшого проектування автоматизованої лінії для спікання.

					МІ612.ДПБ009.00.000ПЗ	Лист
						28
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		

2.Розділ 2.

5.4 Опис конструкції маніпулятора

Чотириланковий маніпулятор з ангулярною системою координат складається з наступних основних частин (Рис 11):

Опорно-поворотна основа 1, на якій стоїть і повертається увесь маніпулятор завдяки приводу 7. «Плече» 2, яким керує потужний привід 5. «Передпліччя» 3, яким керує винесений на основу привід 6 через допоміжний ланковий механізм.



Рис. 11 – будова маніпулятора з ангулярною системою координат;

Паралельний механізм (Рис. 11, 4) забезпечує постійне положення захвату, відносно площини кріплення маніпулятора не залежно від положення інших ланок (Рис. 12) [20]. Враховуючи таку особливість поставленої перед маніпулятором задачі, як можливість періодичної роботи захвату в зоні високих температур – паралельний механізм є необхідним у

					МІ612.ДПБ009.00.000ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		29

конструкції, оскільки він дозволяє прибрати привід повороту кисті з зони впливу високих температур, та взагалі його не використовувати. Тож уся електроніка, завдяки паралельному механізму та допоміжному ланковому механізму повороту передпліччя, може бути розміщена на основі маніпулятора, де її можна ефективно захистити екраном, за необхідності.

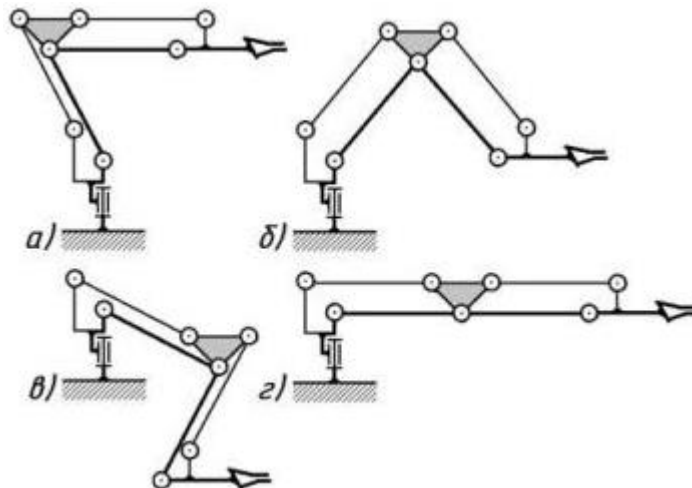


Рис. 12 – принцип роботи паралельного механізму;

5.5 Різновиди приводів

Привід ПР – сукупність технічних засобів (двигун, передатні механізми, гальма, апаратура керування), призначених для приведення в рух усіх ланок системи у відповідності з вимогами виробничого процесу [21, 22].

Типи конструктивного виконання приводів ПР:

стаціонарний – двигун встановлюється на основу робота (маніпулятора), рух виконавчим органам робота (маніпулятора) передається через систему передач;

багатодвигунний – кожна ланка маніпулятора приводиться в рух індивідуальним двигуном через свою систему передач;

комбінований – поєднання основного привода з приводами, що приводять в дію окремі ланки маніпулятора та його робочий орган;

По розміщенню система двигунів може бути:

винесеною – двигуни винесені на основу маніпулятора;

розподіленою – двигуни розміщені на попередній ланці або безпосередньо на тій, що приводиться в дію;

5.6 Вибір типу приводу

5.6.1. Безщітковий двигун постійного струму

Безщітковий або безколекторний – це один з типів приводів, що набирають популярність в робототехніці (Рис. 13). Як зрозуміло з назви, такий двигун не використовує щітки для комутації, а замість цього він комутується за рахунок електроніки. Принцип роботи даного приводу заснований на взаємодії магнітних полів між електромагнітом і постійним магнітом. Коли котушка знаходиться під напругою, протилежні полюси ротора і статора притягуються один до одного.



Рис. 13 – без щітковий двигун постійного струму.

Переваги:	Недоліки:
швидкодія відносно характеристик обертального моменту; більш висока частота обертання; високі динамічні характеристики; тривалий термін служби; безшумна робота;	складний і дорогий регулятор швидкості; не працює без електроніки;

5.6.2. Синхронний привід

Двигун даного приводу містить ротор, який синхронно обертається з коливаючимся полем або струмом. Синхронні приводи (Рис. 14) мають безліч переваг перед іншими двигунами. В першу чергу це відноситься до енергетичними показниками. Дані приводи використовуються промислових роботах з середньою вантажопідйомністю і числом ступенів руху від 3 до 6. Точність позиціонування електричного приводу досягає значень до $\pm 0,05$ мм. Їх застосовують як в позиційному, так і в контурному режимах роботи.



Рис. 14 – синхронний привід.

Переваги:	Недоліки:
висока економічність; зручність збірки та хороші регульовальні властивості; очевидна доцільність застосування синхронного приводу для механізмів, що не вимагають	застосування синхронного двигуна ускладнено, якщо механізми мають великі махові маси, де необхідно мати регульований або подвійний привід; не має початкового пускового

регулювання швидкості;	моменту, отже для його пуску необхідно розігнати ротор за допомогою зовнішнього моменту до частоти обертання, близької до синхронної;
------------------------	---

5.6.3. Асинхронний двигун

Цей електропривід (Рис. 15) для перетворення електричної енергії змінного струму в механічну також вигідний по ряду причин. Сам термін «асинхронний» означає не одночасний. При цьому мається на увазі, що у цих двигунів частота обертання магнітного поля статора завжди більше частоти обертання ротора. Працюють асинхронні двигуни від мережі змінного струму.



Рис. 15 - асинхронний двигун.

Переваги:	Недоліки:
простота і надійність через відсутність колектора; низька вартість; значно низька маса; менші габарити;	можуть перегріватися, особливо під навантаженням; неможливість стабільно тримати частоту обертання; відносно невеликий пусковий момент;

5.6.4. Кроковий двигун

Використання крокових двигунів (Рис. 16) є одним з найпростіших, дешевих і легких рішень для роботи систем точного позиціонування. Тому ці двигуни дуже часто використовуються в верстатах з ЧПУ і роботах.

					МІ612.ДПБ009.00.000ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		33



Рис. 16 - кроковий двигун.

Переваги:	Недоліки:
головна перевага - точність роботи. При подачі потенціалів на обмотки двигун повернеться строго на певний кут; низька вартість; підходить для автоматизації окремих механізмів і систем, де немає необхідності у високій динаміці;	присутня проблема «прослизання» ротора при підвищеному навантаженні на вал; Обмеження кроків (максимум 1000 об / хв);

5.6.5.Сервопривід

Це тип електромеханічних двигунів (Рис 17), що не обертаються постійно, як крокові, а переміщаються по сигналу в певне положення і зберігають його до наступного сигналу. Знаходять широке застосування в різних секторах робототехніки (Рис. 17, а, б) – від саморобних механізмів до складних андроїдів.

У сервоприводах використовується механізм зворотного зв'язку, що дозволяє обробляти помилки і виправляти їх в позиціонуванні (Рис. 17, б). Така система називається слідкуючою. Якщо якась сила тисне на привід, змінюючи його положення, двигун буде застосовувати силу в протилежному напрямку, щоб виправити помилку що виникає. Таким чином, досягається висока точність позиціонування.

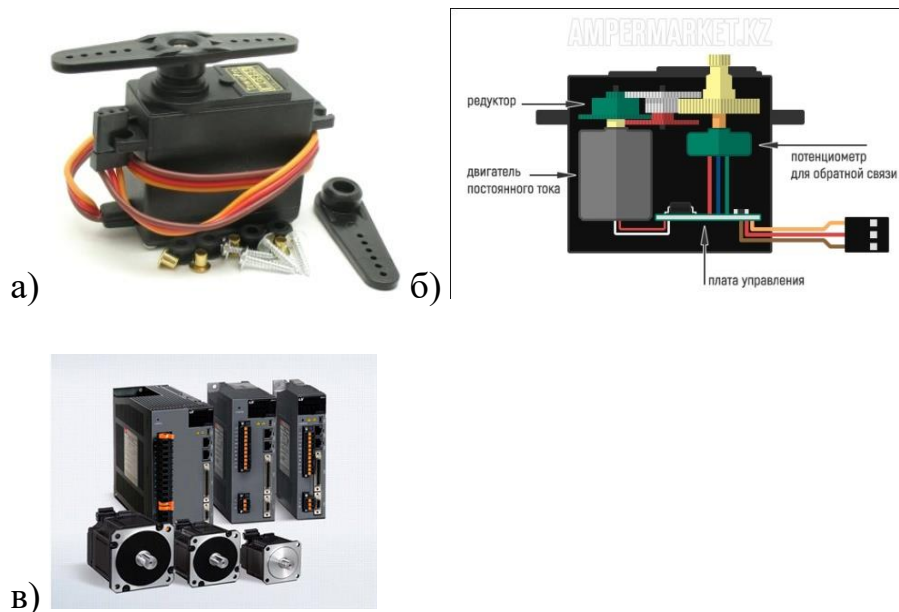


Рис. 17[23] – сервопривід: а) сервопривід, що використовується в легкій робототехніці та моделях; б) будова сервоприводу для моделей; в) промислові сервоприводи з блоком керування.

Більш потужні сервоприводи , що використовуються для промисловості (Рис. 17, в), мають більш доскональну та складну будову (наприклад, замість потенціометра для зворотного зв'язку в промислових сервоприводах використовується енкодер, що значно підвищує роздільну здатність слідкуючої системи).

Переваги:	Недоліки:
більш висока швидкість обертання; висока потужність; позиція механізму завжди на виду і доступна для коригування;	складна система підключення та управління; вимагає кваліфікованого обслуговування; висока вартість;

5.6.6.Пневматичний привід

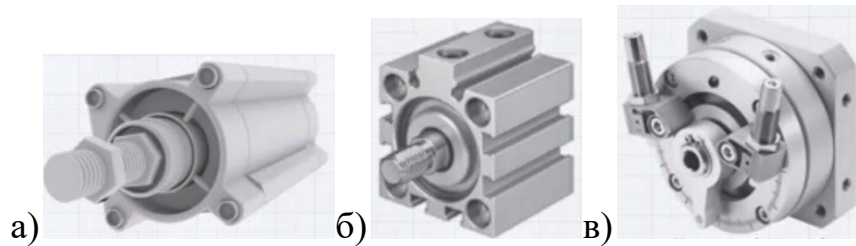


Рис. 18 - пневматичні приводи: а) лінійний пневмопривід; б) лінійний пневмопривід з коротким ходом; в) неповно поворотний пневмоциліндр;

Двигун, що приводить в рух механізми через енергію стисненого повітря. Основний компонент тут - компресор. Стиснуте компресором повітря надходить в пневмолінії, і далі до пневмодвигуна(Рис.18). Завдяки відсутності в'язкого середовища, такі двигуни можуть працювати на більшій частоті - швидкість обертання пневмомотору може досягати десятків тисяч обертів на хвилину.

Цей тип приводу все частіше використовується в робототехніці, так як має низьку плавність ходу і точність спрацьовування. Найбільш раціонально використовувати його для механізмів з двома станами - втягування і виштовхування або закривання і відкривання.

Переваги:	Недоліки:
швидкість руху вихідної ланки пневмодвигуна може регулюватися шляхом зміни витрати повітря; пневмодвигун дає велику швидкість руху вихідній ланці маніпулятора; простота і економічність; робоче тіло не обмежене заданим об'ємом і може поповнюватися в разі витіку; замість компресора можна використовувати балон зі стисненим газом, що спрощує побудову пневматичної системи; менш чутливий до змін	більш низький ККД; висока вартість пневматичної енергії в порівнянні з електричною; нагрівання і охолодження робочого газу в компресорах, що може привести до можливості обмерзання систем або навпаки конденсації водяної пари з робочого газу; кількість точок позиціонування обмежено (точність і жорсткість в проміжних точках без змінних упорів недостатня); для виключення різкого удару в кінці ходу мають бути

температури
середовища;

навколишнього

передбачені засоби гальмування
(демпферні пристрої);
висока шумність роботи;

5.6.7. Гідравлічний привід

Цей тип двигуна для приведення в рух виконавчого органу використовує рідину. Принцип роботи гідроприводу полягає в насосі, який створює тиск робочої рідини в напірній магістралі, з'єднаній з гідро двигуном (Рис. 19). Двигун перетворює тиск рідини в механічний. При цьому, регулятори керують швидкістю і напрямком руху гідродвигуна.



Рис. 19 –гідравлічний двигун.

Класи гідравлічних приводів роботів:

- з дросельним керуванням (зміна прохідного перерізу):
- керування з гідронасосом постійної подачі;
- керування з гідронасосом змінної подачі;
- з об'ємним керуванням;

Переваги:	Недоліки:
невеликі розміри і маса; висока продуктивність - розвиває силу в 25 разів вище, ніж пневмопривід аналогічного розміру; плавне регулювання сили; робоча температура - від -50 до + 100С;	при високому тиску можливі витоки рідини; висока вартість обладнання та обслуговування; безперервне споживання енергії; складно відстежувати точність роботи;

Також, існують деякі нові типи приводів:

високочастотні вібродвигуни (зазвичай використовуються для маніпулювання мініатюрними виробами);

штучні м'язи – електроактивні полімери що здатні скорочуватися та розслаблятися під дією електричних імпульсів, розвиваючи при цьому значні зусилля, матеріали з термічним ефектом пам'яті форми;

Однак, використання даних типів приводів може бути виправдано лише особливими задачами, тож в даній роботі вони використовуватися не будуть, через високу вартість і невеликий досвід роботи з ними.

Аналіз використання різних типів приводів показує що пневмоприводи в роботах використовуються в останній час рідко через низькі характеристики жорсткості та обмеженої гнучкості програмування. Проте, в елементах автоматики в допоміжних, таких як подавальні і сортувальні та інші типи пристроїв на технологічних лініях, вони використовуються дуже широко. Гідроприводи, в порівнянні з електроприводами, забезпечують вищі параметри роботів, проте їх експлуатаційні витрати більші, через необхідність забезпечення високої чистоти масла та відсутності витоків. Цим і пояснюється тенденція на розширення використання електроприводів. Електричні приводи найбільш зручні в експлуатації, регулюються в широких межах.

Оскільки необхідно буде передбачити в конструкції зворотній зв'язок для контролю кутів повороту ланок маніпулятора – доцільно обрати сервопривід (двигун та інтегрований в конструкцію енкодер для зворотнього зв'язку) з кроковим двигуном.

Для подальшого вибору двигуна необхідно розрахувати його параметри, такі як: момент втримання, потужність, частота обертання (який редуктор потрібен).

					МІ612.ДПБ009.00.000ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		38

5.7 Розрахунок основних параметрів маніпулятора

5.7.1.Вибір основних розмірів маніпулятора

У вихідному завданні для маніпулятора вказані розміри об'єкта маніпулювання (Рис. 20, а) – тож розміри печі фіксовані. Варто обрати розміри маніпулятора щонайменшими, заради зниження навантаження на приводи і, відповідно, зменшення витрат. Але в робочу зону має вміщуватись задана траєкторія маніпулювання. В системі автоматизованого проектування Inventor були побудовані модель печі (Рис. 20, б) та маніпулятора (Рис. 20, в) у спрощеному вигляді.

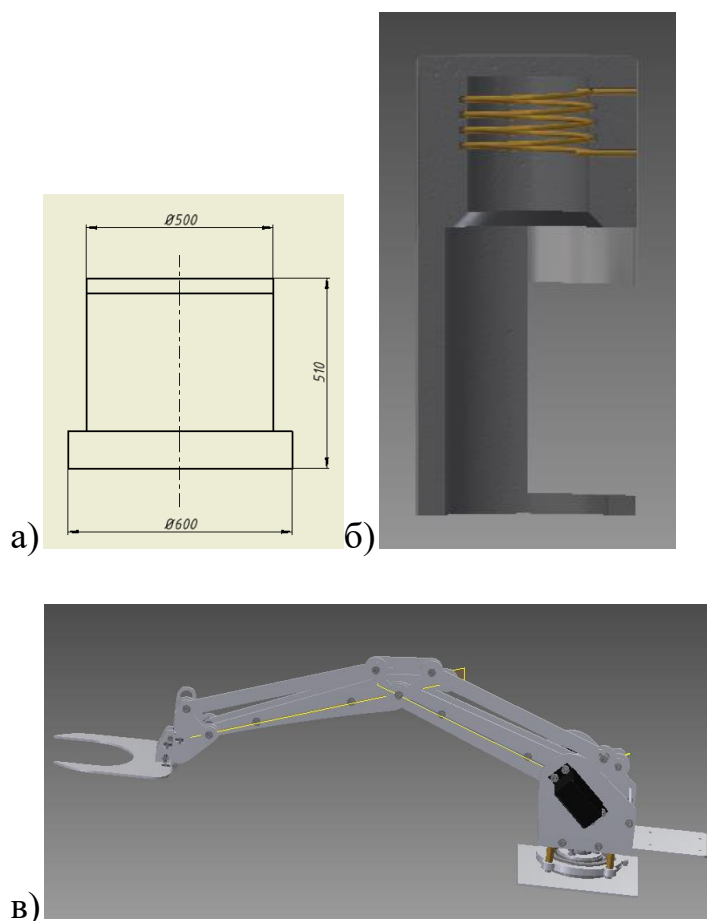


Рис. 20 – моделі для вибору основних розмірів маніпулятора: а) креслення моделі контейнера, який має переміщувати маніпулятор; б) спрощена модель печі; в) модель маніпулятора.

В розміри моделі печі був введений масштабний коефіцієнт, при зміні якого, відповідно, буде змінюватися розмір усієї печі. Цей коефіцієнт (Рис. 21, а) був введений шляхом зв'язку (Рис. 21, б) параметрів в Excel та функцій САПР Inventor. Тепер при зміні масштабного коефіцієнта в Excel – змінюється розмір печі в Inventor.

а)

=1/8			
	A	B	C
1	d_масштаб	0.125	бр
2	d_мас_ма	1	бр

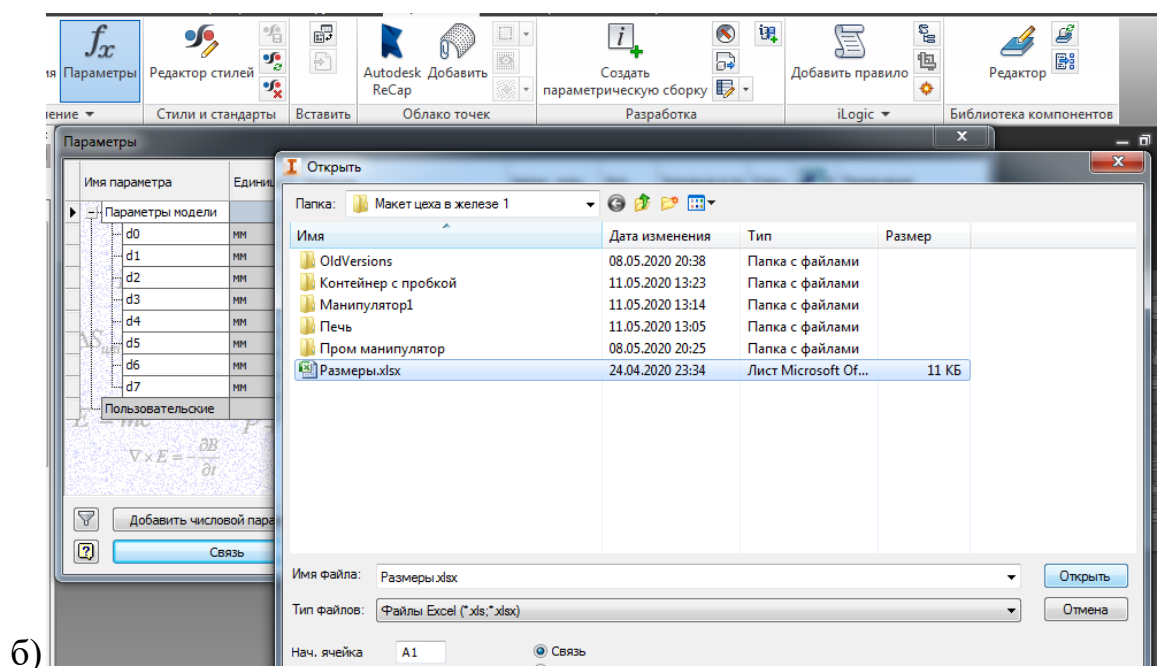


Рис. 21 – ілюстрації налаштування співпраці Inventor та Excel: а) таблиця масштабних коефіцієнтів в Excel; б) введення цих коефіцієнтів в Inventor.

Робоча зона маніпулятора була побудована як геометричне місце точок перетину осі об'єкту маніпулювання та площини захвату, на яку спирається цей об'єкт (зелена точка на Рис. 22).

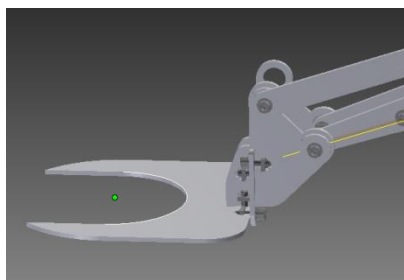
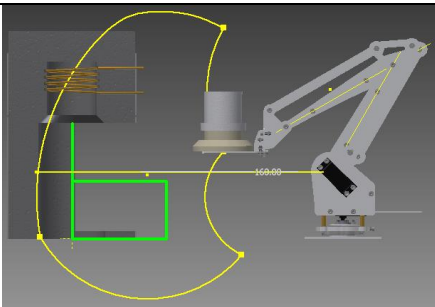
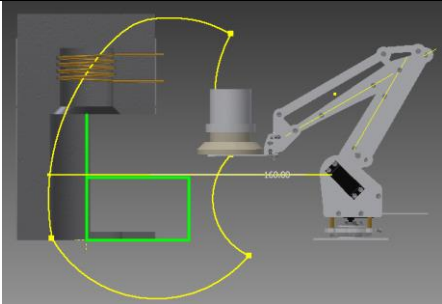
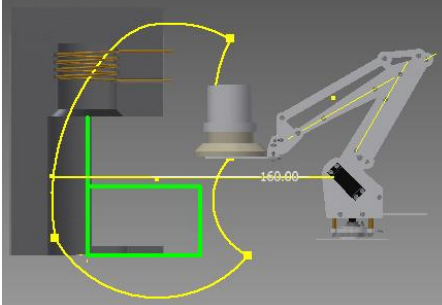
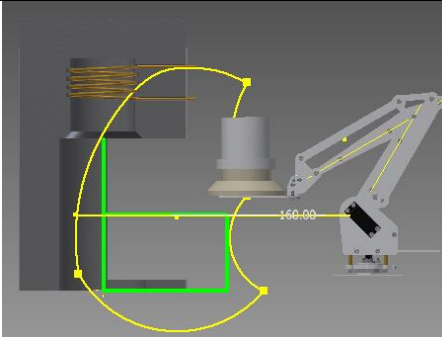


Рис. 22 – точка, усі можливі положення якої утворюють робочу зону маніпулятора.

Зібравши в одну збірку маніпулятор з зонами роботи, траєкторію руху технологічної операції та піч, залишилось, змінюючи масштаб печі, підібрати з яким масштабом була створена твердотільна модель макета маніпулятора. Коли розмір моделі печі буде відповідати розміру моделі маніпулятора – ми отримаємо масштаб маніпулятора (Табл. 17: жовта лінія – робоча зона маніпулятора; зелена лінія – траєкторія, яка має охоплюватись робочою зоною). Дану процедуру довелось виконати через те, що модель маніпулятора була виконана без чіткої прив'язки до реальних розмірів майбутнього цеху:

Таблиця 17 – підбір масштабу маніпулятора.

Масштабний коефіцієнт печі	Зміна відношення розмірів		Описання
1/10			Завелика робоча зона маніпулятора

1/9			Трохи завелика робоча зона маніпулятора
1/8			Розміри робочої зони прийнятні, виходячи з умов задачі
1/7			Робоча зона має замалий запас

Висновки: масштаб 1/8 є найбільш раціональним. Це означає що якщо довжини плеча та передпліччя (важливі розміри для подальших розрахунків) моделі дорівнюють 160 мм., то реальні розміри, відповідно, дорівнюють $160 * 8 = 1280$ (мм.).

5.7.2.Кінематика: пряма і зворотна задачі

В робототехніці, є дві основні задачі кінематики:пряма і зворотна[24].

Пряма задача – це обчислення координат (X, Y, Z) робочого органу маніпулятора по його кінематичній схемі і заданій орієнтації (A1, A2 ... An) його ланок (n – число ступенів свободи маніпулятора, A – кути повороту).

Зворотна задача – це обчислення кутів (A1, A2 ... An) по заданому положенню (X, Y, Z) робочого органу і знову ж відомою схемою його кінематики.

Для управління маніпулятором нам потрібно вирішити зворотну задачу кінематики. Виділимо прості геометричні фігури (Рис. 23):

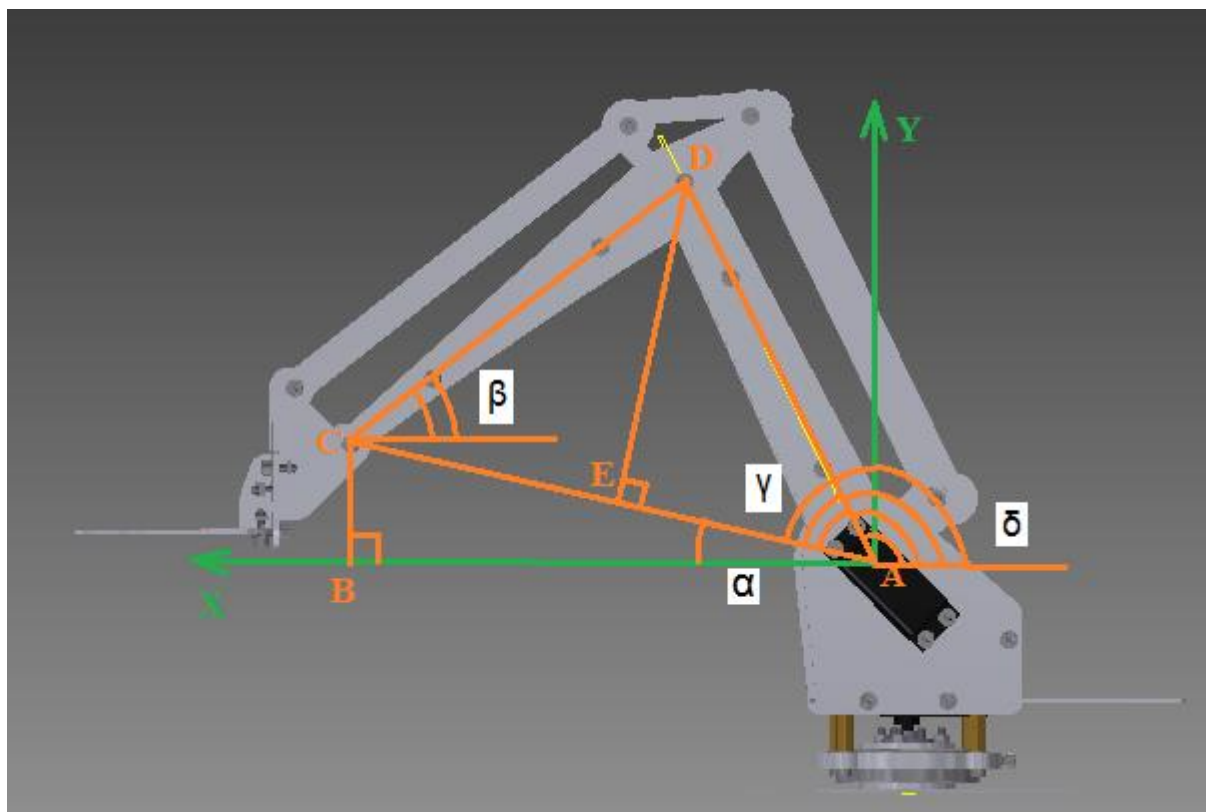


Рис. 23 – геометричні побудови для розв’язання зворотної задачі кінематики;

Потрібно знайти кути повороту двигунів передпліччя та плеча: β та δ в залежності від положення точки $C(x,y)$. Кінцевою точкою в розрахунках прийнято точку C , а не точку на захваті, оскільки паралельний механізм забезпечує постійне положення захвата паралельно площині кріплення (Рис 12)[20]. Вихідні дані:

$$x = AB; y = BC; CD = DA = 1280(\text{мм.})$$

Розглянемо трикутник ABC та знайдемо кут α (1) та гіпотенузу (2):

$$\alpha = \arctg\left(\frac{BC}{AB}\right), \quad (1)$$

$$AC = \sqrt{AB^2 + BC^2}. \quad (2)$$

Розглянемо трикутник AED та знайдемо кут γ (3):

$$\gamma = \arccos\left(\frac{EA}{DA}\right) = \arccos\left(\frac{AC}{2*DA}\right) = \arccos\left(\frac{\sqrt{AB^2+BC^2}}{2*DA}\right) \quad (3)$$

Звідси, кут повороту двигуна плеча δ (4):

$$\delta = \pi - \alpha - \gamma = \pi - \arctg\left(\frac{BC}{AB}\right) - \arccos\left(\frac{\sqrt{AB^2+BC^2}}{2*DA}\right) \quad (4)$$

Кут повороту двигуна передпліччя β (5):

$$\beta = \gamma - \alpha = \arccos\left(\frac{\sqrt{AB^2+BC^2}}{2*DA}\right) - \arctg\left(\frac{BC}{AB}\right) \quad (5)$$

А оскільки $x = AB$; $y = BC$; $CD = DA = 1280$ (см.), отримаємо остаточні формули кута повороту двигуна плеча (6) та кута повороту двигуна передпліччя (7).

$$\delta = \pi - \arctg\left(\frac{y}{x}\right) - \arccos\left(\frac{\sqrt{x^2+y^2}}{2560}\right) \quad (6)$$

$$\beta = \gamma - \alpha = \arccos\left(\frac{\sqrt{x^2+y^2}}{2560}\right) - \arctg\left(\frac{y}{x}\right) \quad (7)$$

5.7.3.Розрахунок потрібних потужностей приводів плеча та передпліччя

Таблиця 18. Вихідні дані для розрахунку потужностей приводів плеча та передпліччя:

Вага вантажу	800 кг
Максимальна лінійна швидкість переміщення вантажу	10 см/с
Час розгону	1с
Час гальмування	1с

Враховуючи наявні вихідні дані, вказані в Табл. 18, виконаємо поступовий розрахунок потужностей приводів. Потрібна потужність привода більше за потужність руху, оскільки від привода до об'єкта маніпулювання частина потужності втрачається на нагрів через дисипативні сили, та визначається [25] за формулою (8).

$$P_{\text{пр. потр.}} = P_{\text{в}} / \eta_{\text{заг}}, \quad (8)$$

де $P_{\text{пр. потр.}}$ – потрібна потужність привода, Вт;

$P_{\text{в}}$ – потужність, яку споживає робоча машина, Вт;

$\eta_{\text{заг}}$ – загальний коефіцієнт корисної дії визначається за формулою (9).

$$\eta_{\text{заг}} = \eta_{\text{підш}}^{n_{\text{підш}}} * \eta_{\text{ред}} * \eta_{\text{м}}, \quad (9)$$

$\eta_{\text{підш}} = 0,995$ - ККД підшипників кочення;

$n_{\text{підш}}$ – кількість пар підшипників кочення;

$\eta_{\text{ред}}$ – ККД редуктора (якщо він є в приводі);

$\eta_{\text{м}}$ - ККД муфти;

Потужність, яку споживає робоча машина (10) складається з статичної потужності та динамічної. Оскільки вантаж має рухатися з малою швидкістю, то доцільність розрахунків динамічної складової буде перевірена.

$$P_{\text{в}} = P_{\text{ст}} + P_{\text{дин}}, \quad (10)$$

де $P_{\text{ст}}$ – статична потужність;

$P_{\text{дин}}$ – динамічна потужність.

Статична потужність (11) розраховується як добуток утримуючого моменту та кутової швидкості.

$$P_{\text{ст}} = M_{\text{у}} * \omega_{\text{пр}}, \quad (11)$$

де $M_{\text{у}}$ – утримуючий момент що зводиться на привід;

					МІ612.ДПБ009.00.000ПЗ	Лист
						45
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		

$\omega_{\text{пр}}$ - кутова швидкість приводу, яка рахується за формулою (12);

$$\omega_{\text{пл}} = V_{\text{в}}/R_{\text{пр}}, \quad (12)$$

де $R_{\text{пр}}$ – найкоротша відстань від осі повороту приводу до лінії руху центра мас вантажу;

$V_{\text{в}}$ – швидкість вантажу;

Для подальшого розрахунку необхідно знайти утримуючі моменти на приводах плеча та передпліччя.

5.7.3.1. Утримуючі моменти на приводах плеча та передпліччя

Максимальний утримуючий момент приводів досягається у крайньому положенні кисті (при витягнутій руці маніпулятора). На рисунку зображено крайнє положення кисті маніпулятора та вказані розміри, які використовуються в розрахунку (Рис. 24).

Оскільки реальних мас та перерізів ми не маємо, але вага ланок маніпулятора буде суттєво збільшувати навантаження на привід, то для спрощення ланки будуть замінені стандартними профільними трубами з прямокутними перерізами, в яких відома міцність та маса. Але для цього треба спочатку розрахувати, яке саме навантаження сприймає кожна ланка механізму.

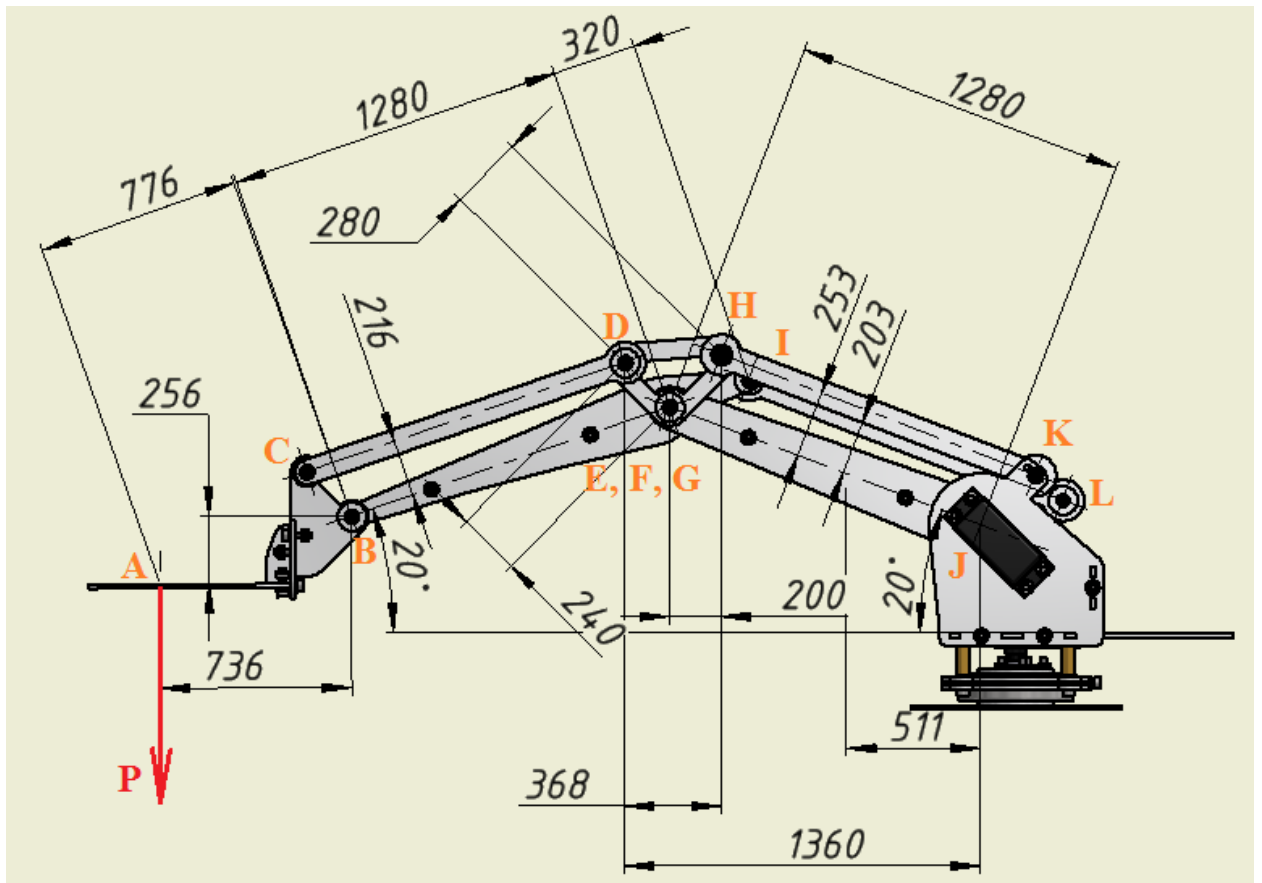


Рис. 24 – крайнє положення маніпулятора і нанесенні реальні розміри.

$P = 800 * g = 800 * 10 = 8000 \text{ (Н)}$ – корисне навантаження;

$\sigma_t = 300 * 10^6 \text{ (Па)}$ – границя міцності сталі Ст1..Ст6;

$n_t = 1.5$ – коефіцієнт запасу;

$\sigma_d = \frac{\sigma_t * 10^{-4}}{n_t} = 2 * 10^4 \text{ (Н/см}^2\text{)}$ – допустима напруга;

Крутний момент в точці В від корисного навантаження Р:

$$MBP = 73.6 * P = 73.6 * 8000 = 5.888 * 10^5 \text{ (Н*см)}$$

Поки ми не знаємо вагу захвату, будемо в попередніх розрахунках вважати що в точці В діє момент лише від корисного навантаження:

$$MB = MBP = 5.888 * 10^5 \text{ (Н*см)}$$

Максимальний момент опору перерізу АВ:

$$Wr = \frac{MB}{\sigma d} = \frac{5.88 \cdot 10^5}{300 \cdot 10^6} = 29.44 \text{ (см}^3\text{)}$$

З каталогу[26] обираємо профільну прямокутну трубу з більшим опором перерізу, що перевищує розрахований. Отримаємо такі данні перерізу (Табл. 19):

Таблиця 19 – характеристики ланки АВ.

Профільна труба АВ:	90x60x5
Момент опору перерізу (по осі у):	$W_{ry} = 31.75 \text{ (см}^3\text{)}$
Момент інерції (по осі у):	$I_y = 142.8 \text{ (см}^4\text{)}$
Маса одного метра:	$m_{AB} = 10.65 \text{ (кг/м)}$

Момент в точці В від ваги (прийнято за три ваги труби АВ) захвату:

$$M_{BAB} = (m_{AB} * 0.776 * g * 3) * \frac{73.6}{2} = (10.65 * 0.776 * 10 * 3) * \frac{73.6}{2} = 9.124 * 10^3 \text{ (Н*см)}$$

Загальний момент в точці В (Н*см), від корисного навантаження та ваги захвату, розраховується як сума моментів за формулою (13).

$$MB = MBP + M_{BAB} = 5.888 * 10^5 + 9.124 * 10^3 = 5.979 * 10^5 \text{ (13)}$$

Максимальний момент опору перерізу АВ:

$$Wr = \frac{MB}{\sigma d} = \frac{5.979 \cdot 10^5}{300 \cdot 10^6} = 29.896 \text{ (см}^3\text{)}$$

В даному випадку момент опору обраної труби все одно більший за розрахований, навіть після корегування моменту MB. Тож обраний профіль задовольняє умови. Якби отриманий опір перевищував опір обраної труби – довелось би обирати нову, перераховувати вплив моменту її ваги на момент в точці В та знову перевіряти умову.

Подальші розрахунки були аналогічні та наведені в Додатку 1. Результати розрахунків наведені в Табл. 20 та Табл. 21.

Таблиця 20 – результати розрахунків спрощених ланок маніпулятора.

Відрізок	Обраний профіль (мм)	Момент опору перерізу по осі у (см ³)	Момент інерції по осі у (см ⁴)	Вага одного метра труби (кг/м)
AB	90x60x5	31.75	142.8	10.65
BG	120x80x8	85.67	514.5	22.25
JF	150x100x8	142.5	1069	28.53

Таблиця 21 – результати розрахунків спрощених ланок маніпулятора, на яких діє лише розтягуюча сила.

Відрізок	Обраний профіль (мм)	Площа поперечного перерізу (см ²)	Момент інерції по осі у (см ⁴)	Вага одного метра труби (кг/м)
CD	30x15x2	1.57	1.62	1.23
HK	30x10x2	1.37	1.22	1.08
IL	80x60x5	12.57	106.55	9.87

Враховуючи дані, наведені в Табл. 20 та Табл. 21 за формулою 13, тобто просумувавши усі моменти що діють на ланку: момент від корисного навантаження та моменти від ваги кожної ланки, були розраховані утримуючі моменти (Табл. 22) для приводів плеча та передпліччя.

Таблиця 22 – утримуючі моменти приводів.

Утримуючий момент на приводі передпліччя	1.624*10 ⁶ (Н/см)
Утримуючий момент на приводі плеча	2.628*10 ⁶ (Н/см)

5.7.3.2. Оцінка динамічної складової

Враховуючи графік залежності швидкості руху контейнера від часу (Рис. 25), час розгону $t_p = 1$ с., робочу швидкість переміщення вантажу

$V_B = 10$ см/с, тобто $V_B = 0.1$ м/с проводимо подальші розрахунки.

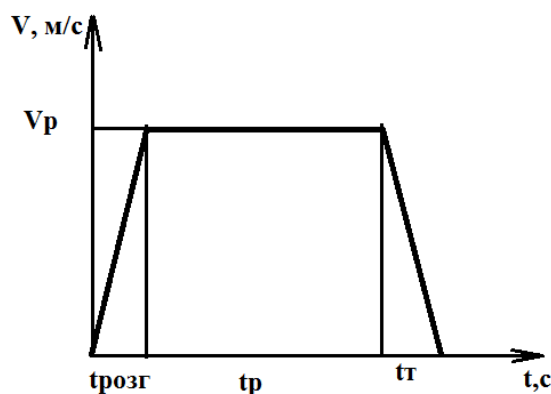


Рис. 25 Графік залежності швидкості руху контейнера від часу.

Прискорення вантажу (14):

$$a = \frac{V_B}{t_p} = \frac{0.1}{1} = 0.1 \text{ (м/с}^2\text{)} \quad (14)$$

Сила інерції вантажу (15):

$$F_{iH} = m_{\text{ван}} * a = 800 * 0.1 = 80 \text{ (Н)}, \quad (15)$$

де $m_{\text{ван}}$ – маса вантажу;

Вплив інерційної складової ілюструється розрахунком того, який процентний вміст (16) сили інерції вантажу, відносно сумарної сили дії вантажу (сили інерції та ваги вантажу):

$$\left(\frac{F_{iH}}{P + F_{iH}} \right) * 100 = \left(\frac{80}{800 * 10 + 80} \right) * 100 = 0.99 \%, \quad (16)$$

де p – вага вантажу.

Оскільки сила інерції вантажу складає близько одного проценту від усього корисного навантаження – на даному етапі немає сенсу розраховувати інерційні складові усіх ланок.

5.7.4.Розрахунок потужностей приводів ізврахуванням отриманих розмірів ланок

Відстань від осі повороту приводу плеча до точки прикладання сили $P[25]$:

$$R_{пл} = 2 * 1.28 * \cos(20^\circ) + 0.736 = 3.142 \text{ (м)}$$

Кутова швидкість приводу, за формулою (12), складає:

$$\omega_{пл} = \frac{0.1}{3.142} = 0.032 \text{ (рад/с)}$$

Статична потужність приводу розраховується за формулою (11):

$$P_{ст. пл.} = M_{у. пл} * \omega_{пл} = 2.628 * 10^4 * 0.032 = 840.96 \text{ (Вт)}$$

ККД передачі, за формулою (9):

$$\eta_{заг. пл.} = 0.99^4 * 1 * 0.98 = 0.941$$

Потрібна потужність приводу плеча (динамічну складову не враховуємо) за формулою (8) складає:

$$P_{пр. пл. потр} = \frac{P_{ст. пл.}}{\eta_{заг. пл.}} = \frac{840.96}{0.941} = 893.68 \text{ (Вт)}$$

Аналогічно розраховується потужність приводу передпліччя (11).

$$P_{ст. пер} = M_{пер} * \omega_{пер} = 1.624 * 10^4 * 0.032 = 519.68 \text{ (Вт)}$$

ККД передачі руху передпліччя (9):

$$\eta_{заг. пер.} = 0.99^7 * 1 * 0.98 = 0.913$$

Потрібна потужність приводу передпліччя, за формулою (8):

					МІ612.ДПБ009.00.000ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		51

$$P_{\text{пр. пер. потр}} = \frac{P_{\text{ст. пер}}}{\eta_{\text{заг. пер}}} = \frac{519.68}{0.913} = 569.2 \text{ (Вт)}$$

Висновки.

1) В конструкцію маніпулятора має входити паралельний механізм кисті, для того щоб прибрати привід кисті з зони періодичного впливу гарячого повітря.

2) Виходячи з розмірів печі, контейнера та поставлених задач побудовано робочу зону маніпулятора, згідно з якою довжини плеча та передпліччя маніпулятора мають становити 1280 мм.

3) В якості приводів плеча та передпліччя обрано сервоприводи з кроковими двигунами. Потужності обраних сервоприводів мають перевищувати 840.96 Вт та 569.2 Вт, відповідно.

4) Розв'язана зворотна задача кінематики, розв'язок якої в подальшому можна використовувати в системі керування.

					МІ612.ДПБ009.00.000ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		52

3.Розділ 3.Розробка, виготовлення та програмування макету маніпулятора

5.8 Виготовлення твердотільної моделі маніпулятора в САПР Inventor

Макет створювався з метою виявлення проблемних місць, які не були помічені чи виявлені при проектуванні твердотільної моделі в Inventor.

В якості основи конструкції макету було використано реверс-інженеринг відкритого проекту uArm від uFactory, представлений в [27], модифікований із урахуванням умов поставленої задачі.

Реверс-інженеринг; англ. Reverse engineering – дослідження деякого готового пристрою або програми, а також документації на нього з метою зрозуміти принцип його роботи; наприклад, щоб виявити незадокументовані можливості (в тому числі програмні закладки), зробити зміну або відтворити пристрій, програму або інший об'єкт з аналогічними функціями, але без прямого копіювання [28].

Метою проекту uArm було створення можливості використання роботизованих рук-маніпуляторів в домашніх умовах, щоб допомогти людям з обмеженими можливостями виконувати різні завдання в побуті. Єдиною перешкодою для широкого поширення цих пристроїв є їх висока ціна. Але компанія Ufactory має намір змінити це, представивши нові настільні роботи споживчого рівня uArm Swift і Swift Pro (Рис. 25), які будуть доступні звичайним людям.

					МІ612.ДПБ009.00.000ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		53

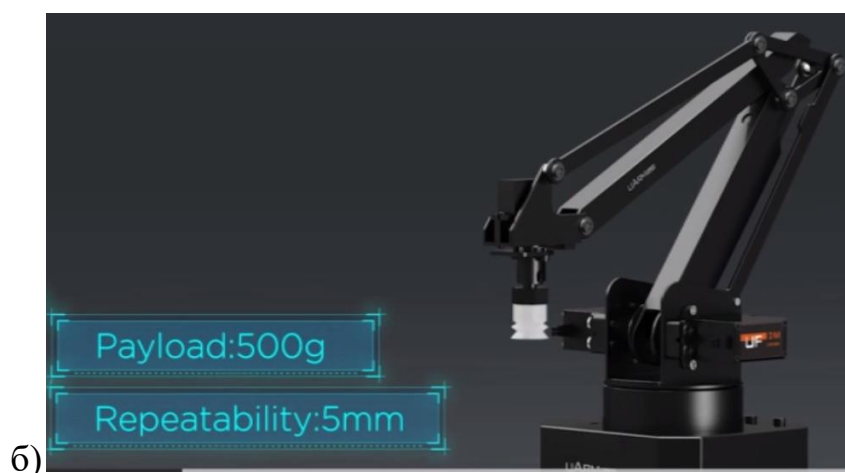
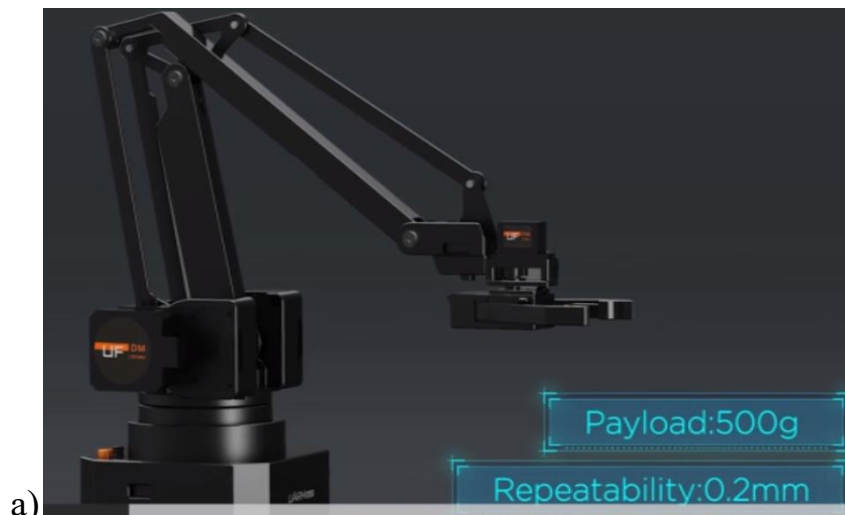


Рис. 25 – а) uArm Swift Pro[29]; б) uArm Swift;

Використовуючи доступні розміри моделі[27] (Рис. 26, а), була виконана твердотільна модель маніпулятора в Inventor (Рис. 26, б) з деякими змінами:

1) Захват має працювати в одному розмірі, схожий на ухват для глечика[30] (Рис. 26, в) або на штабелер [31] (Рис. 26, г), що спростило його конструкцію і дозволило прибрати два сервомотори з кисті (сервомотори повороту кисті та захвату);

2) Оскільки в майбутньому планується, що маніпулятор буде частиною макету з працюючою піччю, було прийнято рішення зробити його з алюмінію, а це означало що усі деталі можна виконувати однакової товщини

в 2 мм. (у маніпулятора з оргскла деталі основи по 5 мм), що внесло деякі поправки в місця кріплення;

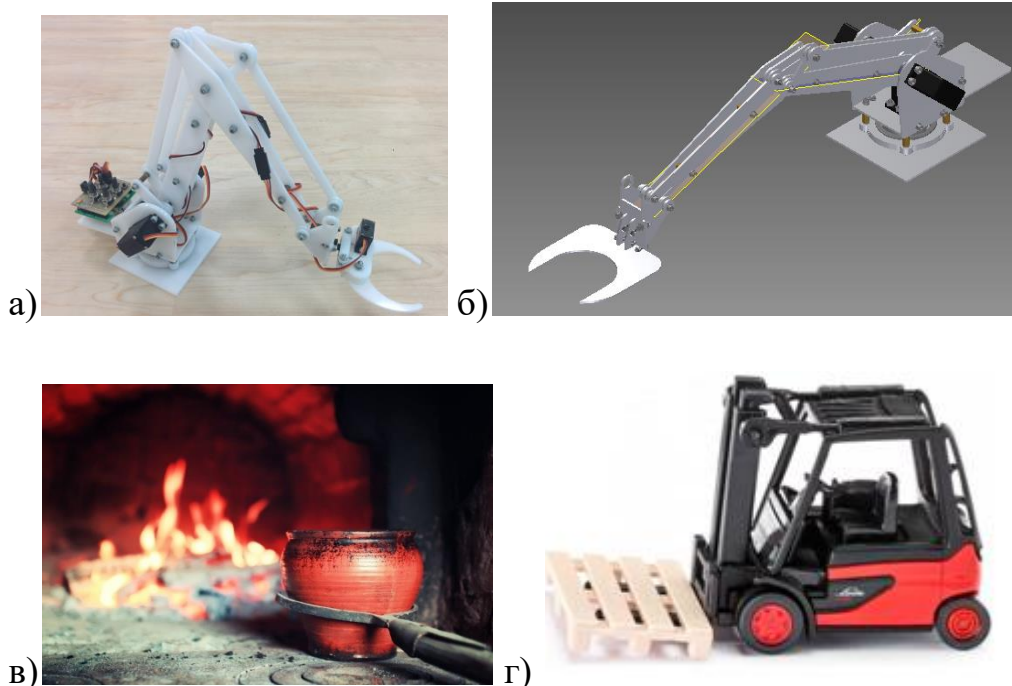


Рис. 26 – а) модель маніпулятора з оргскла, розроблена командою customelectronics.ru; б) твердотільна модель зі змінами в Inventor; в) ухват для глечика; г) штабелер;

Були створені креслення усіх деталей на одному листі у масштабі 1:1 без нанесення розмірів (якщо у конструкції використовується декілька однакових деталей – на кресленні їх теж відповідна кількість) для прикріплення до замовлення на лазерне різання листового алюмінію (Рис. 27).

Лазерне різання – технологія різання і розкрою матеріалів, що використовує лазер високої потужності і зазвичай застосовується на промислових виробничих лініях. Сфокусований лазерний промінь, зазвичай керований комп'ютером, забезпечує високу концентрацію енергії і дозволяє розрізати практично будь-які матеріали незалежно від їх теплофізичних властивостей. У процесі різання, під впливом лазерного променю матеріал

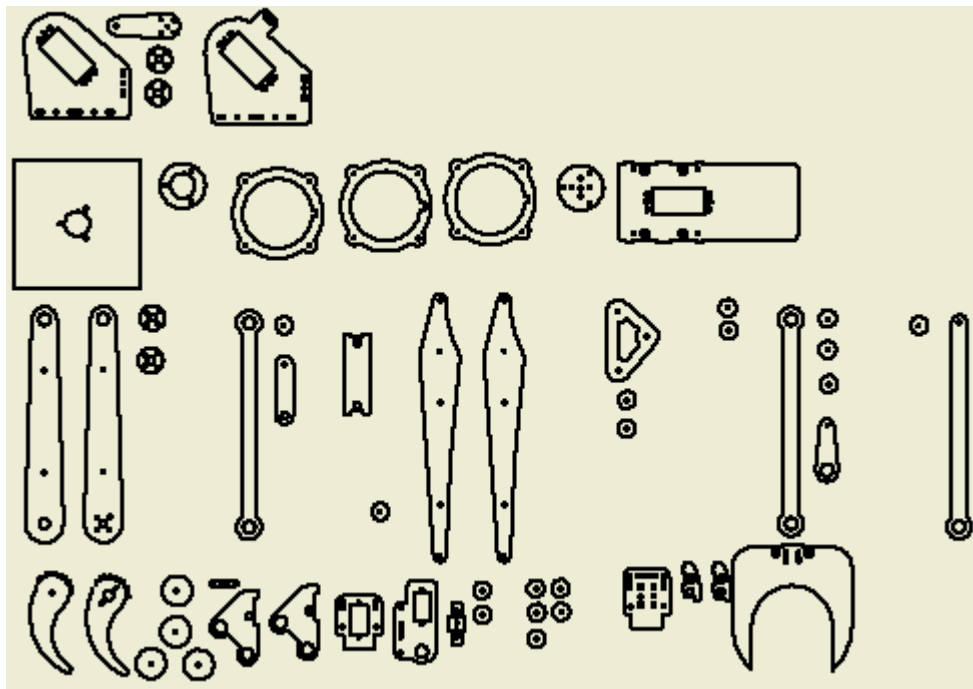


Рис. 27 – креслення усіх деталей на одному листі у масштабі 1:1 без нанесення розмірів;

розрізається, ділянки впливу променю плавляться, займаються, випаровуються або видуються струменем газу. При цьому можна отримати вузькі різи з мінімальною зоною термічного впливу. Лазерне різання відрізняється відсутністю механічного впливу на опрацьованого матеріалу, виникають мінімальні деформації, як тимчасові в процесі різання, так і залишкові після повного охолодження. Внаслідок цього лазерну різку, навіть легкодеформувемих і нежорстких заготовок і деталей, можна здійснювати з високим ступенем точності. Завдяки великій потужності лазерного випромінювання забезпечується висока продуктивність процесу в поєднанні з високою якістю поверхонь різку. Легке і порівняно просте управління лазерним випромінюванням дозволяє здійснювати лазерну різку по складному контуру плоских та об'ємних деталей і заготовок з високим ступенем автоматизації процесу. (Рис. 28)[32]

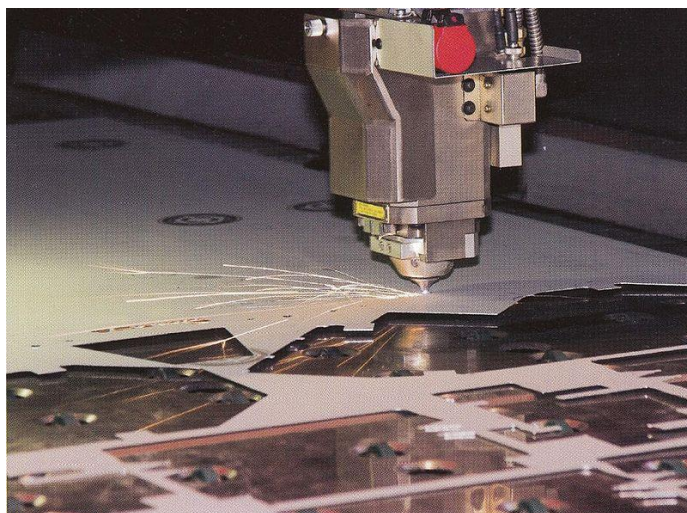


Рис. 28 – процес лазерного різання;

Паралельно з розробкою механічної частини, освоювалась система керування. Керування було вирішено розробити на основі мікроконтролерів Arduino.

5.9 Вивчення системи керування на базі мікроконтролерів Arduino

Arduino - це електронний конструктор, який дозволяє будь-якій людині створювати різноманітні електро-механічні пристрої. Ардуіно складається з програмної і апаратної частини. Програмна частина включає в себе середовище розробки (програма для написання і налагодження прошивок), безліч готових і зручних бібліотек, спрощений мова програмування. Апаратна частина включає в себе велику лінійку мікроконтролерів і готових модулів для них. Для написання, налагодження і завантаження прошивок необхідно завантажити та встановити Arduino IDE. Для програмування Arduino використовується спрощена версія мови C++ .

5.9.1.Різновиди плат Arduino

Плата Arduino Mega 2560[33, 34](Рис. 29, а) призначена для створення проектів, в яких не вистачає можливостей звичайних Arduino Uno. У цьому пристрої максимальне з усіх плат сімейства Arduino кількість пинов і

розширений набір інтерфейсів. Також у Arduino Mega більше вбудованої пам'яті

У моделі Arduino Leonardo (Рис. 29, б) збільшився обсяг оперативної пам'яті, стало більше входів ШІМ (порівняно з Arduino Uno) . Але головна зміна - можливість підключення пристрою через USB-роз'єм, що істотно підвищило зручність підключення і функціонал платформи.

Плата Arduino Uno (Рис. 29, в)- центр великої імперії Arduino, найпопулярніше і найдоступніший пристрій. В її основі лежить чіп ATmega - в останній ревізії Ардуіно Уно R3 - це ATmega328 (хоча на ринку можна ще зустріти варіанти плати UNO з ATmega168). Більшість ардуїнщиків починають саме з плати UNO.

Arduino Nano (Рис. 29, г) входить в трійку найпопулярніших плат Ардуіно. Вона дозволяє створювати компактні пристрої, що використовують той же контролер, що і в Arduino Uno. Назва плати нано говорить сама за себе - вона дійсно має невеликі розміри при тій же функціональності.

Основна характеристика, за якою Arduino Pro Mini (Рис. 29, д) відрізняється від інших плат - це розміри. Важлива відмінність Arduino Pro Mini від інших плат - відсутність прошивки по USB-UART. Решта мікроконтролери можна прошити таким способом.



а)



б)



в)



г)



д)

Рис. 29 – а) Arduino Mega 2560;б) Arduino Leonardo;в) Arduino Uno;г) Arduino Nano;д) Arduino Pro Mini;

Для наочності в порівнянні різних типорозмірів мікроконтролерів Arduino, деякі їх паспортні дані наведені в Табл. 23.

Таблиця 23 – паспортні дані мікроконтролерів Arduino.

Тип Arduino	Розмір	Кількість входів-виходів				Пам'ять	Частота
		Всього	ШІМ	Аналогових	Цифрових		
Mega	Збільшений 102x54 мм	70	15	16	54	256 КБ	16 МГц
Leonardo	Стандартний 69x53 мм	32	7	12	20	32 КБ	16 МГц
UNO	Стандартний 69x53 мм	20	6	6	14	32 КБ	16 МГц

Nano	Зменшений 19x 43 мм	22	6	8	14	16 Кб або 32 КБ	16 МГц
Pro Mini	Ще більше зменшений 18x33 мм	20	6	6	14	16 Кб	16 МГц

Маніпулятор планується як частина великого макету, тож було прийнято рішення встановити на маніпулятор окремий мікроконтролер і з'єднати його з мікроконтролером-пультом через радіоканал. Для пульта була обрана Arduino Mega через найбільшу кількість входів-виходів. А для маніпулятора – Arduino Nano, виходячи з її малих розмірів, достатньої кількості входів-виходів, проте все ще зручний зв'язок для програмування (на відміну від Pro Mini).

5.9.2.Сервоприводи

В якості приводів для маніпулятора були обрані сервоприводи. Продаються сервоприводи в комплекті з насадками для кріплення деталей (Рис. 30, б). Розаглянемо принцип роботи та підключення сервопривода на прикладі MG996R (Рис. 30, а)[35].

Сервопривод MG996R з металевим редуктором широко використовується в автомоделях для управління поворотом передніх коліс, в авіамоделюванні – для повороту керма і закрилків моделі. Сервопривод MG996R застосовується для повороту деталей різних механізмів. Завдяки редуктору з металевими шестернями на вихідному валу розвивається достатнє зусилля для застосування в рухомих роботах. Усередині корпусу знаходиться невеликий модуль управління, який під дією вхідного сигналу подає живлення відповідної полярності на електродвигун. Вхідний сигнал управління містить дані про необхідне положення вала. Для визначення поточного положення вала редуктор з'єднаний з датчиком положення (Рис. 30, в). Електроніка MG996R обчислює різницю між поточним положенням

редуктора і необхідним. Модуль управління орієнтуючись на датчик положення подає живлення необхідної полярності на двигун для повороту редуктора, що приводить у відповідність положення передане сигналом управління і поточне.

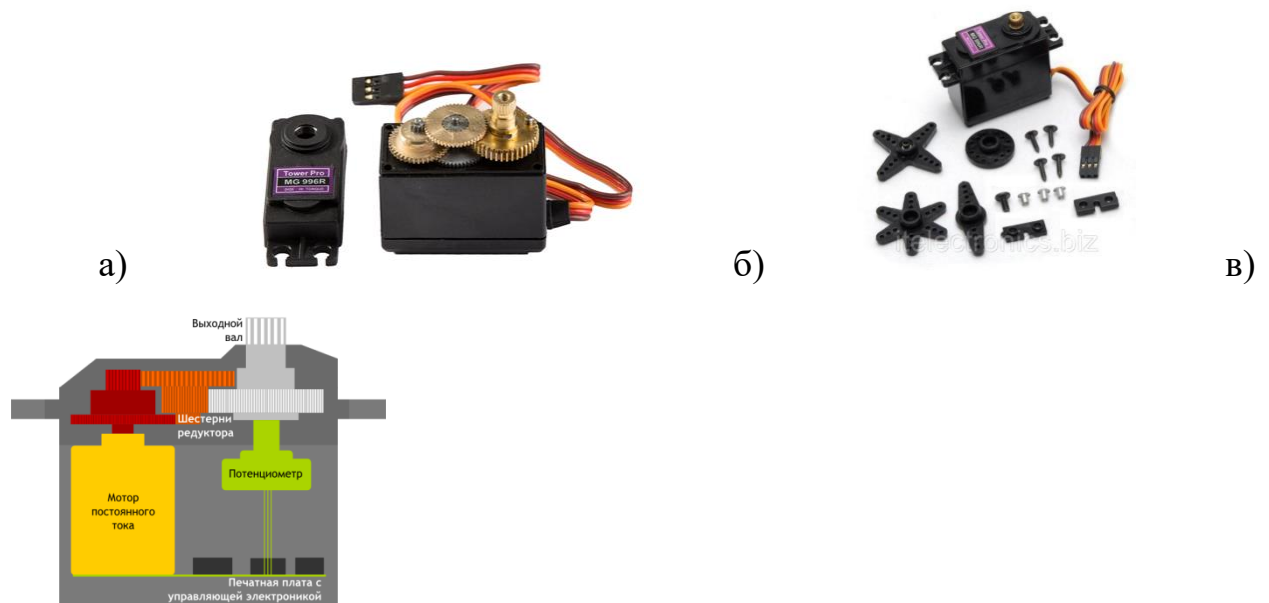


Рис. 30 – а) сервопривод MG996R; б) комплектация сервопривода; в) схема сервопривода;

Управління сервомотором здійснюється сигналами широтно-імпульсної модуляції (ШІМ). Кут повороту вала редуктора змінюється шириною імпульсу високого рівня за кожен проміжок часу. Інтервал прийому між імпульсами управління у моделі MG996R становить 20 мілісекунд.

У MG996R є три виходи-дроти, два з яких (коричневий "-" і червоний "+") з'єднуються із зовнішнім джерелом живлення, і третій, помаранчевий, підключається до контролера, що генерує імпульси змінної ширини (Рис. 31). Як ШІМ-контролер може бути застосована будь-яка процесорна плата на базі Arduino або інша аналогічна на 5В логіці[36].

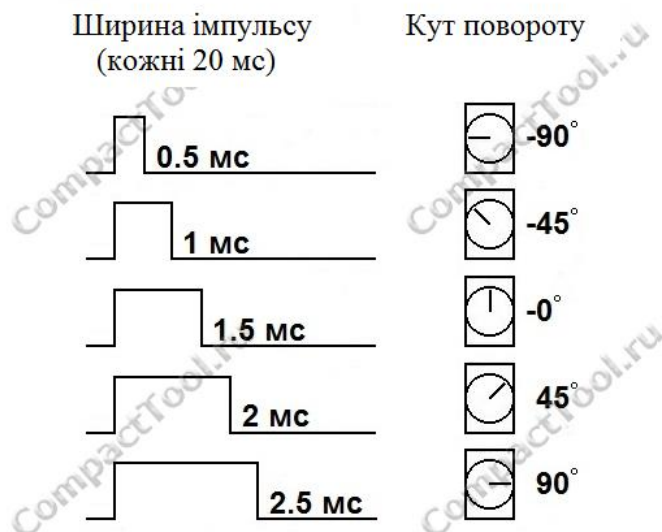


Рис. 31– керуючі сигнали для сервоприводу;

Робочий струм сервомотора без навантаження досить малий, приблизно 170-200 мА. Однак, зі збільшенням навантаження на вал аж до максимально можливого, а також при різкій зміні напрямку обертання – збільшується внутрішнє навантаження на електричне коло мотора, внаслідок чого струм може підвищуватися до пікового значення 1200мА. Для уникнення поломок генератора імпульсів ШІМ, наполегливо рекомендується не під'єднувати додатній полюс джерела сервоприводу безпосередньо до мікроконтролера. Найкращим варіантом стане використання зовнішнього джерела живлення(Рис. 32).



Рис. 32 – схема рекомендованого під'єднання сервопривода до Ардуіно;

					МІ612.ДПБ009.00.000ПЗ		Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата			62

5.9.3.Радіо модуль NRF24L01

Для з'єднання двох Ардуіно між собою використовується радіо модуль NRF24L01[37]. До кожного мікроконтролеру під'єднується свій NRF. Один мікроконтролер в програмі записується як передавач (master), а усі інші – приймачі (slave). Передавач посилає пакети даних на певний приймач, який в свою чергу може надсилати відповідь, в якій розміщується підтвердження отриманих даних/дані за датчиків/результати обчислень чи будь-яка інформація.

Виходи модуля (Рис. 33, Табл. 24) під'єднуються до відповідних виходів на Ардуіно:

Таблиця 24 – підключення радіо модуля NRF24L01.

nrf24l01	ND	CC	CE	CSK	CK	OSI	M	M
ega	ND	,3V	будь-який	будь-який	2	1	5	1
по	ND	,3V	будь-який	будь-який	3	1	0	5

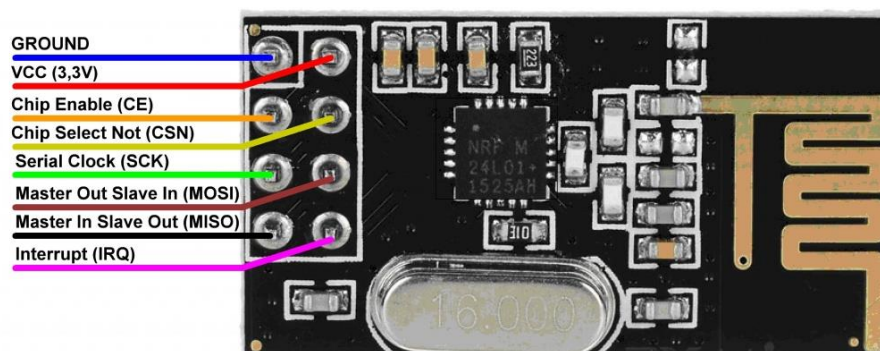


Рис. 33 – розпіновка радіо модуля NRF24L01.

5.10 Підключення маніпулятора та системи керування

Схему підключення елементів пульта дистанційного керування надано на рисунку 34. Передачу пакету даних від пульта до керуючої системи сервомоторів вирішено було здійснювати за допомогою радіомодуля

NRF24L01 (Рис. 34, 5), який підключено до таких пінів на Ардуіно Мега: 9, 53, 52, 51, 12. З метою створення однозначного взаємозв'язку між рухом пальців та цільовими координатами маніпулятора, на плату пульта керування було вмонтовано систему кінематичного перетворювача (Рис. 34, 2) на базі двох потенціометрів та кнопки (джойстик), яку було з'єднано із такими пінами на мікроконтролері: А4 (4-й аналоговий пін), А5 (5-й аналоговий пін), 5 (5-й цифровий пін). Таким чином, під час переміщення джойстика у двох взаємно перпендикулярних напрямках мікроконтролер перетворює зміну опору потенціометрів на абсцису та ординату цільового положення кисті маніпулятора. Ще один потенціометр (Рис. 34, 3), що підключений до аналогового піна Ардуіно, перетворює свій кут повороту на координату кута повороту всього маніпулятора. Згенеровані таким чином координати (X, Y кисті маніпулятора та кут ϕ , повороту маніпулятора) за допомогою радіомодуля передаються на радіоприймач маніпулятора. Повна інформація щодо підключення радіомодуля, потенціометра та джойстика до мікроконтролера Ардуіно Мега наведено в Додатку 2. Поточна версія програми наведена в Додатку 4.

					МІ612.ДПБ009.00.000ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		64

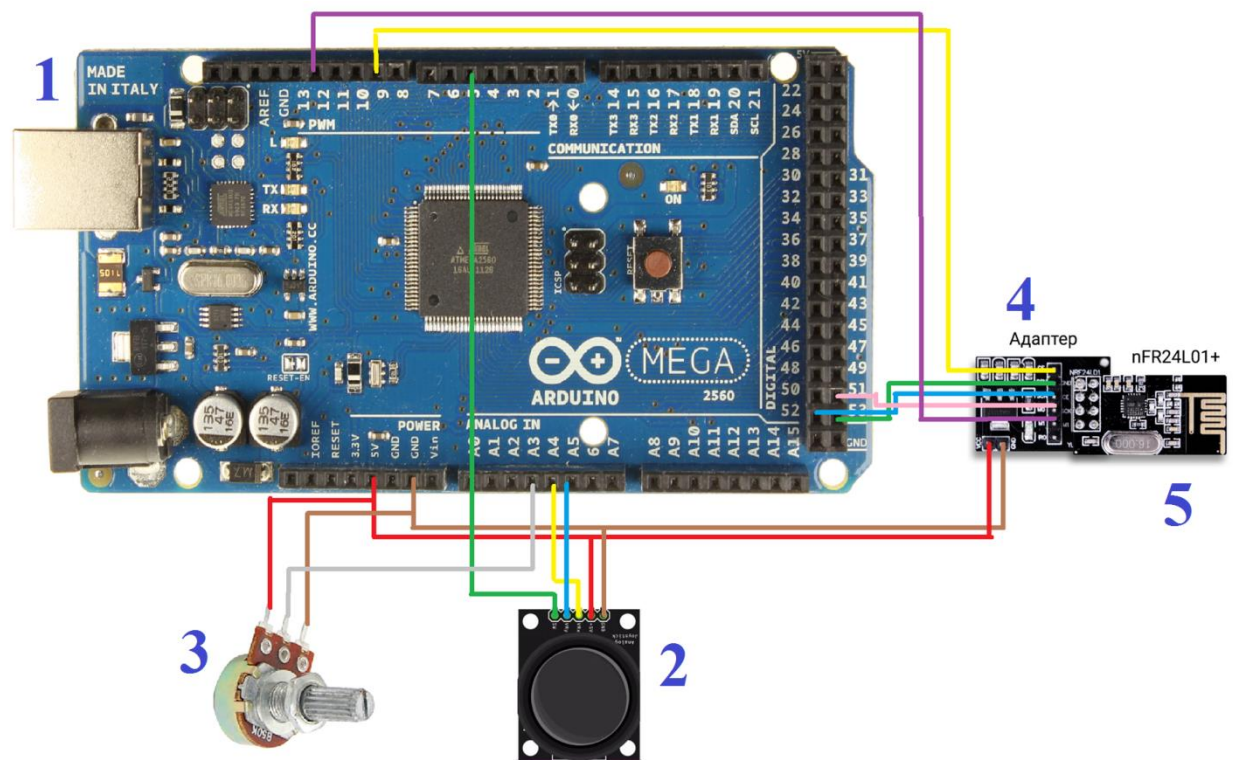


Рис. 34 – ілюстрація підключення пульта керування: 1) Мікроконтролер Ардуіно Мега; 2) Джойстик для генерування координат X та Y кисти маніпулятора, що складається з двох потенціометрів та кнопки; 3) Потенціометр для генерування координати повороту маніпулятора; 4) Адаптер для перетворення напруги живлення мікроконтролера: 5 В у напругу живлення радіомодуля: 3.3 В. 5) радіо модуль NRF24L01.

Схему підключення елементів електроніки маніпулятора надано на рисунку 35. Пакет даних приймає радіомодуль NRF24L01 (Рис. 35, 3), що підключений до мікроконтролера Ардуіно Нано (Рис. 35, 1) через адаптер (Рис. 35, 2), та передає на Ардуіно. Ардуіно, отримавши координати X, Y та ϕ , за допомогою формули розв'язку зворотної задачі кінематики (2.4.2. Кінематика: пряма і зворотна задачі) перетворює координати X та Y у необхідні кути повороту сервоприводів плеча (Рис. 35, 5) та передпліччя (Рис. 35, 7). Разом з координатою ϕ , кути повороту відправляються на сервоприводи. Оскільки сервоприводи особливо при пуску та зміні напрямку руху споживають високі токи – вони живляться від окремого джерела (Рис.

35, 4). Для того, щоб токи у провідниках, що йдуть на сервоприводи, не створювали шуми радіомодулю – на «+» та «-» кожного сервопривода паралельно під'єднано по конденсатору на 1000 μF .

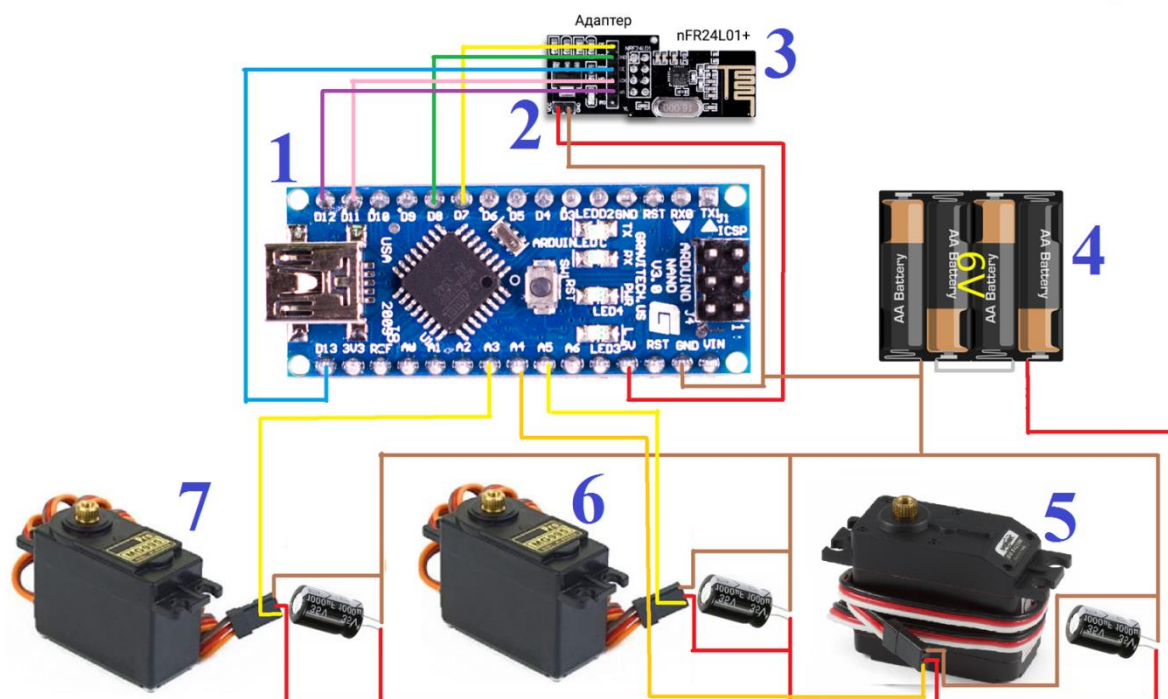


Рис. 35 –схема підключення сервоприводів та радіомодуля до мікроконтролера, що здійснює керування маніпулятором: 1) Ардуіно Нано; 2) Адаптер живлення для радіомодуля; 3) Радіомодуль NRF24L01; 4) Окреме джерело живлення для сервоприводів; 5, 6, 7 – сервоприводи плеча, повороту маніпулятора та передпліччя, відповідно.

Таблиця підключення елементів до мікроконтролера маніпулятора наведена в Додатку 3. Поточна версія програми, що завантажена та по якій працює Ардуіно Нано в в маніпуляторі, наведена в Додатку 5.

Висновки

1) Для створення конкурентноспроможного виробництва кераміки в Україні, необхідно створити новий, автоматизований цех зі скороченим терміном спікання партії.

2) Виходячи з отриманого досвіду при створенні макету маніпулятора, можна стверджувати що чотири ланковий маніпулятор з ангулярною системою координат може впоратися з поставленою задачею маніпулювання гарячими контейнерами.

3) Для подальшої розробки цеху, необхідно створити макет печі та, автоматизувавши робочий процес за допомогою мікроконтролерів та модулів Ардуіно, відтворити увесь цикл спікання деталей при температурах в межах 200°C - 800°C.

					МІ612.ДПБ009.00.000ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		67

Використані джерела

- [1] Г. Гнесин, Керамические инструментальные материалы, Наукова думка, 1991, р. 188.
- [2] Т. И. Серебрякова, В. А. Неронов и П. Д. Пешев, Высокотемпературные бориды, Металлургия. Челяб. отделение, 1991, р. 368.
- [3] О. Н. Григорьев, Г. А. Гогоци и Ю. Г. Гогоци, «Получение и свойства керамики системы $\text{SiC} - \text{B}_4\text{C} - \text{MeB}_2$,» *Порошковая металлургия*, т. 5/6, р. 29 – 42, 2000.
- [4] В. Ивженко, Исследование физико-механических свойств горячепрессованных материалов на основе Si_3N_4 и TiN , Наукова думка, 1985, р. 34 – 41.
- [5] V. V. Skorokhod и V. D. Krstic, «Processing, microstructure and mechanical properties of $\text{B}_4\text{C} - \text{TiB}_2$ particulate sintered composites,» *Powder met*, № 7/8, р. 111 – 121, 2000.
- [6] А. Ю. Клепко и А. Ю. Попов, «Кинетика уплотнения и структура реакционно-прессованной керамики системы $\text{TiB}_2 - \text{Al}_2\text{O}_3$,» *Деформация и разрушение материалов*, № 12, pp. 14 - 18, 2013.
- [7] А. А. Сивак, А. Ю. Попов и В. А. Макара, «Структура и трещиностойкость композиционных материалов системы $\text{TiB}_2 - \text{Al}_2\text{O}_3 - \text{Cr}$,» *Деформация и разрушение материалов*, № 2, pp. 21 - 24, 2014.

- [8] A. Y. Popov, A. A. Sivak, H. Y. Borodianska и I. L. Shabalin, «High-toughness TiB₂– Al₂O₃ composite ceramics produced by the reactive hot-pressing with fusible components,» *Advances in Applied Ceramics*, № 3, pp. 178 - 182, 2015.
- [9] O. Popov и V. Vishnyakov, «Fracture toughness in some hetero-modulus composite carbides: carbon inclusions and voids,» *Advances in Applied Ceramics*, т. 116, pp. 61 - 70, 2017.
- [10] O. Popov, P. Loboda, O. Klepko и T. Solovjova, «Reactive sintering of bulk multi-phase ceramics based on LaB₆-TiB₂ eutectic granules,» *Advances in Applied Ceramics*, т. 118, № 4, pp. 217 - 221, 2019.
- [11] O. Popov, J. Vleugels, A. Huseynov и V. Vishnyakov, «Reactive sintering of TiB₂-SiC-CNT ceramics,» *Ceramics International*, т. 45, № 17B, pp. 22769 - 22774, 2019.
- [12] «http://www.rusnauka.com/SND/Economics/13_topchiy.doc.htm».
- [13] «<https://gantrycrane.ru/kozlovoy-kran-2-tonny-prodazha-v-kitaye/>».
- [14] «https://globalprom.com.ua/product/elektricheskii-shtabeler?gclid=Cj0KCQjw-Mr0BRDyARIsAKEFbecIbUNJ_Dk25spRPEA1OtpNMOMykpM4seFXZqcG7Mq3LMhQBGaRiBIaAt8hEALw_wcB».
- [15] «<http://fassi.ru/kmu/light/>».
- [16] «<http://fassi.ru/kmu/light/>».

- [17] «https://www.kuka.com/-/media/kuka-downloads/imported/9cb8e311bfd744b4b0eab25ca883f6d3/kuka_pb_palettierer_en.pdf?rev=ae0374b009b24eb88fb518bffd0debdd&hash=BF83611FD62433402F8278D0C6362DC6».
- [18] «<https://www.fanuc.eu/ua/uk/%d1%80%d0%be%d0%b1%d0%be%d1%82%d0%b8/robot-filter-page/%d1%81%d0%b5%d1%80%d1%96%d1%8f-m-2000/m-2000ia-1700l>».
- [19] «<https://robotics.kawasaki.com/userAssets1/productPDF/CP700LEE03C03-E.pdf>».
- [20] «<http://www.allbest.ru/>».
- [21] «<https://ru.coursera.org/lecture/innovations-in-industry-robotics/2-5-privody-promyshliennykh-robotov-V5a81>».
- [22] «https://nanojam.ru/news/7_populyarnih_privodov_dlya_robotov».
- [23] «<http://www.servotechnica.ru/catalog/type/index.pl?id=104>».
- [24] «<http://robocraft.ru/blog/mechanics/756.html>».
- [25] В. С. Ловеїкін, Ю. О. Ромасевич и Н. В. Матухно, «https://nubip.edu.ua/sites/default/files/u132/%D0%9C%D0%B5%D1%82%D0%BE%D0%B4%D0%B8%D1%87%D0%BA%D0%B0_%D0%94%D0%98%D0%9D%D0%90%D0%9C%D0%86%D0%A7%D0%9D%D0%98%D0%99%20%D0%A0%D0%9E%D0%97%D0%A0%D0%90%D0%A5%D0%A3%D0%9D%D0%9E%D0%9A%20%D0%9C%D0%90%D0%A8%D0%98%D0%».

- [26] «http://mbb.kiev.ua/index.php?option=com_content&view=article&id=25:-8645-68&catid=2:2011-10-13-09-19-08&Itemid=6».
- [27] «<http://www.customelectronics.ru/robo-ruka-chast-1-opisanye/>».
- [28] «https://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%9E%D0%B1%D1%80%D0%B0%D1%82%D0%BD%D0%B0%D1%8F_%D1%80%D0%B0%D0%B7%D1%80%D0%B0%D0%B1%D0%BE%D1%82%D0%BA%D0%B0».
- [29] «<https://store.ufactory.cc/products/uarm>».
- [30] «<https://zen.yandex.ru/media/pechniki/uhvat-i-rogach-cto-eto-takoe-5e09b46ffc69ab00ad0b4582>».
- [31] «<https://rozetka.com.ua/92587238/p92587238/>».
- [32] «https://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%9B%D0%B0%D0%B7%D0%B5%D1%80%D0%BD%D0%B0%D1%8F_%D1%80%D0%B5%D0%B7%D0%BA%D0%B0».
- [33] «<http://robocraft.ru/blog/arduino/1035.html>».
- [34] «<https://arduinomaster.ru/platy-arduino/>».
- [35] «<http://wiki.amperka.ru/%D1%80%D0%BE%D0%B1%D0%BE%D1%82%D0%BE%D1%82%D0%B5%D1%85%D0%BD%D0%B8%D0%BA%D0%B0:%D1%81%D0%B5%D1%80%D0%B2%D0%BE%D0%BF%D1%80%D0%B8%D0%B2%D0%BE%D0%B4%D1%8B>».
- [36] «<https://compacttool.ru/viewtovar.php?id=698>».
- [37] «<https://3d-diy.ru/wiki/arduino-moduli/radio-modul-nrf24l01/>».

Додатки

Додаток 1

Дано:

$$P := 8000 \text{ Н.}$$

Границя міцності сталі Ст1..Ст6: $\sigma_t := 300 \cdot 10^6 \text{ Па}$ <https://ppt-online.org/39548>
 коефіцієнт запасу $n_t := 1.5$

Допустиме навантаження $\sigma_d := \frac{\sigma_t \cdot 10^{-4}}{n_t} = 2 \times 10^4 \text{ Н/см}^2$

$$MBP := 73.6 \cdot P = 5.888 \times 10^5 \text{ Н*см}$$

$$MB := MBP = 5.888 \times 10^5 \text{ Н*см} \quad \text{момент в т. В від корисного навантаження}$$

Максимальний момент опору:

$$W_r := \frac{MB}{\sigma_d} = 29.44 \text{ см}^3$$

Вибір профільної труби АВ: 90x60x5 $W_r := 31.75 \text{ см}^3$

Момент інерції: $I_y := 142.8 \text{ см}^4$

Маса 1 метра: $m_{AB} := 10.65 \text{ кг}$

Вибір профільної труби CD: 30x15x2 $Scd := 1.57 \text{ см}^2$

Момент інерції: $I_y := 1.62 \text{ см}^4$

Маса 1 метра: $m_{CD} := 1.23 \text{ кг}$

$$M_{BAB} := (m_{AB} \cdot 0.776 \cdot 10^{-3}) \cdot \frac{73.6}{2} = 9.124 \times 10^3 \text{ Н*см}$$

$$MB := MBP + M_{BAB} = 5.979 \times 10^5 \text{ Н*см} \quad \text{момент в т. В від корисного навантаження та приблизної ваги захвата}$$

Максимальний момент опору:

$$W_r := \frac{MB}{\sigma_d} = 29.896 \text{ см}^3$$

Вибір профільної труби АВ: 90x60x5 $W_r := 31.75 \text{ см}^3$

Момент інерції: $I_y := 142.8 \text{ см}^4$

Маса 1 метра: $m_{AB} := 10.65 \text{ кг}$

На ланку CD діє розтягуюча сила:

$$P_{cd} := \frac{MB}{21.6} = 2.768 \times 10^4 \quad \text{Н}$$

Площа поперечного перерізу труби CD:

$$S_{cd} := \frac{P_{cd}}{\sigma_d} = 1.384 \quad \text{см}^2$$

$$MGP := P \cdot \left(73.6 + 128 \cdot \cos\left(\frac{20 \cdot \pi}{180}\right) \right) = 1.551 \times 10^6 \quad \text{Н*см}$$

$$MGAB := 3 \cdot mAB \cdot 10 \cdot 0.776 \cdot \left(\frac{73.6}{2} + 128 \cdot \cos\left(\frac{20 \cdot \pi}{180}\right) \right) = 3.895 \times 10^4 \quad \text{Н*см}$$

$$MGCD := mCD \cdot 1.28 \cdot 10 \cdot \left(\frac{128}{2} \cdot \cos\left(\frac{20 \cdot \pi}{180}\right) + 136 - \frac{128}{2} \cdot \cos\left(\frac{20 \cdot \pi}{180}\right) \right) = 2.141 \times 10^3 \quad \text{Н*см}$$

$$MG := MGP + MGAB + MGCD = 1.592 \times 10^6 \quad \text{Н*см}$$

Максимальний момент опору:

$$W_r := \frac{MG}{\sigma_d} = 79.607 \quad \text{см}^3$$

Вибір профільної труби BG: 120x80x8 $W_r := 85.67 \quad \text{см}^3$

Момент інерції: $I_y := 514.5 \quad \text{см}^4$

Маса 1 метра: $mBG := 22.25 \quad \text{кг}$

$$ME := P_{cd} \cdot 21.6 = 5.979 \times 10^5 \quad \text{Н*см}$$

На ланку НК діє розтягуюча сила:

$$P_{hk} := \frac{ME}{25.3} = 2.363 \times 10^4 \quad \text{Н}$$

Площа поперечного перерізу труби НК:

$$S_{hk} := \frac{P_{hk}}{\sigma_d} = 1.182 \quad \text{см}^2$$

Вибір профільної труби НК: 30x10x2 $S_{hk} := 1.37 \quad \text{см}^2$

Момент інерції: $I_y := 1.22 \quad \text{см}^4$

Маса 1 метра: $mHK := 1.08 \quad \text{кг}$

На ланку IL діє розтягуюча сила:

$$P_{il} := \frac{MG}{20.3} = 8.002 \times 10^4 \quad \text{Н}$$

$$\underline{\underline{\text{Shk}}} := \frac{P_{il}}{\sigma_d} = 4.001 \quad \text{cm}^2$$

Вибір профільної труби IL: 80x60x5 $S_{il} := 12.57$ cm^2

Момент інерції: $I_y := 106.55 \text{ см}^4$

Маса 1 метра: $m_{II} := 9.87$ кг

Момент на двигуні передпліччя:

$$\text{MPr} := \text{Pil} \cdot 20.3 = 1.624 \times 10^6 \quad \text{H}^*_{\text{CM}}$$

Момент на двигуні плеча:

$$MJP := P \cdot \left(73.6 + 2 \cdot 128 \cdot \cos\left(\frac{20 \cdot \pi}{180}\right) \right) = 2.513 \times 10^6 \quad \text{H}^* \text{cm}$$

$$MJAB := m_{AB} \cdot 0.776 \cdot 10 \cdot \left(\frac{73.6}{2} + 2.128 \cdot \cos\left(\frac{20 \cdot \pi}{180}\right) \right) = 2.292 \times 10^4 \quad \text{H}^*_{\text{CM}}$$

$$\text{MJCD} := \text{mCD} \cdot 1.28 \cdot 10^3 \cdot \left(128 \cdot \cos\left(\frac{20 \cdot \pi}{180}\right) + 136 \right) = 4.035 \times 10^3 \quad \text{H}^* \text{cm}$$

$$M_{JBG} := m_{BG} \cdot 1.28 \cdot 10^4 \cdot \left(1.5 \cdot 1.28 \cdot \cos\left(\frac{20 \cdot \pi}{180}\right) \right) = 5.138 \times 10^4 \quad \text{H}^*_{\text{CM}}$$

$$MJHK := mHK \cdot 1.28 \cdot 10 \cdot \left(128 \cdot \cos\left(\frac{20 \cdot \pi}{180}\right) - 20 \right) = 1.386 \times 10^3 \text{ H}^*_{\text{CM}}$$

$$MJL := mIL \cdot 1.28 \cdot 10 \cdot (128 - 32) \cdot \cos\left(\frac{20 \cdot \pi}{180}\right) = 1.14 \times 10^4 \quad \text{H}^* \text{cm}$$

$$m_{DHE} \equiv m_{CD} \text{ КГ/М}$$

$$\text{MJDHE} := \text{mDHE} \cdot (0.368 + 0.280 + 0.240) \cdot 10 \cdot \left(128 \cdot \cos\left(\frac{20 \cdot \pi}{180}\right) \right) = 1.314 \times 10^3 \quad \text{H}^* \text{cm}$$

$$\text{MP1} = \text{MJP} + \text{MJAB} + \text{MJCD} + \text{MJBG} + \text{MJHK} + \text{MJIL} + \text{MJDHE} = 2.606 \times 10^6 \quad \text{H}^*_{\text{CM}}$$

Максимальный момент опоры:

$$W_r := \frac{MPl}{\sigma_d} = 130.286 \text{ cm}^3$$

Вибір профільної труби JF: 150x100x8 $W_{rf} := 142.5 \text{ см}^3$

Момент інерції: $I_y := 1069 \text{ см}^4$

Маса 1 метра: $m_{JF} := 28.53 \quad \text{кг}$

$$MJF := mJF \cdot 1.28 \cdot 10 \left(\frac{128}{2} \cdot \cos \left(\frac{20 \cdot \pi}{180} \right) \right) = 2.196 \times 10^4 \text{ H}^* \text{cm}$$

$$\text{MP1} := \text{MJP} + \text{MJAB} + \text{MJCD} + \text{MJBG} + \text{MJHK} + \text{MJIL} + \text{MJDHE} + \text{MJJF} = 2.628 \times 10^6 \quad \text{H}^* \text{cm}$$

Максимальний момент опору:

$$\underline{W_r} := \frac{MPl}{\sigma d} = 131.385 \text{ см}^3$$

Вибір профільної труби JF: 150x100x8

$$\underline{W_r} := 142.5 \text{ см}^3$$

Момент інерції:

$$\underline{I_y} := 1069 \text{ см}^4$$

Маса 1 метра:

$$\underline{m_{JF}} := 28.53 \text{ кг}$$

					МІ612.ДПБ009.00.000ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		75

Додаток 2. Таблиця підключення до мікроконтролера Ардуіно Мега засобів перетворення механічних рухів у сигнали та передавання їх на маніпулятор.

Пристрій	Піни пристрою	Піни на Arduino Mega
1 Радіомодуль NRF24L01 через адаптер на 3,3В	GND	GND
	3,3V	5V
	CE	9
	CSK	53
	SCK	52
	MOSI	51
	MISO	12
Джойстик, який по суті складається з двох змінних резисторів (X, Y) та кнопки (Z)	GND	GND
	5V	5V
	X	A4
	Y	A5
	Z	5
Потенціометр (змінний резистор)	GND	GND
	5V	5V
	S(змінний сигнал)	A3

Додаток 3. Схема підключення радіоприймача та серводвигунів до мікроконтролера маніпулятора.

Пристрій	Піни пристрою	Піни на Arduino Nano
Радіомодуль NRF24L01 через адаптер на 3,3В	GND	GND
	3,3V	5V
	CE	7
	CSK	8
	SCK	13
	MOSI	11
	MISO	12
Сервопривод повороту маніпулятора MG996R (10кг/см)	GND	GND Nano та «-» окремого блоку живлення
	VCC	«+» окремого блоку живлення
	S (сигнальний дріт)	A3
Сервопривод повороту передпліччя MG996R (10кг/см)	GND	GND Nano та «-» окремого блоку живлення
	VCC	«+» окремого блоку живлення
	S (сигнальний дріт)	A5
Сервопривод повороту плеча Springrc SM- S4315M (15кг/см)	GND	GND Nano та «-» окремого блоку живлення
	VCC	«+» окремого блоку живлення
	S (сигнальний дріт)	A4

Додаток 4. Програма на пульті керування, що записується на мікроконтролер Ардуіно Мега.

```
#include<SPI.h>      // библиотека для работы с шиной SPI

#include "nRF24L01.h" // библиотека радиомодуля

#include "RF24.h"     // ещё библиотека радиомодуля


//Занятость пинов-----

//5,9,10,11,12,13,50,51,52,53,A3,A4,A5

RF24 radio(9,53);// "создать" модуль на пинах 9 и 53 для Меги

/*Подключение радиомодуля:

*SCK=52

*MOSI=51

*MISO=50

*/

byte joyX=A4;//   пин джойстика X

byte joyY=A5;//   пин джойстика Y

byte joyZ=12;//   пин джойстика Z

byte PotFi=A3;//   пин потенциометра поворота манипулятора

byte ButtonYup=7;//пин кнопки Y вверх

byte ButtonYdown=8;//пин кнопки Y вниз

byte ButtonXup=6;//пин кнопки X вверх
```

```

byte ButtonXdown=5;//пин кнопки X вниз

//-----

//Переменные и константы

unsigned long last_timeT = 0;

int T = 10;//период приращивания координат

int kT = 3;//3

const int q=1;

byte address[][6] = {"1Node", "2Node", "3Node", "4Node", "5Node",
"6Node"}; //возможные номера труб

const int n = 12;

double Signal[3] = {0,0,0};//{X,Y,Fi}

int Joy[2] = {0,0};//показания с джойстика

int DSK[2] = {0,0};//{dX,dY} прирост координат X, Y

double X = 100;// X-координата конца предплечья

double Y = 0;// Y-координата конца предплечья

const int Xmax = 250*q;//Ограничение

const int Xmin = 20*q//

const int Ymax = 200*q;//          рабочей

const int Ymin = 0*q//

const int Rmax = 300*q;//          зоны

int Xi = 0;

```

```

int Yi = 0;

byte Fi=0;// координата угла поворота манипулятора

//-----

void setup() {

  pinMode(joyX,INPUT);//Настройка

  pinMode(joyY,INPUT);//      пинов

  pinMode(joyZ,INPUT);//      джойстика

  pinMode(PotFi,INPUT);

  pinMode(ButtonYup,INPUT_PULLUP);

  pinMode(ButtonYdown,INPUT_PULLUP);

  pinMode(ButtonXup,INPUT_PULLUP);

  pinMode(ButtonXdown,INPUT_PULLUP);


  radio.begin();      //активировать модуль

  radio.setAutoAck(1);  //режим подтверждения приёма, 1 вкл 0 выкл

  radio.setRetries(0, 15); //(время между попыткой достучаться, число
попыток)

  radio.enableAckPayload(); //разрешить отсылку данных в ответ на
входящий сигнал

  radio.setPayloadSize(n); //размер пакета, в байтах

```

					МИ612.ДПБ009.00.000ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		80

radio.openWritingPipe(address[0]); //мы - труба 0, открываем канал для передачи данных

radio.setChannel(0x70); //выбираем канал (в котором нет шумов!)

radio.setPALevel (RF24_PA_MAX); //уровень мощности передатчика.
На выбор RF24_PA_MIN, RF24_PA_LOW, RF24_PA_HIGH, RF24_PA_MAX

radio.setDataRate (RF24_2MBPS); //скорость обмена. На выбор RF24_2MBPS, RF24_1MBPS, RF24_250KBPS

//должна быть одинакова на приёмнике и передатчике!

//при самой низкой скорости имеем самую высокую чувствительность и дальность!!

radio.powerUp(); //начать работу

radio.stopListening(); //не слушаем радиоэфир, мы передатчик

Serial.begin(9600); //открываем порт для связи с ПК

}

//-----

void loop() {

//Снимаем входящие значения с джойстика и потенциометра поворота++++++++++

Fi = analogRead(PotFi)/6; //показания от 0 до 160

if (Fi>160){Fi = 160;}

Joy[0] = analogRead(joyX)+25; //значения с джойстика по оси X со стабилизацией значения на нуле

					МІ612.ДПБ009.00.000ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		81

Joy[1] = analogRead(joyY)+50;//значения с джойстика по оси Y

DSK[0] = ((Joy[0] - Joy[0]%100)/100 - 5)/5;//прирост X (-1;+1)

DSK[1] = -((Joy[1] - Joy[1]%100)/100 - 5)/5;//прирост Y (-1;+1)

//Управление

кнопками+++++

if(!digitalRead(ButtonXup) == 1){DSK[0] = 1;}

if(!digitalRead(ButtonXdown) == 1){DSK[0] = -1;}

if(!digitalRead(ButtonYup) == 1){DSK[1] = 1;}

if(!digitalRead(ButtonYdown) == 1){DSK[1] = -1;}

//Обрабатываем и корректируем полученные значения+++++

// if (millis() - last_timeT > T){

// last_timeT = millis();

X += (double)DSK[0]*kT;//Прибавляем к координате X полученное значение

Y += (double)DSK[1]*kT;//Прибавляем к координате Y полученное значение

if (X > Xmax){X = Xmax;}//Ограничения: X максимальное

if (X < Xmin){X = Xmin;}// и минимальное

if (Y > Ymax){Y = Ymax;}//Ограничения: Y максимальное

if (Y < Ymin){Y = Ymin;}// и минимальное

```

//Ограничение Y круговой зоной:

if (hypot ((double)X, (double)Y)>(double)Rmax){//Если гипотенуза
(катеты X и Y) больше значения Rmax, то

    Y= sqrt (sq ((double) Rmax) - sq ((double)X));//Уменьшить Y так, чтоб
при заданом X он попадал в круговую зону радиусом Rmax

}

// }

//Формируем массив для отправки и отправляем+++++++

Signal[0] = X;

Signal[1] = Y;

Signal[2] = Fi;

radio.write(&Signal,n);//передаем массив Signal, который занимает n
байт


//Отладка+++++++
+++++

Serial.print("X: ");Serial.print(X);

Serial.print(", Y: ");Serial.print(Y);

Serial.print(", Yup: ");Serial.print(!digitalRead(ButtonYup));

Serial.print(", Ydown: ");Serial.print(!digitalRead(ButtonYdown));

Serial.print(", Xup: ");Serial.print(!digitalRead(ButtonXup));

```

```
Serial.print(", Xdown: ");Serial.println(!digitalRead(ButtonXdown));  
  
}
```

					МИ612.ДПБ009.00.000ПЗ	Лист
						84
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		

Додаток 5. Програма, що записується на мікроконтролер маніпулятора.

```
#include <SPI.h>
```

```
#include "nRF24L01.h"
```

```
#include "RF24.h"
```

```
#include <Servo.h>
```

```
//Занятость пинов-----
```

```
RF24 radio(7,8);//9,10 для нано на расширении, 7,8 для нано
```

```
/*Подключение радиомодуля:
```

```
*SCK=13
```

```
*MOSI=11
```

```
*MISO=12
```

```
*/
```

```
byte SPi = A3;// пин сервопривода плеча
```

```
byte SPr = A5;// пин сервопривода предплечья
```

```
byte pinFi = A4;//пин сервопривода поворота манипулятора
```

```
//-----
```

```
//Переменные и константы
```

```
byte address[][6] =  
{"1Node","2Node","3Node","4Node","5Node","6Node"}; //возможные номера  
труб
```

```
const int n = 12;
```

					МІ612.ДПБ009.00.000ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		85

```

double Signal[3] = {0,0,0}; //{X,Y,anglFi} 4 байта в 1-м дабле

double X = 100;

double Y = 20;

const int kPl = 1;

const int bPl = -23; //-23

const int kPr = 1;

const int bPr = 39; //39

double RanglPl;

const int RanglPlmin = 70;

const int RanglPlmax = 160;

double RanglPr;

const int RanglPrmin = -5;

const int RanglPrmax = 90;

double anglPl;

const int anglPlmin = 0;

const int anglPlmax = 160;

double anglPr;

const int anglPrmin = 0;

const int anglPrmax = 160;

double anglFi = 0;

const int q = 2;

```

```

const int LPl = 160*1;//длинна плеча в мм/q = длинна предплечья в мм/q

//-----

//Создание серводвигателей на пинах-----

---

Servo ServoPl;//создание серводвигателя плеча

Servo ServoPr;//создание серводвигателя предплечья

Servo ServoFi;//создание серводвигателя поворота манипулятора

//-----

void setup() {

  ServoPl.attach(SPl);//подключение серводвигателя плеча

  ServoPr.attach(SPr);//подключение серводвигателя предплечья

  ServoFi.attach(pinFi);//подключения серводвигателя Фи

  ServoPl.write(anglPl);// установка плеча в начальное положение

  ServoPr.write(anglPr);// установка предплечья в начальное положение

  radio.begin(); //активировать модуль

  radio.setAutoAck(1);    //режим подтверждения приёма, 1 вкл 0 выкл

  radio.setRetries(0,15);  //(время между попыткой достучаться, число
попыток)

  radio.enableAckPayload(); //разрешить отсылку данных в ответ на
входящий сигнал

```

```

radio.openReadingPipe(1,address[0]);    //хотим слушать трубу 0

radio.setChannel(0x70); //выбираем канал (в котором нет шумов!)

radio.setPALevel (RF24_PA_MAX); //уровень мощности передатчика.
На выбор RF24_PA_MIN, RF24_PA_LOW, RF24_PA_HIGH, RF24_PA_MAX

radio.setDataRate (RF24_2MBPS); //скорость обмена. На выбор
RF24_2MBPS, RF24_1MBPS, RF24_250KBPS

//должна быть одинакова на приёмнике и передатчике!

//при самой низкой скорости имеем самую высокую чувствительность
и дальность!!

radio.powerUp(); //начать работу

radio.startListening(); //начинаем слушать эфир, мы приёмный модуль

Serial.begin(9600); //открываем порт для связи с ПК
}

//-----

void loop() {

//Принимаем                               данные                               по
радиомодулю++++++++++++++++++++++++++++++++++++

if(radio.available()) {

radio.read(&Signal,n);// читаем входящий сигнал

```

```

X = Signal[0];

Y = Signal[1];

anglFi = Signal[2];

}

//Обрабатываем                                     полученные
данные+++++++

RanglPl = 180 - degrees (atan ((double)Y/(double)X)) - degrees (acos (
(hypot((double)X,(double)Y))/(2*LPl) ) );

if (RanglPl>RanglPlmax){RanglPl = RanglPlmax;}//ограничение угла
плеча в абсолютной СК

else if (RanglPl<RanglPlmin){RanglPl = RanglPlmin;}

anglPl = kPl*RanglPl + bPl;

if (anglPl>anglPlmax){anglPl = anglPlmax;}//ограничение угла плеча в
СК сервопривода

else if(anglPl<anglPlmin){anglPl = anglPlmin;}

RanglPr = degrees (acos ( (hypot((double)X,(double)Y))/(2*LPl) ) ) -
degrees (atan ((double)Y/(double)X));

if (RanglPr>RanglPrmax){RanglPr = RanglPrmax;}//ограничение угла
предплечья в абсолютной СК

else if(RanglPr<RanglPrmin){RanglPr = RanglPrmin;}

anglPr = kPr*RanglPr+bPr;

```

```
if (anglPr>anglPrmax){anglPr = anglPrmax;}//ограничение угла  
предплечья в СК сервопривода
```

```
else if(anglPr<anglPrmin){anglPr = anglPrmin;}
```

```
ServoPl.write(anglPl);
```

```
ServoPr.write(anglPr);
```

```
ServoFi.write(anglFi);
```

```
//Отладка+++++
```

```
Serial.print("RanglPl: ");Serial.print(RanglPl);
```

```
Serial.print("\tRanglPr: ");Serial.print(RanglPr);
```

```
Serial.print("\tanglPl: ");Serial.print(anglPl);
```

```
Serial.print("\tanglPr: ");Serial.println(anglPr);
```

```
}
```

Вибір конструкції-прототипу методом парних порівнянь

Козловий кран			Електричний штабелер		
	Переваги: + Простота конструкції; + Невеликі габарити органу захвату; + Великий розмір робочої зони;	Недоліки: - Важко захистити від високої температури вантажу, оскільки, вантаж знаходиться безпосередньо під приводом підйому; - Низька точність через пружність та гнучкість канатів;	Переваги: + Майже необмежений розмір робочої зони (обмежений, здебільшого, тільки по висоті);	Недоліки: - Важко захистити від високих температур через малу відстань між органом захвату та механізмом підйому; - Складність конструкції - велика кількість деталей, які можуть вийти з ладу;	
Застосовують зазвичай для обслуговування відкритих (рідше критих) складів, головним чином штучних вантажів, контейнерів та лісових вантажів, для монтажу збірних промислових і цивільних споруд, обслуговування гідроелектростанцій і секційного монтажу в суднобудуванні.			Дана техніка призначена в основному для підйому і спуску вантажу. Вила підйомника призначені для різних типів піддонів. Існують моделі з регульованою відстанню між вилами. При відносно невеликій ціні штабелери здатні забезпечувати значні обсяги переміщуваних вантажів, а також не вимагають спеціального навчання і ліцензії.		
Міні кран-маніпулятор з телескопічною конструкцією			Чотириланковий маніпулятор		
	Переваги: + Можна захистити від періодичного впливу високих температур; + Можливість складатися, займаючи при цьому дуже малий простір, порівняно з робочою зоною;	Недоліки: - Низька жорсткість, через телескопічність конструкції – низька точність виходу в позицію; - Складність конструкції	Переваги: + Краще інших забезпечує необхідні технологічні рухи; + Простота конструкції; + Жорсткість конструкції – забезпечення високої точності виходу в позицію;	Недоліки: - Обмежений робочий простір;	
Машину з краном-маніпулятором використовують в наступних випадках: для перевезення контейнерів, котлів, різних великовантажних і важких верстатів, механізмів, кіосків, при перевезенні будівельних матеріалів на піддонах: піноблоків (пінобетону), газоблоків (газобетону), різних бетонних блоків, шлакоблоків, облицювальної та рядової цегли, а також штучних будівельних матеріалів, таких як плити перекриття, фундаментні блоки, вироби з металу і т.д.			Використовується для таких операцій: зварювання, фарбування, складання, вибірка та встановлення, пакування, контроль продукції та випробування, котрі виконуються з високою надійністю, швидкістю, і точністю.		

ОСОБЛИВОСТІ ВІДОМИХ КОНСТРУКЦІЙ МАНІПУЛЯТОРІВ ДЛЯ ЗАВАНТАЖЕННЯ ПЕЧЕЙ

М-2000iA/1700L (FANUC, Японія)



Технічні характеристики:

Корисне навантаження:

1700 кг.

Повторюваність позиції:

+/-0.27мм.

Температури роботи:

0°C до +45°C.

Кількість осей: 6

Макс. радіус дії: 4683 мм

Завдяки вантажопідйомності до 1,7 т і досяжності до 6,2 м цей робот забезпечує максимальну пристосованість при роботі з великими і важкими об'єктами. Робот розроблений для **скорочення витрат на автоматизацію.**

CP700L-AC03 (Kawasaki, США)



Технічні характеристики:

Корисне навантаження:

700 кг.

Повторюваність позиції:

+/-0.05мм.

Температури роботи:

0°C до +45°C.

Кількість осей: 4

Завдяки великому радіусу дії у 3,25 м CP700L-AC03 може працювати з чотирма конвеєрами, двома вхідними палетними штабелями, одним паперовим штабелем, і чотирма вихідними палетними лініями.

KR 1000 1300 titan PA



Технічні характеристики:

Корисне навантаження: 1300 кг.

Повторюваність позиції: +/-0.01мм.

Температури роботи: +10°C до

+55°C.

Кількість осей: 4

Максимальний радіус дії: 3202 мм

KR 1000 titan точно і **надійно маніпулює важкими деталями та компонентами.** З високою швидкістю і динамічним прискоренням він забезпечує найвищу точність.

KR 700 PA



Технічні характеристики:

Корисне навантаження: 700 кг.

Повторюваність позиції: +/-0.08мм.

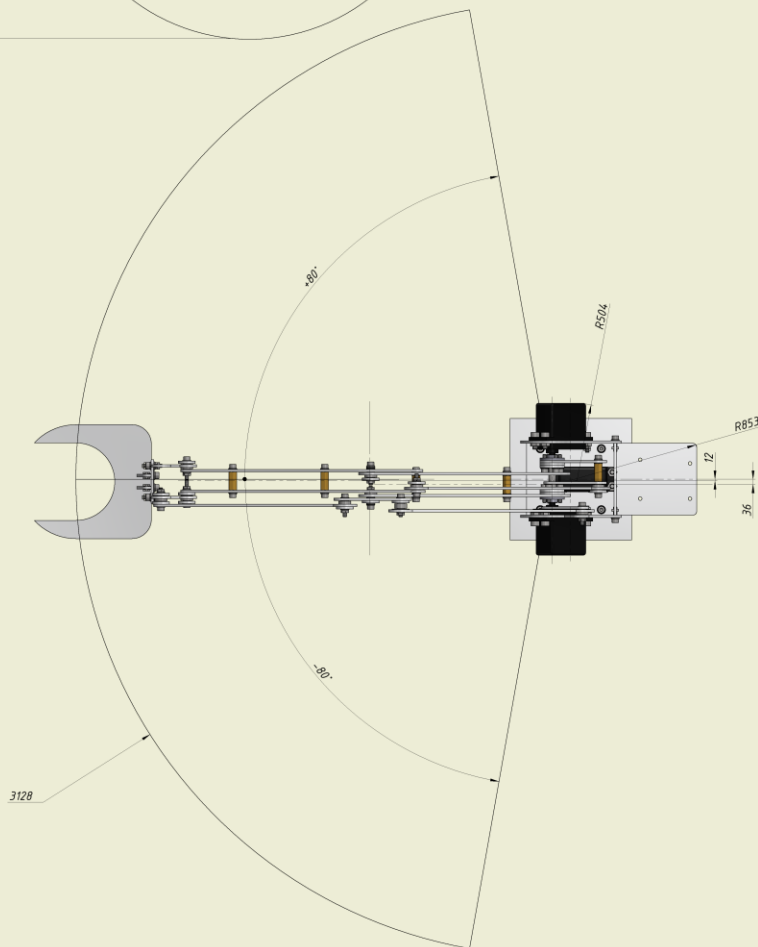
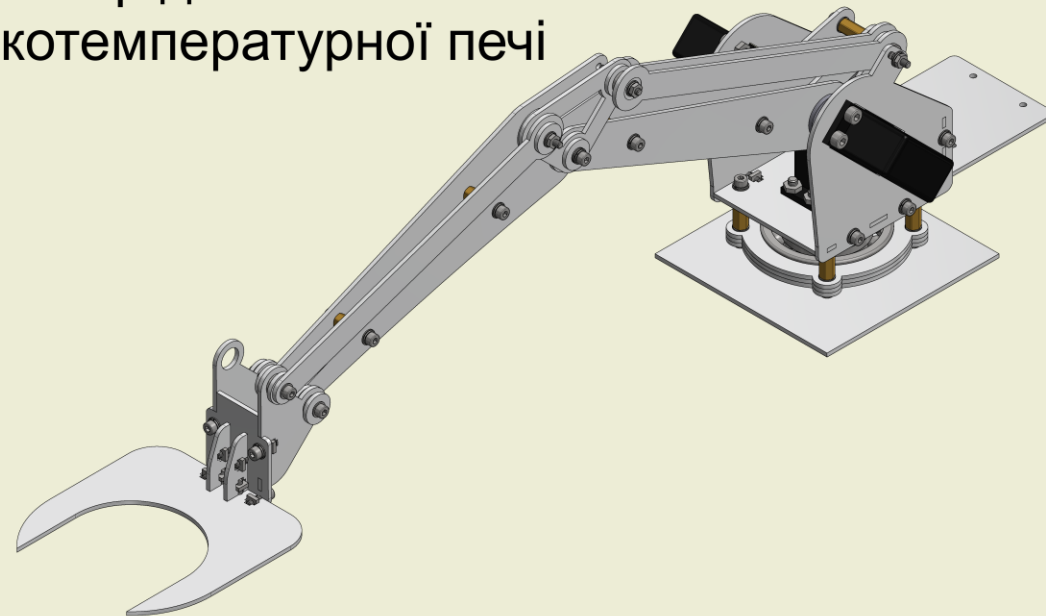
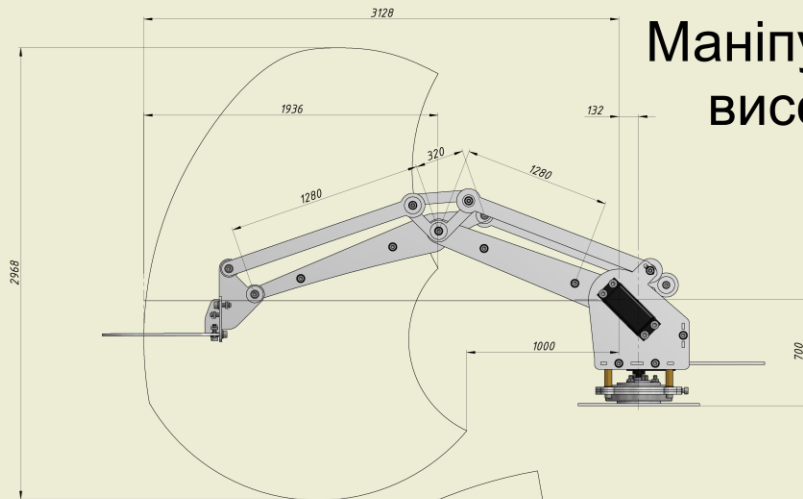
Температури роботи:

0°C до +55°C.

Кількість осей: 4

З максимальним радіусом дії 3320 мм KR 700 PA може прекрасно використовуватися в будь-якій області. Завдяки міцній конструкції і потужним двигунам він виконує будь-яке завдання по палетоскладанню з максимальною швидкістю (до 17 циклів за хвилину).

Маніпулятор для завантаження вискотемпературної печі



Корисна вантажопідйомність	800 кг.
Кількість осей	3
Максимальний радіус	3128 мм.
Мінімальний радіус дії	1000 мм.
Максимальна швидкість переміщення вантажу на максимальному радіусі	0.1 м./с.
Монтажне положення	Підлога
Робоча зона	1900 мм. x 2960 мм.
Температура навколишнього середовища	0°C/+50°C
Вісь обертання	+/-180°

MI612.ДПБ009.00.003ТК

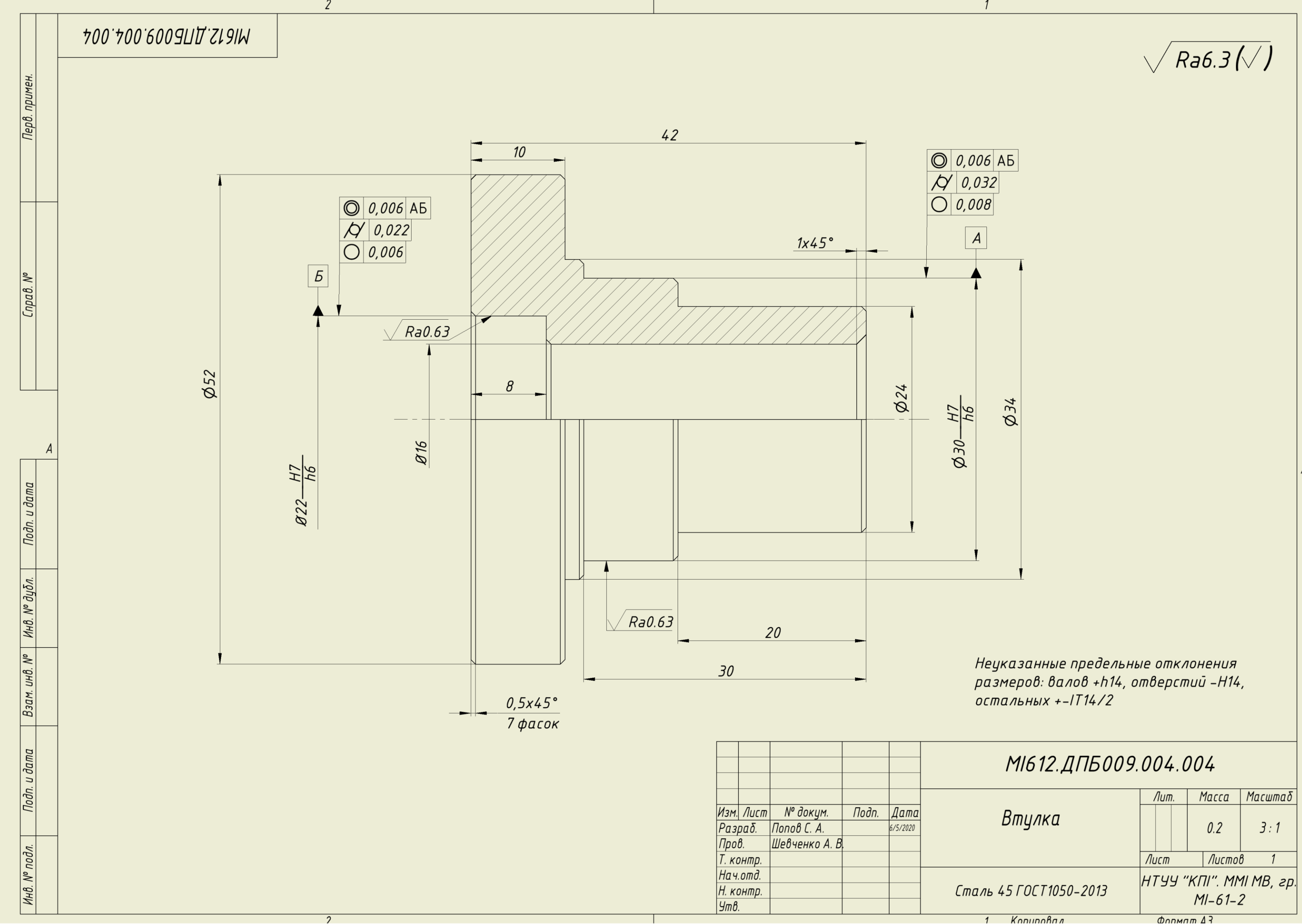
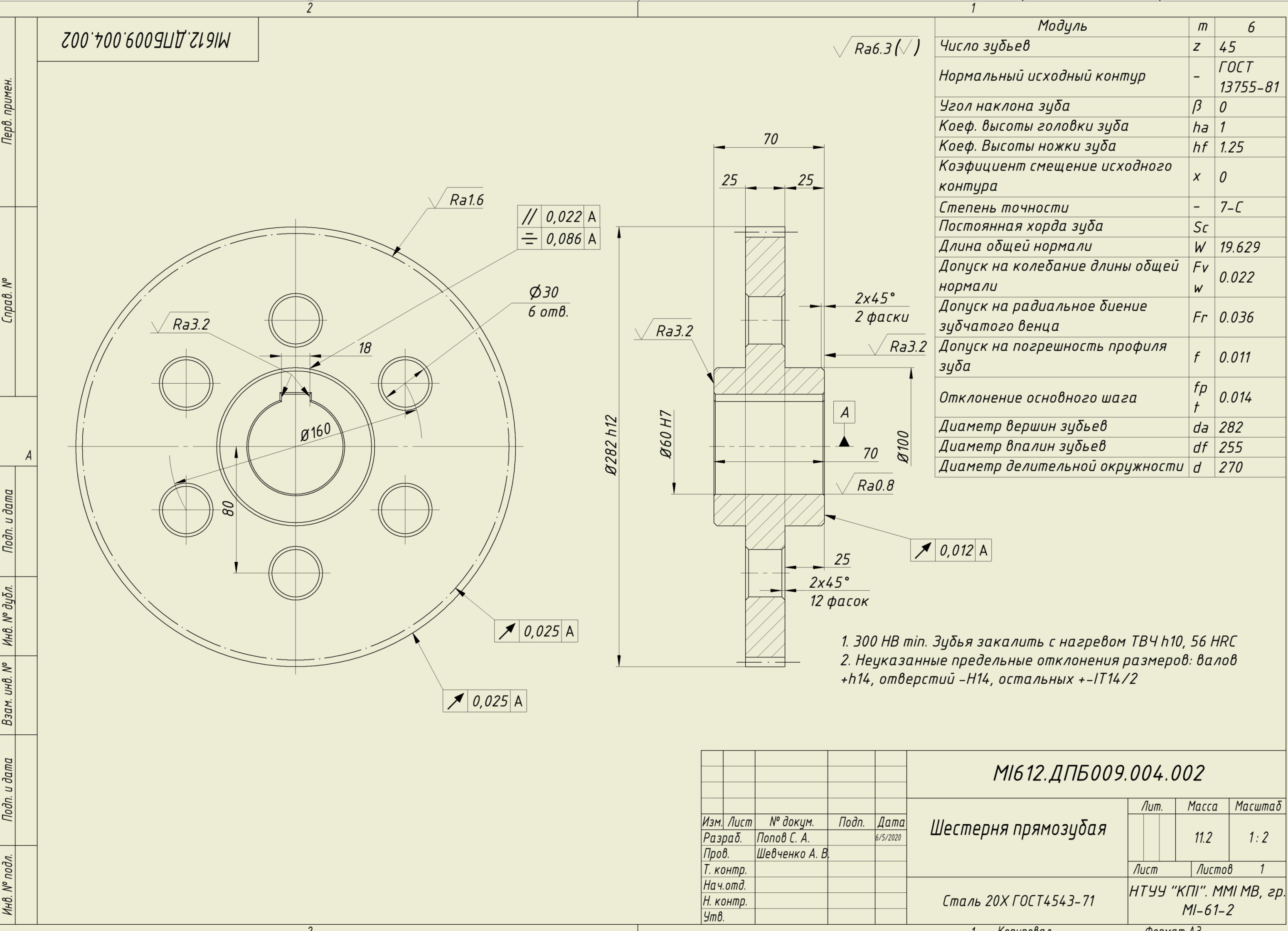
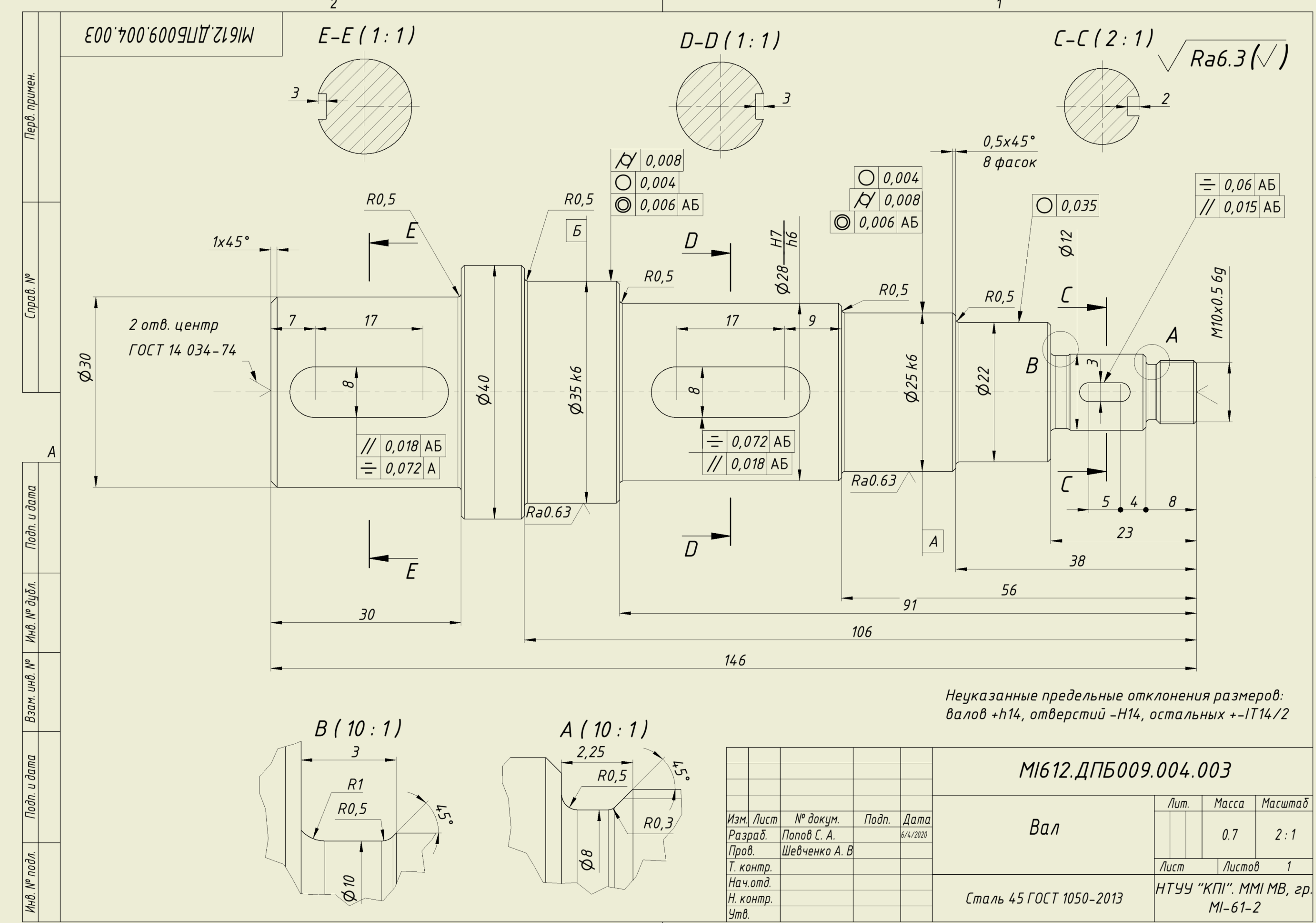
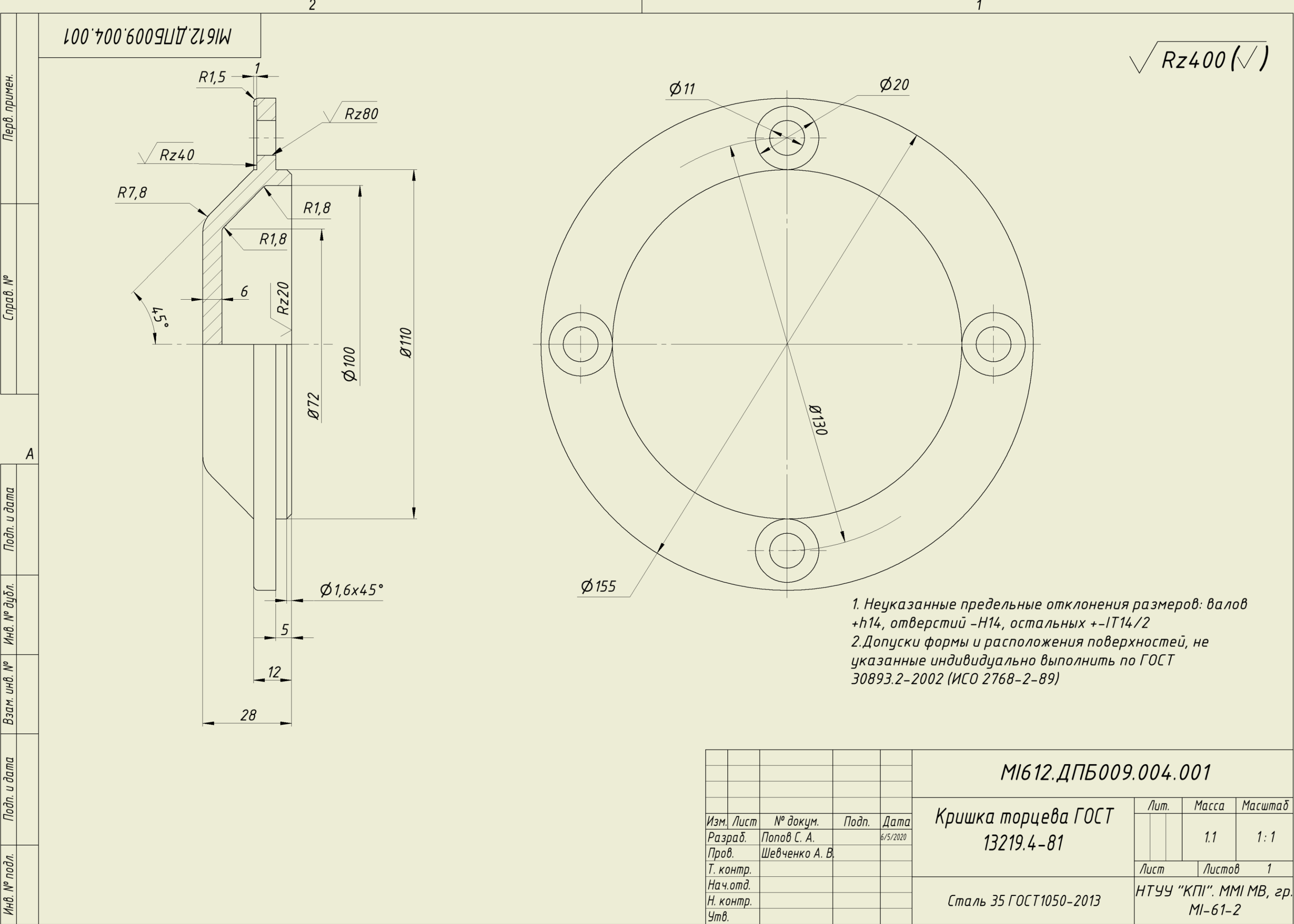
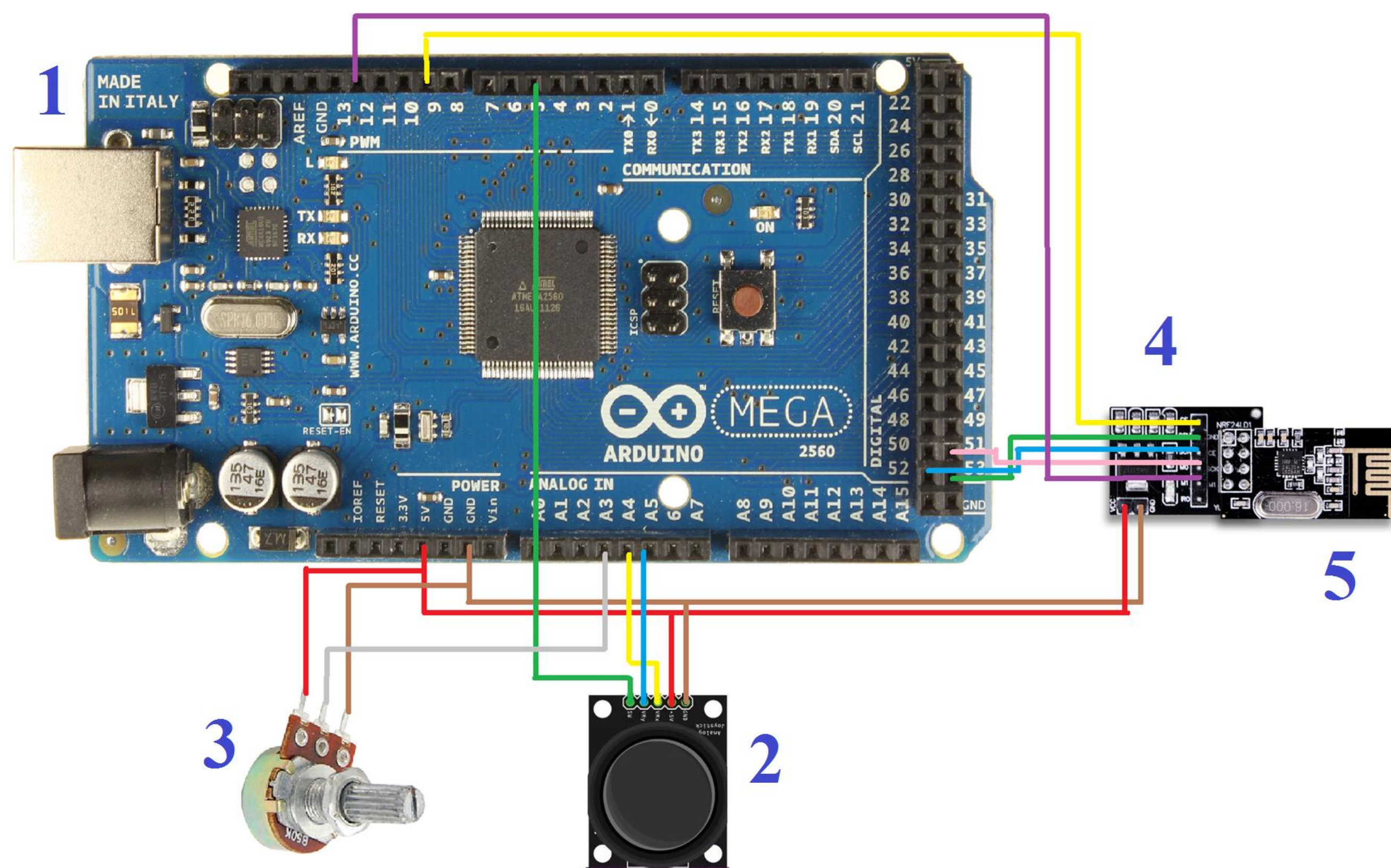
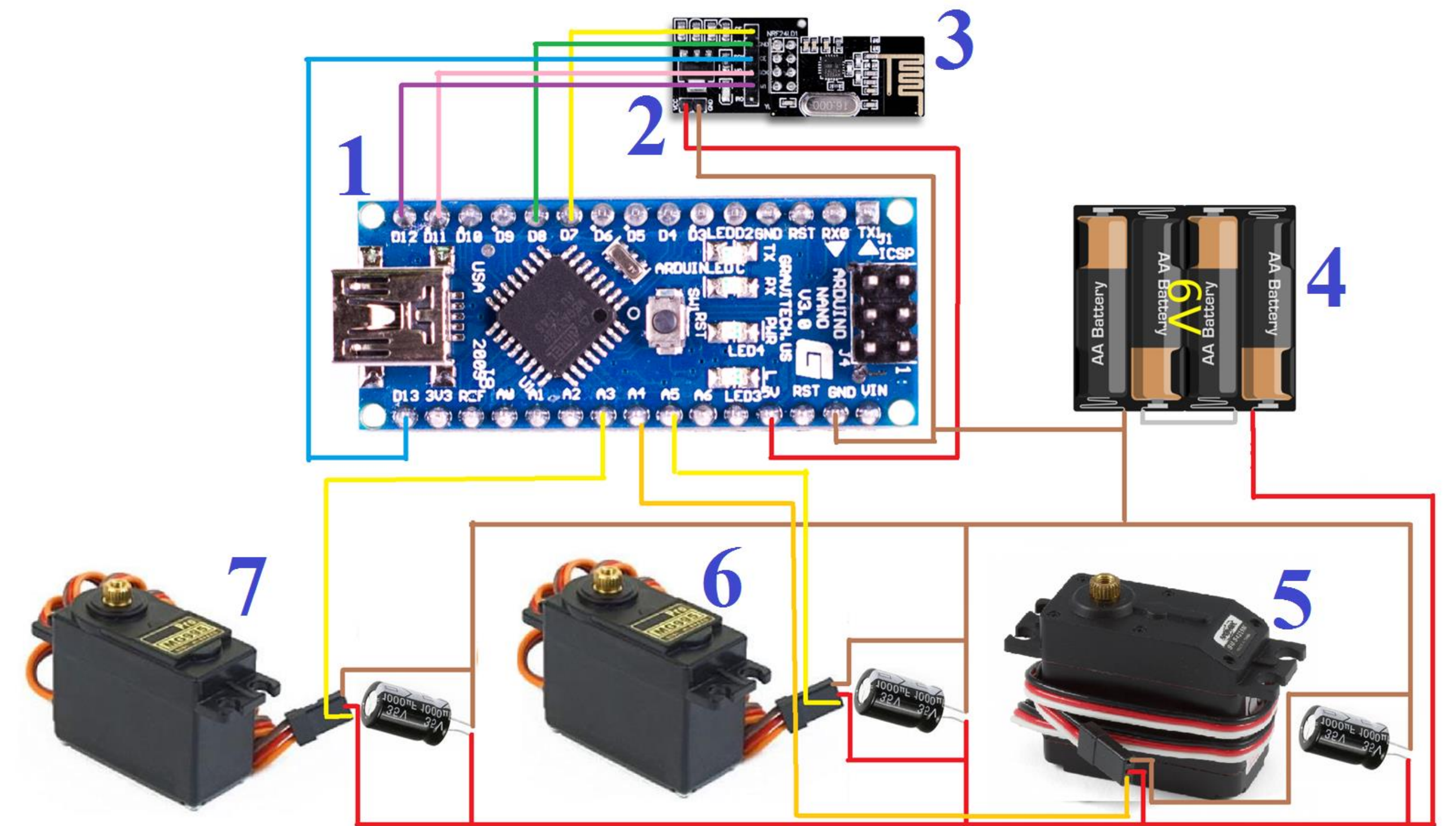


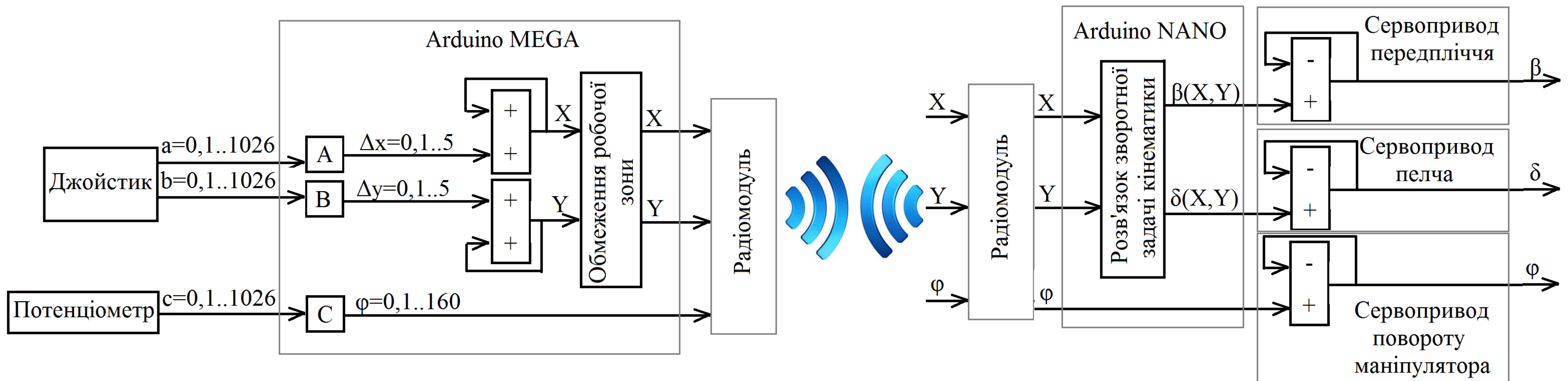
Схема електроніки пульта управління та маніпулятора

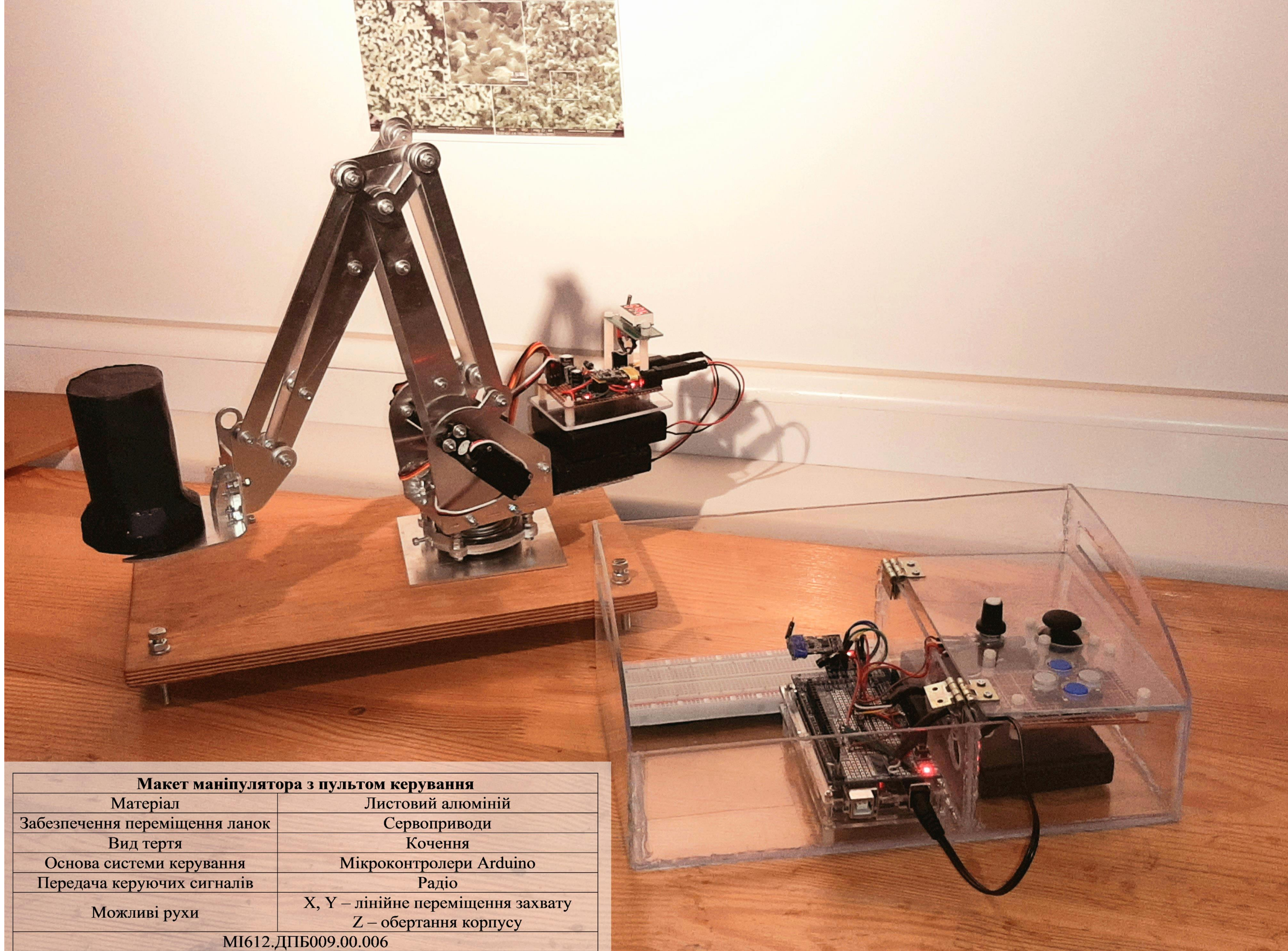


- 1 – мікроконтролер Arduino MEGA;
- 2 – джойстик (з двох потенціометрів та кнопки);
- 3 – потенціометр;
- 4 – адаптер живлення (5В у 3.3В);
- 5 – радіомодуль nRF24L01



- 1 – мікроконтролер Arduino NANO;
- 2 – адаптер живлення (5В у 3.3В);
- 3 – радіомодуль nRF24L01;
- 4 – окреме джерело живлення для сервоприводів;
- 5 – серводвигун плеча (15 кг/см);
- 6, 7 – с-ни передпліччя та повороту маніпулятора (10 кг/см);





Макет маніпулятора з пультом керування	
Матеріал	Листовий алюміній
Забезпечення переміщення ланок	Сервоприводи
Вид тертя	Кочення
Основа системи керування	Мікроконтролери Arduino
Передача керуючих сигналів	Радіо
Можливі рухи	X, Y – лінійне переміщення захвату Z – обертання корпусу
МІ612.ДПБ009.00.006	