

ДНІПРОВСЬКИЙ ДЕРЖАВНИЙ АГРАРНО-ЕКОНОМІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
Інженерно-технологічний факультет
Кафедра інжинірингу технічних систем

П о я с н ю в а л ь н а з а п и с к а

до дипломного проекту
ступеня вищої освіти «Бакалавр» на тему:

**Удосконалення процесу збирання плодів овочів та фруктів у теплицях з
розробкою робота-маніпулятора**

Виконав: студент 4 курсу, групи М-2-20 за
спеціальністю 208 «Агроінженерія»

_____ Луценко Артур Владиславович

Керівник: _____ Алієв Ельчин Бахтияр огли

Рецензент: _____ Луц Павло Михайлович

Дніпро – 2024

ДНІПРОВСЬКИЙ ДЕРЖАВНИЙ АГРАРНО-ЕКОНОМІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ

Інженерно-технологічний факультет

Кафедра інжинірингу технічних систем

Ступінь вищої освіти: «Бакалавр»

Спеціальність: 208 «Агроінженерія»

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри

ІТС

(назва кафедри)

ДОЦЕНТ

(вчене звання)

Дудін В.Ю.

(підпис)

прізвище, ініціали

«06» травня 2024 р.

**ЗАВДАННЯ
НА ДИПЛОМНИЙ ПРОЄКТ СТУДЕНТУ**

Луценку Артуру Владиславовичу

(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема проєкту: Удосконалення процесу збирання плодів овочів та фруктів у теплицях з розробкою робота-маніпулятора

керівник проєкту Алієв Ельчин Бахтияр огли, д.т.н., старший дослідник

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

затверджені наказом вищого навчального закладу від

«06» травня 2024 року № 984

2. Строк подання студентом проєкту 07.06.2024 р.

3. Вихідні дані до проєкту Огляд стану питання в галузі рослинництва та існуючих засобів збирання плодів овочів та фруктів у теплицях. Патентний пошук, аналіз літературних джерел, останніх досліджень з обраної тематики.

4. Зміст розрахунково-пояснювальної записки (перелік питань, які потрібно розробити) 1. Сучасний стан проблеми і вибір напрямів досліджень. 2. Огляд існуючих конструкцій та кінематичних схем роботів-маніпуляторів.

3. Обґрунтування та розрахунок робота-маніпулятора для збирання плодів овочів та фруктів у теплицях. 4. Охорона праці та захист навколишнього середовища. 5. Техніко-економічна ефективність проєкту. Висновки та пропозиції. Література. Додатки.

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

1. План, розріз теплиці (А1). 2. Схема технологічна збирання плодів роботоманіпулятором (А1). 3. Робот-маніпулятор. Вигляд загальний (А1). 4. Стійка (А3). 5. Платформа (А3). 6. Коромисло (А3). 7. Перехідна ланка (А3). Зап'ястний суглоб (А3). 9. Нижня кришка (А3). 10. Ходова муфта права (А3). 11. Захват. Складальне креслення (А3). 12. Економічні показники (А1).

6. Консультанти розділів проєкту

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	завдання прийняв
1-5	Алієв Е.Б., професор	06.05.2024	07.06.2024
нормоконтроль	Івлєв В.В., доцент		07.06.2024

7. Дата видачі завдання: 06.05.2024 р.

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва етапів дипломного проєкту	Строк виконання етапів проєкту	Примітка
1	Аналітичний (оглядовий)	до 01.04.2024 р.	
2	Технологічний	до 15.04.2024 р.	
3	Конструкційний	до 30.04.2024 р.	
4	Охорона праці	до 10.05.2024 р.	
5	Економічний	до 22.05.2024 р.	
6	Графічна частина	до 05.06.2024 р.	

Студент

_____ Луценко А. В.
(підпис) (прізвище та ініціали)

Керівник проєкту

_____ Алієв Е. Б.
(підпис) (прізвище та ініціали)

АНОТАЦІЯ

Луценко А. В. Удосконалення процесу збирання плодів овочів та фруктів у теплицях з розробкою робота-маніпулятора / Випускна кваліфікаційна робота на здобуття освітнього ступеня «Бакалавр» за спеціальністю 208 «Агроінженерія». – ДДАЕУ, Дніпро, 2024.

Метою проєкту є підвищення ефективності технологічного процесу збирання плодів овочів та фруктів у теплицях шляхом його автоматизації з використанням розробленого робота-маніпулятора.

Досліджено поточний стан тепличного господарства в Україні, яке зіткнулося з викликами, включаючи застарілі технології та недостатнє фінансування. Проведено огляд сучасних світових технологій, які використовуються у тепличному виробництві, таких як автоматизація, гідропоніка та аеропоніка. Оцінено впровадження роботів-маніпуляторів у рослинництві, їх переваги для підвищення ефективності та точності робіт у теплицях. Представлено класифікацію роботів-маніпуляторів, використаних у різних галузях, включаючи сільське господарство. Описано основні механічні компоненти роботів-маніпуляторів, їх конструктивні особливості та принципи роботи. Розглянуто системи керування роботами-маніпуляторами, включаючи апаратне та програмне забезпечення. Розроблено конструкцію робота-маніпулятора, враховуючи специфічні вимоги до збору овочів та фруктів у теплицях. Проведено силовий розрахунок ланок робота-маніпулятора, визначено навантаження та оптимальні параметри для забезпечення надійності та ефективності роботи. Виконано кінематичний розрахунок ланок робота-маніпулятора, проаналізовано рухові характеристики та забезпечення необхідної точності і швидкості маніпуляцій. Оцінено заходи з охорони праці та захисту навколишнього середовища при експлуатації роботів-маніпуляторів у теплицях. Проведено аналіз техніко-економічної ефективності проєкту, враховуючи витрати на розробку, впровадження та експлуатацію роботів-маніпуляторів, а також очікувану економічну вигоду від підвищення продуктивності і якості продукції.

Ключові слова: овочі, фрукти, теплиця, збирання, автоматизація, робот-маніпулятор, кінематика, міцність, параметри, ефективність

Зміст

Вступ.....	7
1 Сучасний стан проблеми і вибір напрямів досліджень	9
1.1 Стан вирощування овочів та фруктів у теплицях на території України	9
1.2 Аналіз світових технологій вирощування овочів та фруктів у теплицях ...	11
1.3 Застосування роботів-маніпуляторів у рослинництві	13
1.4 Фізико-механічні та геометричні властивості овочів та фруктів	16
1.5 Агротехнічні вимоги до збирання плодів овочів та фруктів у теплицях	18
1.6 Висновки з розділу	19
2 Огляд існуючих конструкцій та кінематичних схем роботів-маніпуляторів..	20
2.1 Класифікація роботів-маніпуляторів	21
2.2 Механічні компоненти роботів-маніпуляторів	22
2.3 Системи керування роботами-маніпуляторами	25
2.4 Огляд роботів маніпуляторів	30
2.5 Висновки з розділу	33
3 Обґрунтування та розрахунок робота-маніпулятора для збирання плодів овочів та фруктів у теплицях	34
3.1 Розробка конструкції	34
3.1 Силовий розрахунок ланок робота-маніпулятора	42
3.2 Кінематичний розрахунок ланок робота-маніпулятора	57
3.3 Висновки з розділу	60
4. Охорона праці та захист навколишнього середовища	61
5 Техніко-економічна ефективність проекту	64
Висновки	66
Література	68
Додатки	72

Вступ

Технологія тепличного вирощування є дуже популярною, оскільки вона дозволяє сіяти насіння в лютому і збирати врожаї вже в квітні-травні. Крім того, теплиці створюють умови для вирощування фруктів, специфічних для відповідного регіону, що підтверджується асортиментом овочів і фруктів на полицях магазинів. Вирощування рослин на закритому ґрунті активно розвивається, насамперед впровадженням інноваційних технологій вирощування та автоматизацією виробничих процесів (наприклад, збирання).

Проведений аналіз сучасного сільського господарства дозволяє стверджувати, що усі галузі (тваринництво та рослинництво) рухаються у напрямку автоматизації виробничих процесів. У свою чергу, останнє має ряд як позитивних так і негативних сторін. До позитивних можна віднести: зменшення ручної праці, що прямо впливає на собівартість продукції, можливість відмови від хімічного захисту, підвищення годинної продуктивності, збільшення прибутків тощо. До негативних можна віднести такий фактор, як ускладнення конструкції, що часто відбивається на зниженні надійності конструкції, а також вимагає компетентних спеціалістів, яких на сьогоднішній день не так багато.

Тому актуальним напрямом досліджень є автоматизація процесу збирання плодів овочів та фруктів у теплицях шляхом застосування роботів-маніпуляторів.

Сьогодні механічні маніпулятори є основними виконавчими системами промислових роботів. Вони являють собою просторові механізми у вигляді кінематичних ланцюгів, що складаються з ланок, кінематичних пар та приводних систем, зазвичай окремих для кожного ступеня свободи. Конструкція сучасних роботів зазвичай включає функціонально подібні структурні елементи, що утворюють дві основні підсистеми: механічну (маніпулятор) та систему керування.

Маніпулятор як механічна система є керованим багатоланковим просторовим механізмом. Основними його компонентами є виконавчий пристрій, що приводить в дію робочий орган згідно із заданими законами руху, що в кінцевому результаті дозволяє виконувати необхідні технологічні операції.

Метою роботи є підвищення ефективності технологічного процесу збирання плодів овочів та фруктів у теплицях шляхом його автоматизації з використанням розробленого робота-маніпулятора.

Задачі досліджень:

- провести аналіз стану вирощування овочів та фруктів у теплицях на території України;
- провести огляд існуючих конструкцій та кінематичних схем роботів-маніпуляторів;
- обґрунтувати та провести розрахунок робота-маніпулятора для збирання плодів овочів та фруктів у теплицях;
- представити заходи з охорони праці в господарстві;
- провести оцінку економічної ефективності впровадження робота-маніпулятора для збирання плодів овочів та фруктів у теплицях .

1 СУЧАСНИЙ СТАН ПРОБЛЕМИ І ВИБІР НАПРЯМІВ ДОСЛІДЖЕНЬ

1.1 Стан вирощування овочів та фруктів у теплицях на території України

На сьогоднішній день технологія тепличного вирощування дуже поширена, адже у нас є змога посіяти насіння в лютому та збирати врожаї вже в квітні-травні або створити умови для розвитку плодів специфічних для нашої місцевості фруктів(про це нам кажуть овочі та фрукти з прилавків магазину). Користуючись інтернет-ресурсом Державна служба статистики України [1], було проведено збір аналітичної інформації в період з 2019 року по 2023 рік. Узагальнені дані наведені на рис. 1.1–1.2.



Рисунок 1.1 – Гістограма площі під закритий ґрунт в Україні

Провівши аналіз, бачимо що після повномасштабного вторгнення у 2022 маємо стрімкий спад виробництва продукції майже вдвічі у порівнянні із часом до подій 2022 року.



Рисунок 1.2 – Гістограма обробленої площі та зібраного врожаю

Це пов'язано із тим, що території України, на яких відбувалися/відбуваються бойові дії, не доцільно використовувати для цього; також варто підкреслити, що багато чоловічої половини населення забрали саме із сіл, тож брак людей, які буду доглядати за теплицями. Переглянемо, які позиції овочів зросли/впали у вирощуванні з 2022-2023 рік.

Фермери виростили 2583,3 тисяч центнер плодкових овочів(менше на 2,9 %, ніж у 2022, проте слід зауважити, що площа також зменшилась).Основною культурою були помідори, обсяг яких склав 1423,9 тисяч центнер (+1,2 %), потім огірки(корнішони) –1068,8 тисяч центнер (-7,3 %), далі солодкий перець – 38,1 тисяч центнер (+11 %), далі цибулеві(ріпчаста цибуля, часник, порей) – 14 тисяч центнер (-8,5 %), але також зменшилась і площі зрошування цибулевих культур на 17,5 %.

Підбиваючи підсумок, можна сказати, що незважаючи на війну фермери намагаються підвищити врожаї й надалі розвивати напрямок вирощування культур на закритому ґрунті. Підкріпити ці слова можна постом на фейсбуці від компанії T-Lynx Haysgrove Ukraine, що заявила про впровадження технології

вирощування черешні на закритому ґрунті. У Хмельницькій області Миньковецького району побудували теплицю площею 240 м².

1.2 Аналіз світових технологій вирощування овочів та фруктів у теплицях

На сьогодні вирощування рослин на закритому ґрунті активно розвивається, насамперед впровадженням інноваційних технологій вирощування та автоматизацією виробничих процесів (наприклад, збирання). Розглянемо останні з них.

Малооб'ємна технологія (рис 1.3). Сенс полягає у тому, що рослини вирощуються не на ґрунті в цілому, а в окремих «коробках», які заповненні спеціальним субстратом, наприклад торф'яним.



Рисунок 1.3 – Малооб'ємна технологія

Вертикальне овочівництво (рис. 1.4). Суть полягає в тому, щоб отримати більший врожай на меншій площі, рослини ростуть у спеціальних контейнерах, які нагадують шафу з полицями. Це дозволяє збільшити коефіцієнт корисного використання площі, але зібрати більший врожай.

Разом з цим юзають такі прийоми:

Аeropоніка (рис. 1.5). Вирощування рослин на підвішених поверхні у горщиках. Подача речовин для росту відбувається через спеціальну систему розбризкування води в стані туману. Рослини ростуть без ґрунту.



Рисунок 1.4 – Вертикальне овочівництво

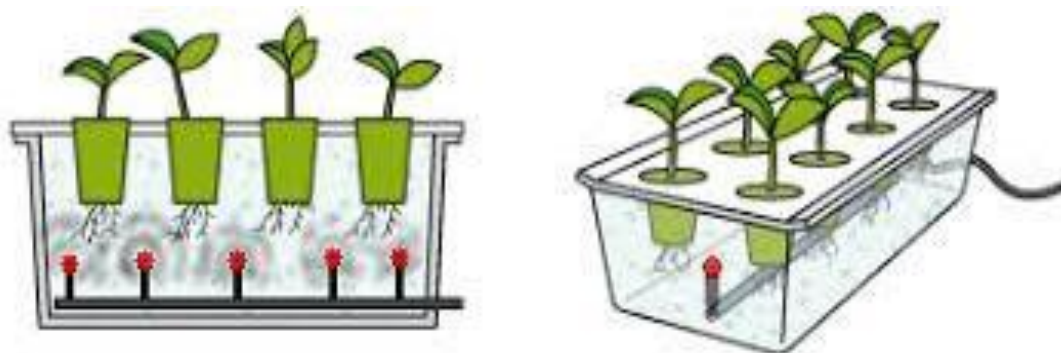


Рисунок 1.5 – Aeropоніка

Гідропоніка (рис. 1.6). Принцип схожий до aeropоніки, але рідина не розпилюється туманом, а просто є заповнена ванна.

Також ці всі технології об'єднуються у вертикальні ферми, жорсткі конструкції, які дають змогу вирощувати рослини на висоті в декілька метрів. Для цього треба мати високу теплицю, спеціальні драбини або маніпулятори, які дозволяють автоматизувати процес збирання врожаю.

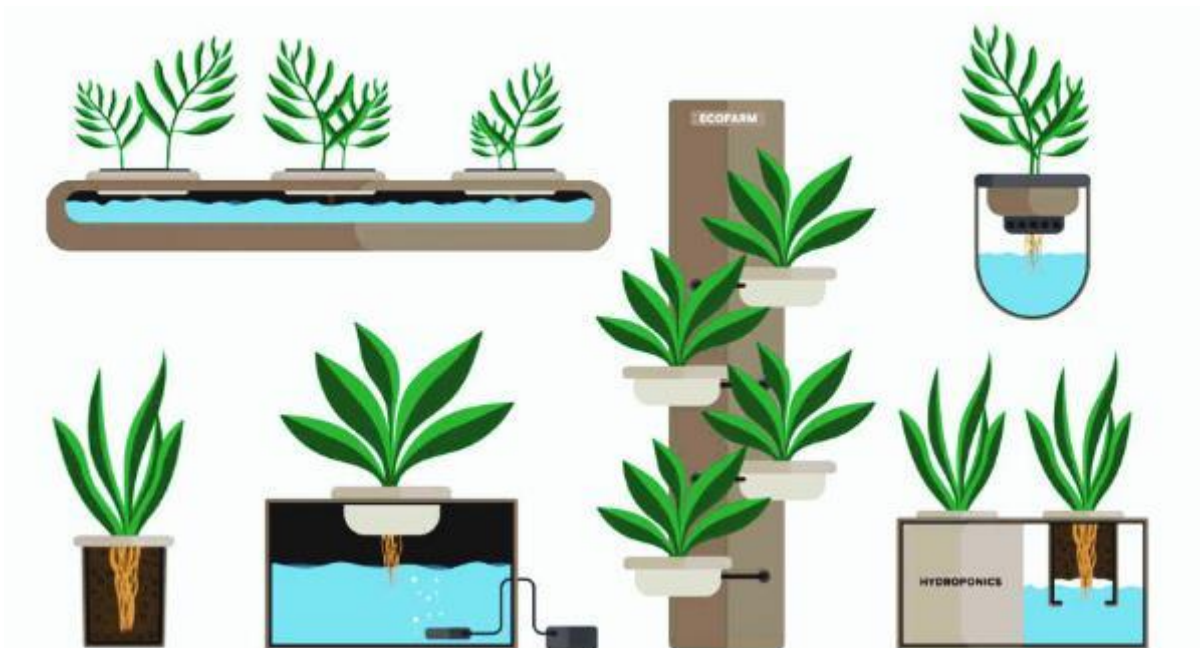


Рисунок 1.6 – Гідропоніка



а



б

Рисунок 1.7 – Вертикальна ферма (а) і Вертикальна ферма із технологією аеропоніка (б)

1.3 Застосування роботів-маніпуляторів у рослинництві

Розробкою роботів займається наука – робототехніка. Як і в кожній науці вона має свої певні правила або принципи:

- функції та задачі, які покладаються на робота повинні виконуватися швидше та якісніше за працю людини;

- цілісна система: продукція, технологія виготовлення, робоче та допоміжне обладнання, персонал, системи керування та обслуговування;
- актуальність роботизації в тій чи іншій галузі.

Робот, як виконавчий механізм, повинен мати функціональну, фізичну та інтелектуальну властивість для виконання покладених на нього задач (імітація людини).

Розглянемо характерні ознаки робота:

- уніфікація операцій, які виконує робот;
- автомат, тобто без втручання оператора;
- автономне виконання задач за прописаним кодом;
- пристосованість до зовнішніх збурюючих факторів.

Розглянемо робота “RoboTrac” (рис. 1.8), якого виготовив естонський дизайнер Ханнес Зеєбер, який призначений для традиційного обробки ґрунту, прополювання, саджання та обприскування рослин. Робот краще від трактора, бо він має малі розміри і вагу, тобто не травмує рослини, витрачає менше енергії на приведення в рух робочих органів та самопересування, не ущільнює ґрунт та не викликає повітряну ерозію через перетирання частинок ґрунту, працює автономно, не потребує оплати і може за будь-яких погодних умов перевірити на стиглість та зібрати врожай.

У Каліфорнії компанією “Vision Robotics” був створений робот для збирання апельсинів (рис. 1.9). Робот збирає інформацію через стереоскопічні камери, виявляє стиглі апельсини та збирає їх. Процес відбувається наступним чином: аналізуючи перед собою простір він створює тривимірне зображення дерева, потім ця інформація від датчиків йде на порівняльній пристрій, який порівнює вхідну інформацію з датчика і потрібну із задатчиком, тоді опрацьований сигнал йде на мікросхему, яка подає команду на регулювальний орган, який керує робочим/виконавчим органом, м’якими збирачами. Дана модель складається із двох технологічних модулів: один – це система бачення, а інший це безпосередньо захоплювачі.



Рисунок 1.8 – Робот “RoboTrac”



Рисунок 1.9 – Робот для збирання апельсинів

Також компанія анонсувала експериментальний зразок робота для обрізання виноградної лози, продуктивність якого на 40-45% більша за людську працю (рис 1.10). Тестувався робот під мрячку і на невеликих пагорбах. Робот працює так: стереоскопічні камери сканують з частотою оновлення кадрів 15 Гц, увесь виноград по ходу руху робота на довжину ножиць для обрізки. Як стверджує компанія, зразок потребує вдосконалення в плані пристосування до рельєфу ґрунту, адаптації до різного виду лози, а також спростити обслуговування робота.



Рисунок 1.10 – Робот для обрізування винограду

Розглянувши ці автономні машини із штучним інтелектом не складно зрозуміти, що це є заслугою такої дисципліни, як мехатроніка, яка поєднує в собі механічну та електронну складові в єдине ціле.

1.4 Фізико-механічні та геометричні властивості овочів та фруктів

Міцність оболонки овочів та фруктів та вплив на їх м'якість стисканням. Оцінюють ці параметри через опір, який чинять плоди при здавлюванні. Інженери, звикли, що механічна властивість міцність має механічні характеристики такі як: границя пропорційності, границя пружності, границя текучості та границя витривалості. Для деформівних матеріалів саме границя витривалості є граничним навантаженням, адже вони мають запас міцності, яка в поєднанні з певним запасом твердості(іншої механічної характеристики) для протидії навантаженням. Крихкі (недеформівні матеріали) мають іншу природу: в силу своєї особливості, мають граничну міцність саме в межах границі текучості, адже погано протидіють розтягу, набагато краще стиск(границя пружності). У біологічних продуктів інша природа деформації: ми повинні працювати в такі межах напружень, які не травмують плід (як оболонку так і м'яку складову), тому що це запускає процес гниття, і наш потенційний товар

псується, тим самим не окупаючи затрати на закупівлю, вирощування, збирання та логістичні операції.

В лабораторіях були розроблені прилади для перевірки твердості та міцності плодів, шляхом вдавлення кульки діаметром 4 мм через плунжер. В середньому тиск менше ніж 0,4 МПа небезпечний. Це зусилля визнане несучою здатністю плодів. Напруження, при якому продавлюється м'яка складова структури плода складає 0,5-0,7 від напруження проколювання шкурки плода. Ну і, як було зазначено вище, якщо травмуємо м'яку структуру плоду, навіть коли оболонка залишилась цілою, все одно запускаються процеси гниття при подальшому зберіганні продуктів. Отже, напруження стиску, яким ми тиснемо на плід повинне бути менше на 30-50 % від того, що ми вказали вище.

Розглядати будемо овочі та фрукти, які вирощують в теплицях. Нормальне зусилля для яблук, наприклад, коли вони лежать і тиснуть одне на одне приблизно становить 8 Н, а зусилля площі тисне на поверхню яблука приблизно 10 Н. Твердість оболонки зелених томатів становить 0,2-0,7 мПа, а стиглих – 1-1,6 мПа. Сила, яка роздавлює стиглий томат становить 20-40 Н. Твердість оболонки огірків та корнішонів – 1,5-3 мПа, черешні – 0,1-0,8 мПа, кавунів 6-8 мПа. Також важливу роль відіграє висота падіння плодів, адже вони також травмуються(деформуються) при великому значенні сили тяжіння, бо чим довше тіло падає, тим більшого прискорення, а відповідно і значення відцентрової сили(зростання кінетичної енергії), яка вплине на силу контакту плоду і поверхонь (кінетична енергія перетвориться в потенціальну і перейде від плоду до іншого тіла). Так працює закон збереження енергії. Тож, для кожного плоду овочів та фруктів є гранично-допустима висота падіння. Для зелено-бурих томатів це 0,25 м, для чтиглих- 0,1-0,15 м, для перцю 0,8-0,9 м, для кавунів 0,05-0,15 м, для огірків – 0,2-0,3 м. Ці значення взяті для ґрунтового покриття.

Висота падіння яблук на жорстку поверхню становить 0,03-0,04 м(дернина під деревом), 0,2-0,4 м при падінні на гумове покриття, 1-1,2 м при падіння на натягнуте полотно.

Також важливим фактором при збиранні плодів є міцність плодоніжки на відрив від гілки або плоду. Саме від нього залежить технологія збирання та вибір техніки.

Емпіричними дослідженнями було встановлено, що в середньому зусилля відриву для яблук становить 6-35 Н, черешень 0,5-6,8 Н. Щоб оцінити зв'язки плодоніжки з плодом або гілкою використовували такі методи, як статистичний та динамічний. При першому визначають силу, необхідно достатню для руйнування цих зв'язків, а другий визначає кількість роботи, яка витрачена на цю руйнацію.

Об'єктом збирання у нашому випадку є яблуня, тож перейдемо від загальних властивостей до більш конкретних.

Форма плодів. Яблука мають кулеподібну та не так часто еліпсоподібну форму, діаметром 50-100 мм. Як нам відомо, працювати в геометричним місцем точок дуже зручно, адже воно має чітко виражений контур, та яку певну специфічну властивість.

Ізотропність. Яблуко є плодом однорідним за структурою, тому його властивості в усіх напрямках є однаковими.

Фрикційні властивості. За рахунок кулеподібної форми та гладкої шкіри має низький коефіцієнт тертя ковзання і тертя кочення. Тертя ковзання по сталі для яблук становить 0,36-0,44, по дереву – 0,38-0,48.

1.5 Агротехнічні вимоги до збирання плодів овочів та фруктів у теплицях

1. Плоди збирають чітко в зазначені терміни з мінімальними пошкодженнями та втратами. Це забезпечить високі смакові властивості та більш довготривале зберігання.

2. Робочі органи не повинні травмувати плоди, повинні бути в належному та справному стані.

3. Не допускається застосування двигунів внутрішнього згорання в середині теплиці, бо шкідливі пари пригнічують розвиток культурних рослин.
4. Забезпечити належні умови зберігання (місце, клімат, фото активна радіація, вологість повітря тощо)
5. Обробка після або під час збирання овочів/фруктів (видалення плодоніжки, листя, стебла, обприскування) для подовження термінів зберігання
6. Не кидати зірваний плід з висоти більше, ніж зазначено в допустимих нормах для відсутності травмування і запусків процесі гниття.

1.6 Висновки до розділу

1. Овочівництво та вирощування фруктів на закритому ґрунті дає змогу більш підконтрольно та ефективно отримувати великі врожаї з малих площ, через автоматичне регулювання мікроклімату, який найбільше впливає на розвиток культурної рослини та застосування різних сучасних технологій. Тому ця тема є актуальною на сьогодні.

2. Роботи, які наділені штучним інтелектом, не тільки імітують працю людини, а й виконують її якісніше та продуктивніше, при цьому не травмуючи ґрунт ущільненням та різними видами ерозії.

3. Щоб вдало сконструювати машину необхідно зважати на агротехнічні вимоги, фізико-механічні властивості плодів, які збирають та на принципи робототехніки та мехатроніки.

2 ОГЛЯД ІСНУЮЧИХ КОНСТРУКЦІЙ ТА КІНЕМАТИЧНИХ СХЕМ РОБОТІВ-МАНІПУЛЯТОРІВ

2.1 Класифікація роботів-маніпуляторів

Застосування роботів маніпуляторі виходить за рамки промисловості та сільського господарства. В наш час вони широко застосовуються і в побуті. Мебельний ряд маніпуляторів нараховує більше 100 позицій в різних галузях. Компанії розширюють портфоліо зосереджуючись на програмному забезпеченні.

Як і в будь-якої техніки, у роботів є свої показники, за якими розрізняють його конструктивні особливості. Класифікують роботів за: привод робота; максимальна вантажопід'ємність; показники зони дії робота та її конфігурації; число маніпуляторів; стаціонарний чи мобільний, схема монтажу; призначення; швидкість і точність виконання роботи.

1. Види приводу: електричні; гідравлічні; пневматичні. Дані види приводів ставляють як на маніпулятор(робочий орган робота), так і на ходову складову (шасі).Відповідно, найбільш поширений привід для шасі-електричний привід, адже він простий, малогабаритний та генерує достатню кількість енергії для пересування. На маніпулятор, залежно від задач на нього покладені, ставляють різні види приводів, які забезпечать необхідні зусилля(наприклад, де потрібні великі зусилля- там застосовують гідропривід).

2. Максимальна вантажопід'ємність – це параметр, який відноситься до робочих органів робота-маніпуляторів у першу чергу, і в другу до його ходової частини, якщо наш робот виконує транспортні роботи. Варіюються від кількох грам до кількох тон.

3. Показники зони дії робота та її конфігурації-зона, в якій може перебувати маніпулятор при максимальному відхиленні усіх його ланок НЕ переміщуючись на шасі. Положення ланок визначається через дво- або тривимірну систему координат(залежно від конструкції робота)+ кількість

ступенів вільності системи тіл.

4. Число маніпуляторів. Здебільшого, це всього один, інколи від двох до чотирьох робочих органів(залежно від призначення). Часто виконуються як один основний, а другий допоміжний.

5. Стаціонарний чи мобільний, схема монтажу. Стаціонарний – це той, що не рухомий, шасі відсутні, мобільні ж навпаки-мають певний тип шасі (колеса, гусеничний рушій) або інші види залежно від умов навколишнього середовища. Ще не до кінця вивчений є крокуючий рушій, який імітує людину. Залежно від схеми монтажу бувають: підлогові, рейкові або начіпні(верстатні)

6. За призначенням роботів розрізняють за умовами, в яких перебуває робот: нормальні; гідрозахист; теплозахист; вибухонебезпечні умови.

7. За швидкістю та точністю виконання роботи розподіляють на три режиму роботи маніпулятора: низька – до 0,5 м/с; нормальна – від 0,5 до 1,5 м/с; велика – від 1,5 і вище.

Із зростанням швидкості падає точність, а отже й продуктивність-виконання корисної роботи за одиницю часу. Характеризується точність погрішністю позиціонування сигналу. Межі точності: низька – 1 мм і т.д.; нормальна – від 1/10–1 мм; мінімальна – до 1/10 мм.

Конструкція сучасних роботів зазвичай включає низку функціонально подібних структурних елементів (рис. 2.1), які утворюють дві основні підсистеми: механічну (маніпулятор) та систему керування.

Маніпулятор як механічна система являє собою керований багатоланковий просторовий механізм. Основними його компонентами є виконавчий пристрій, який приводить у дію робочий орган відповідно до заданих законів руху, що зрештою дозволяє виконувати необхідні технологічні операції.

До структури виконавчого механізму входять ланки, що з'єднані між собою поступальними, обертальними, циліндричними, сферичними та іншими типами кінематичних пар, комбінування яких дозволяє забезпечити потрібний для виконання поставлених завдань ступінь вільності.

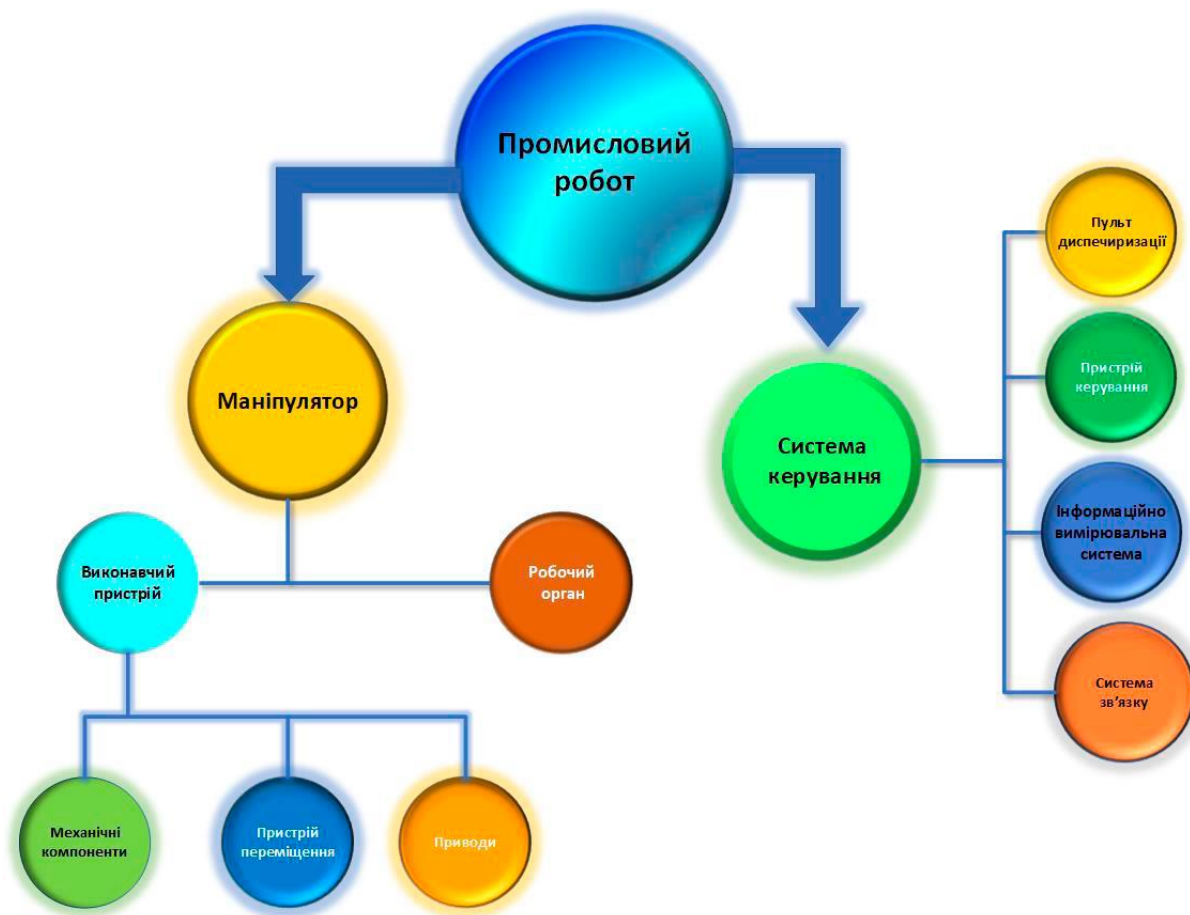


Рисунок 2.1 – Структурна схема робота-маніпулятора

Переміщення виконавчого пристрою здійснюється із використанням приводів, що об'єднані за допомогою механічних компонентів в цілісну систему та забезпечують мобільність мехатронної системи в цілому.

2.2 Механічні компоненти роботів-маніпуляторів

Робочим органом маніпулятивних роботів є маніпулятор. Складаються маніпулятори із ланок, і в залежності від призначення та конструктивних особливостей розподіляються на пласкі та просторові механізми, тобто такі, що діють в одній площині (2 координати для кінематичного розрахунку) та 3 площини (три координати). Ланки механізму, як нам відомо з теорії машин і механізмів, утворюють кінематичні пари (вищі та нижчі) і мають певне число ступенів вільності, залежно від кількості в'язей та можливих кутових та лінійних

(поступальних) відносних рухів.

Кількість ступенів вільності бувають орієнтовні та переносні. Орієнтовні орієнтують положення ланок механізму відносно кутових переміщень, а переносні необхідні для руху захвату маніпулятора (його робочого органу) в межах зони роботи маніпулятора. Щоб був просторовий вид механізму, маємо мінімум 3 переносних ступеня вільності. Як відомо, чим більше ступенів вільності має механізм, тим більше видів руху він може виконати, що необхідно для забезпечення виконання безперешкодної роботи. Новітні механізми мають від 4-6 ступенів, а деякі, які працюють в складних умовах – 8.

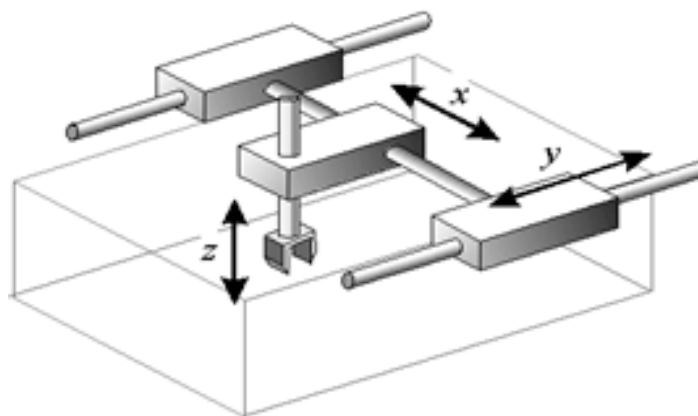


Рисунок 2.2 – Маніпулятор виражений прямокутною системою із трьома ступенями вільності (лінійні переміщення)

Маємо прямокутну систему координат, тому що переміщення, які виконує маніпулятор – лінійні, а робоча зона виглядає у формі паралелепіпеда. Дана система координат вважається найпростішою для програмування, бо відпадає необхідність переходу з однієї системи координат в іншу.

Про орієнтуючі ступені вільності, для нормальної просторової роботи механізму, максимальна їх кількість рівна трьом.

У циліндричній системі координат присутній один кутовий рух, решта-поступальні, тож робоча зона окреслена циліндричною площиною.

Наступний вид маніпулятора – сферичний.

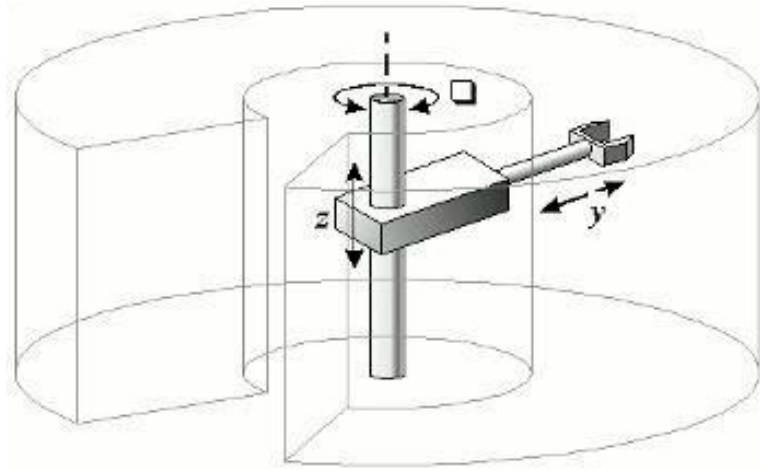


Рисунок 2.3 – Маніпулятор виражений циліндричною системою

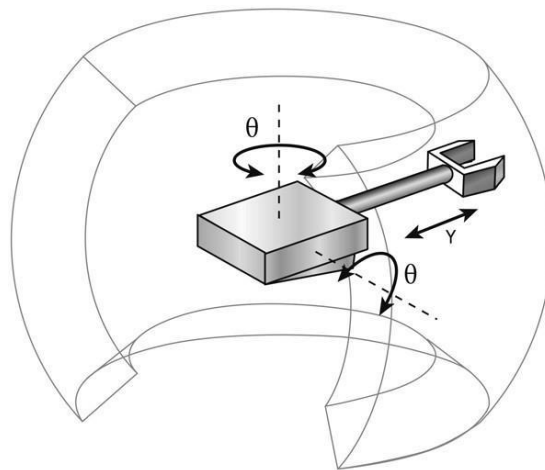


Рисунок 2.4 – Маніпулятор виражений сферичною системою

Мають таку перевагу, як компактність, але недоліком є складність, через більшу кількість рухів і відповідно зменшення надійності через ускладнення конструкції.

І останній простий вид маніпулятора (з точки зору теорії машин і механізмів) це такий, що виражений через кутіву систему координат.

Цей вид маніпуляторів вважається найкомпактнішим через те, що усі з'єднання є шарнірними, і коли він складеться, то він не виступає за стійку. Такі називають ще антропоморфними через подібність до людської кінцівки.

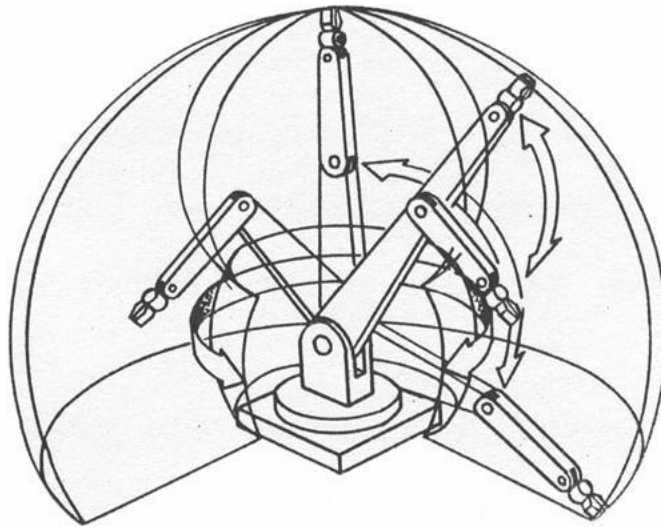


Рисунок 2.5 – Маніпулятор виражений через кутову систему

2.3 Системи керування роботами-маніпуляторами

Загалом виділяють три системи керування: шасі, робочій орган (маніпулятор) та сукупність роботів (якщо їх декілька і вони пов'язані між собою алгоритмом технологічного процесу).

Класифікують за:

А) Учасстю людини:

- керовані вручну;
- не повністю виключають роль людини-автоматизовані;
- без впливу людини-автоматичні.

Б) За видом алгоритму повністю автоматичного керування:

- інтелектуальне;
- адаптивне;
- програмне.

В) Рухи систем керування розрізняють за:

- безперервної дії(по замкненому контурі);
- позиційні(дискретного типу, від позиції до позиції);
- циклічні(дискретного типу, рухаються однаково по кожній координаті).

Г) Керовані аргументи прописаних функцій розрізняють за видом:

- позиція (орієнтація в просторі);
- рух(швидкість тіла);
- зусилля.

З вище перерахованого хотілось би відзначити, що дискретне керування окремими ступенями вільності є найпростішим у виконанні, особливо, якщо прописувати функції для початкової та кінцевої координати.

Далі предметно поговоримо про системи датчиків зусилля та зорову систему роботів.

1) Система датчиків зусиль. При русі захвату важливим є те, щоб ліва та права частина клешні були паралельні під час всього руху, це дає змогу дізнатися істинні значення зусиль та крутних моментів. Залежно від конструктивного виконання, датчики, які сприймають зусилля дотику можуть знаходитись на робочій поверхні клешні або в самій клешні. На з'днанні клешні та кривошипа також вмонтований датчик, який сприймає сили в трьох координатах та крутні моменти.

2) Система “зорових” датчиків. Вхідною ланкою цієї системи є звичайна камера, яка має передатчик, який сприймає та передає вхідний сигнал(зображення) на формулятор самої картинки навколишнього середовища. Процес такий: вхідні сигнали квантуються і перекодовуються в цифровий код, які вже може обробити програмне забезпечення. Так робот розпізнає відсканованні об'єкти.

Способів розпізнавання вхідного сигналу є чимало, як простих, так і складних.

Найпростіші базуються на описі параметрів відсканованих об'єктів(довжина, ширина, висота, площа, кількість отворів, радіус, кут, координати тощо). Далі всі ці параметри об'єднуються у так звані показники форми тіл. Таке роблять для зображень які схожі на прості фігури, а для складних фігур потрібно створити певні шаблони, з якими потім будуть порівнюватись вхідні сигнали і прийматись по заданому алгоритму на інтегральній мікросхемі

рішення. Сутність шаблонів полягає у нормалізації вихідної картини за розмірами, а потім виконати певні процеси, які забезпечать накладання центру ваги та векторів вісей симетрії (головні, центральні). Вісь інерції повинна розміщуватись перпендикулярно.

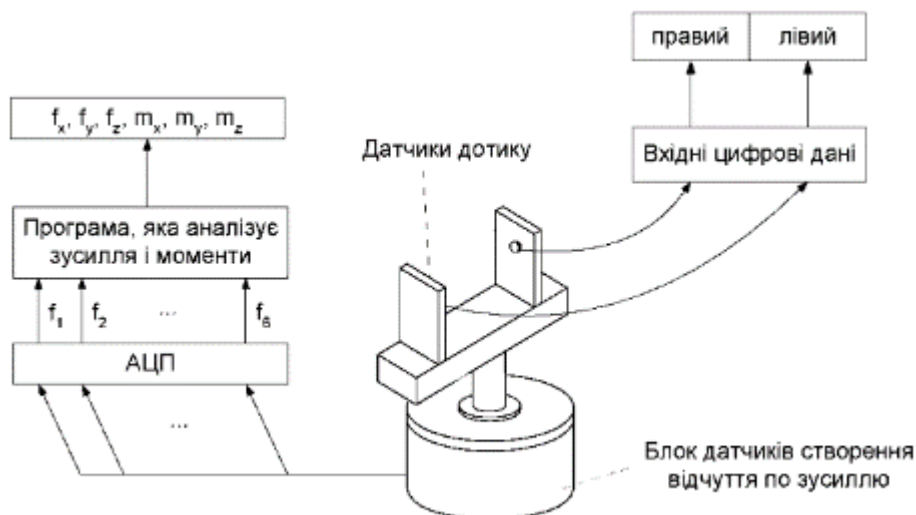


Рисунок 2.6 – Принцип дії сприйняття зусиль.

Також пару слів про лінійні відстані від робота до об'єктів. Вимірюють її не лише камерою, адже вона бачить двомірне зображення, а й за допомогою лазера. Тобто, в сукупності із камерою працює пристрій, який сканує місцевість через оптичні закони фізики, а саме кут відбиття променя світла через дзеркала, які вбудовані в цей сканер, що дає змогу відправити лазер до заданого об'єкта. Камера ж обчисляє координати центру плями від лазера на об'єкті, яка вже передає дані про ці координати та кути нахилу дзеркал і комп'ютер обчисляє відстань.

Адаптивне керування. На відміну від минулого способу керування роботом, де програмістам зазделегідь відомо все про навколишнє середовище та про стан робота, адаптивне керування роботом використовується там, де навколишнє середовище навколо робота постійно змінюється через технологічний процес або якісь збурюючі фактори, які діють випадково. Поширені випадки:

- захоплення об'єкта який рухається зі змінною швидкістю(дує вітер, рухається стрічка транспортера, і т.д.)
- рух по не стандартній місцевості, на якій можуть траплятись перешкоди, які треба буде оминати;
- операція зварювання, де потрібно вести електрод чітко по спеціально обробленій канавці, зверху-вниз, справа-наліво і т.д.
- операція свердління, де треба “зрозуміти”, на яку глибину просвердлений отвір.

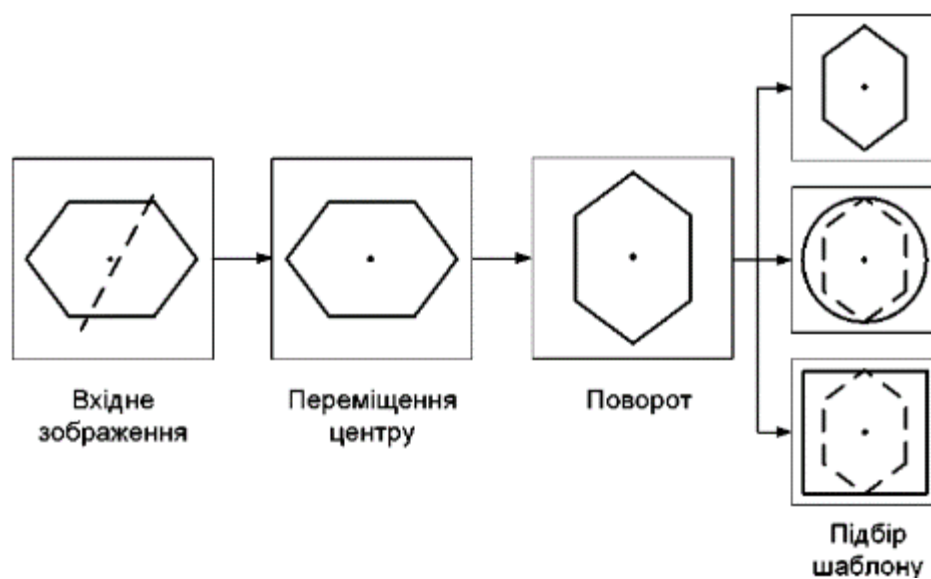


Рисунок 2.7 – Процес підбору шаблону по вихідному зображенню

Це називається адаптація, тобто пристосування до змін. У таких роботах особливо повинно бути налагоджена система прийняття вхідних даних, її обробка і подальше прийняття рішень під тут чи іншу не “шаблонну” ситуацію. Це ускладнює програмування робота, але він стає більш універсальним та функціональним, бо розширюється спектр умов, в яких він працює.

Варіації випадків адаптивного керування:

- керування виключно залежно від вхідної інформації, яку сприймають датчики, без “шаблону”;
- ребілд одного з алгоритмів робота, на випадок зміни стандартного навколишнього середовища.

- перемикання між готовими алгоритмами для різних датчиків “зору”.
- адаптивне керування є додатковою утилітою для шаблонного керування.

Підсумовуючі сказане вище, керують приводами механізму як за допомогою програмного керування, так само й прямо впливаючи на них або взагалі одночасно (рис. 2.8)

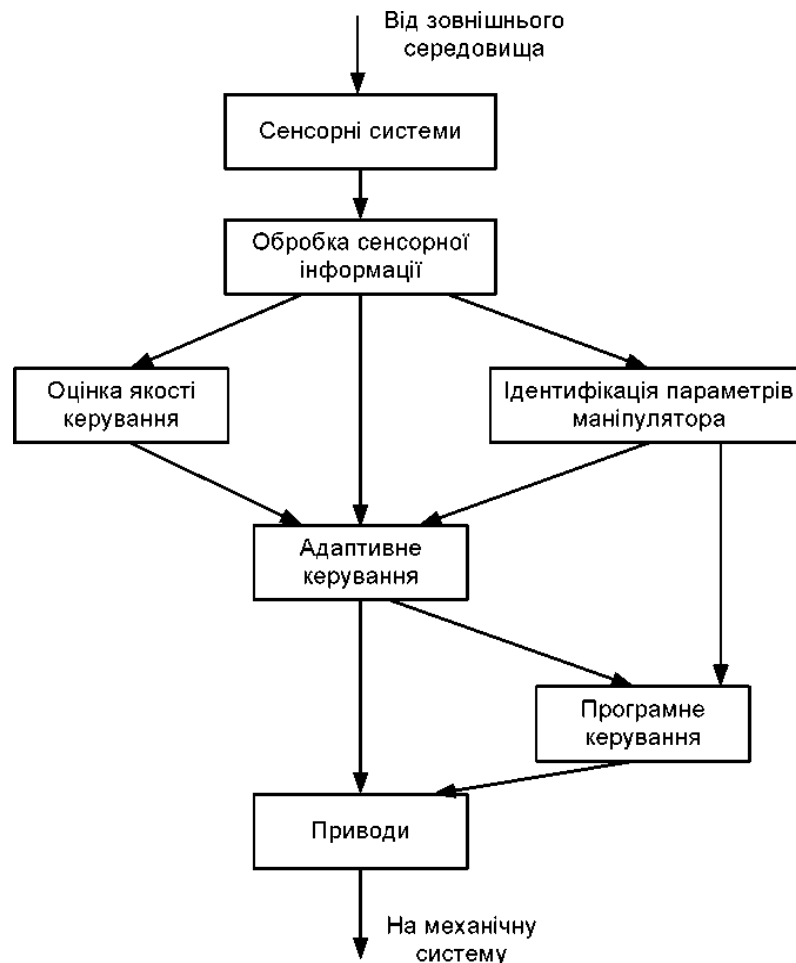


Рисунок 2.8 – Загальна схема керування робочим органом робота

У випадку “Одночасно” адаптивне керування виконує такі функції:

- Оцінка якості роботи маніпулятора, щоб зменшити похибку, підвищити точність виконання роботи та підтримувати сталий режим роботи для підтримки високої якості роботи;
- Контроль відхилення поточної роботи від шаблонної;
- Визначення стану навколишнього середовища або визначення місця

розташування робочого органу маніпулятора відносно предметів з якими він взаємодіє, або від сили з якою робочий орган діє на предмет.

Розглянемо останню функцію. Унікальність керування залежно від прикладеного навантаження полягає в тому, що наявна сукупність алгоритму логічних команд разом із командами для руху маніпулятора.

Для здійснення цих функцій робот оснащений спеціальними оптичними датчиками(часто на самому маніпуляторі), які сканують зону пошуку на наявність об'єктів збору, а також між клешнями встановлюють датчик наявності предмету. Тоді навколишнє середовище піддається скануванню. Клешня в просторі розміщується кінцями “пальців” ортогонально до зони роботи. Коли об'єкт знайдений, то робочий орган займає положення в просторі так, щоб відстань від центра об'єкта до площин “пальців” була однаковою. Коли фотоелектричний датчик перекривається, то на мікросхему приходить сигнал, що об'єкт в зоні захвату. У випадку провалу, операції проводяться заново.

2.4 Огляд роботів маніпуляторів

На сьогодні відомо багато роботів різного призначення. Найбільш уніфікована схема, яка відображає ці результати досліджень виглядає наступним чином.

Мобільні роботи переміщуються в просторі за допомогою спеціальних шасі. Наприклад, на твердій поверхні рушіями роботів є колеса, гусениці, повзуни, або крокуючі шасі, у повітряному просторі використовуються гелікоптери або літаки, а у водяному просторі є роботи, які працюють над водою або під водою.

Маніпуляційні роботи. Їх використовують з другої половини 20-го століття. Це стаціонарні машини, які здійснюють лише відносний рух робочого органу відносно верстата через лінійні або кутові переміщення. Дуже поширені на виробництвах промислового типу, де виконується великий обсяг однозадачних робіт. Часто в літературі можна зустріти назву ”робот

промисловий”. Різняться роботи такого типу системою координат, в якій він працює.



Рисунок 2.9 – Класифікація роботів по типу механічної частини

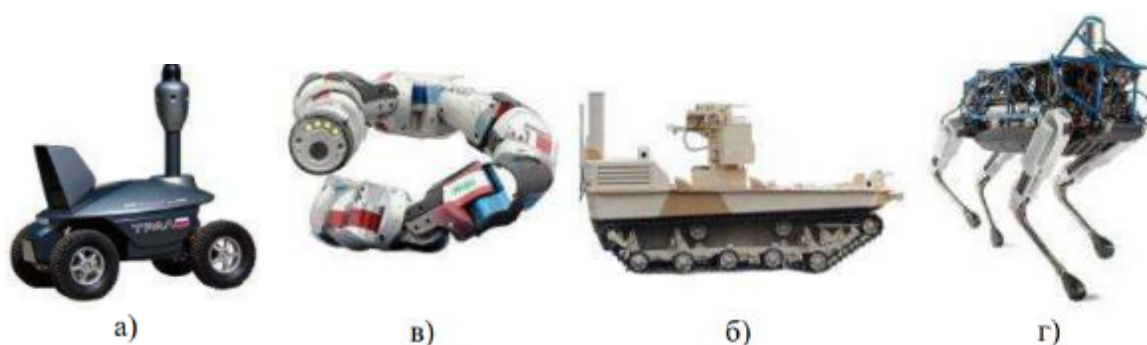


Рисунок 2.10 – Наземні роботи:

а – колісні; б – гусеничні; в – повзаючі; г – крокуючі

Мобільні маніпуляційні роботи. Це ті ж самі маніпуляційні роботи, але котрі мають свою власну ходову систему і можуть орієнтуватись в просторі. У

цих роботів є більша ступінь вільності, що дає більше можливостей для виконання складних рухів та поставлених задач. Такі роботи є найскладнішими, бо поєднують в собі декілька пов'язаних між собою систем: зір, рух машини, рух маніпулятора, але водночас є найбільш технологічними та автоматизованими одиницями.

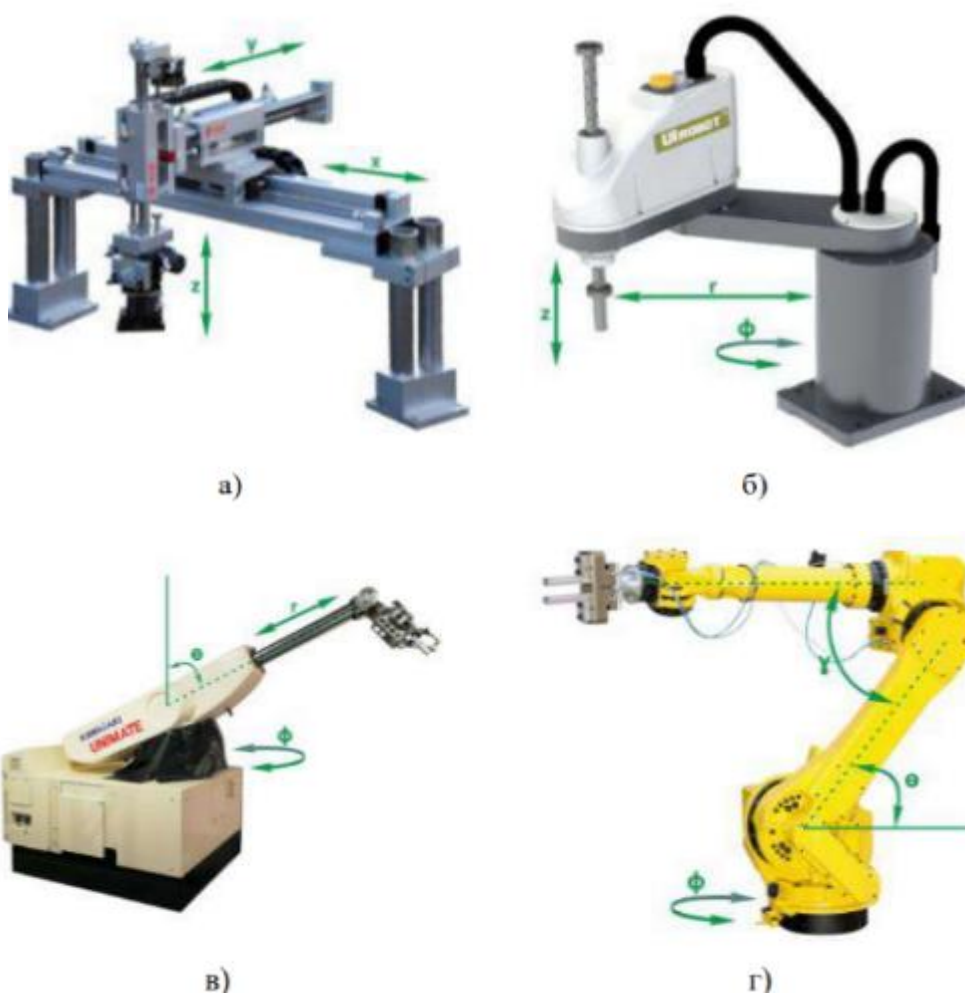


Рисунок 2.11 – Стаціонарні роботи маніпулятори: а – прямокутна система координат; б – циліндрична система координат; в – сферична система координат; г – кутова система координат



Рисунок 2.12 – Мобільні роботи маніпулятори ROBOTNIK AUTOMATION:
а – RB-VULCANO; б – XL-GEN; в – FETCH

2.5 Висновки з розділу

1. Проектований робот- маніпулятор має електричний привід; максимальна вантажопід'ємність маніпулятора обмежується максимальною вагою яблука ($0,3 \text{ кг} = 3 \text{ Н}$). Робоча зона робота обмежується кутовою системою координат; число маніпуляторів – 1. Є мобільним; працює в нормальних умовах. Має збалансовану швидкість та точність роботи, інакше кажучи, нормальні.

2. Робот буде працювати у кутовій системі координат, тож матиме 3 орієнтовних ступені вільності та n-переносних.

3. Проектований робот планується автоматичним; за видом алгоритму адаптивним, на випадок, якщо яблука вже опадуть, і їх треба буде підняти, оглянути на наявність дефектів або яблуко буде лежати на технологічній лінії і його треба буде об'їхати; рух систем керування буде позиційним, щоб робот міг виконувати певні дискретні задачі від позиції до позиції.

3 ОБҐРУНТУВАННЯ ТА РОЗРАХУНОК РОБОТА-МАНІПУЛЯТОРА ДЛЯ ЗБИРАННЯ ПЛЮДІВ ОВОЧІВ ТА ФРУКТІВ У ТЕПЛИЦЯХ

3.1 Розробка конструкції

Розробляючи конструкцію маніпулятора, як зазначалося вище, будемо керуватися фізико-механічними та геометричними властивостями яблук та яблуневих дерев. Щоб спроектувати тривимірну модель робота-маніпулятора скористаємось автоматизованою системою проектування (АСП).

Використаємо CAD-систему середнього класу SolidWorks для 3D-проекування маніпулятора та його CAE-компонент SolidWorks Simulation для визначення напруг в спроектованих деталях.

Перший пункт розробки – це проектування 3D-моделі маніпулятора. Почнемо зі стійки, яка вважається 0 ланкою, до якої кріпляться наступні ланки механізму.

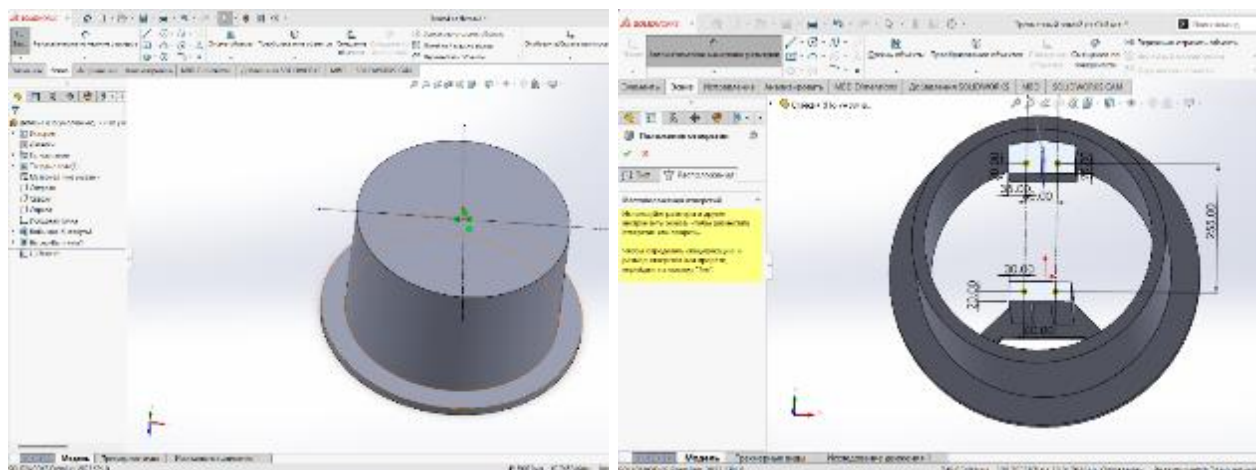


Рисунок 3.1 – Моделювання стійки маніпулятора

Так як маніпулятор буде мати обертову платформу над стійкою, то для цього було спроектовано спеціальні опори під сервопривід, які будуть перевірені на міцність через SolidWorks Simulation, а також зроблено отвори під метиси

кріплення сервопривода. Дані опори були побудовані за геометричними параметрами серводвигуна, щоб його ротор був чітко по центру, щоб уникнути ексцентриситету. Додаємо технологічний отвір для виведення проводів серводвигуна, а також отвори кріплення стійки.

Далі на стійку кріпиться платформа. Діаметр платформи обираємо таким самим як і для стійки – 245 мм. Тоді відступаємо від центру платформи на 10 мм і робимо виступ, до якого буде кріпитися серводвигун, геометричні розміри якого ідентичні до того, що буде обертати кришку відносно стійки. Щоб зробити компактним та зекономити матеріал і, відповідно, кошти його постави по діагоналі, а решту заокруглимо для зменшення внутрішніх напружень та більш естетичний вид. Далі виконуємо заглиблення та отвір для виводу вала серводвигуна.

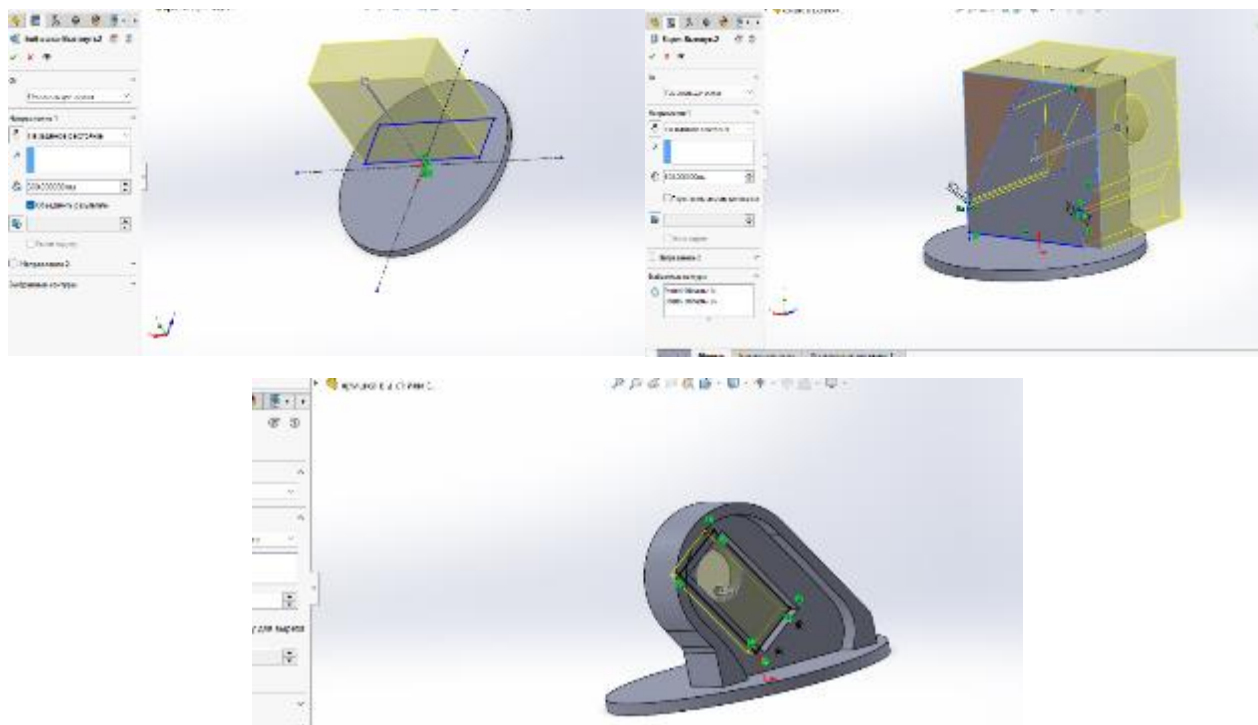


Рисунок 3.2 – Моделювання платформи маніпулятора

Умовний “плечовий суглоб” готовий. Далі йде ланка, яка імітує кістку від плеча до ліктя, коромисло. Виконуємо ескіз у вигляді кістки, товщина якого береться згодом в силовому розрахунку, як і решта параметрів моделі.

Наступна деталь являє собою імітацію руки від ліктя до зап’ястя, тому щоб

надати руху повороту руки навколо ліктя та окремо відносно осі зап'ястя, розіб'ємо цю ланку на декілька частин. Першою моделюємо від ліктя до зап'ястя “перехідну ланку”, обов'язково керуючись принципом, що послідувача ланка повинна бути меншою або дорівнювати минулій, щоб не створювати великих напружень і зберігати працездатний та справний стан, а також для відпадання в потрібні потужного серводвигуна. Робимо ескіз та витягуємо його. Скоп робимо в технологічних мірах, щоб була змога закрутити серводвигун.

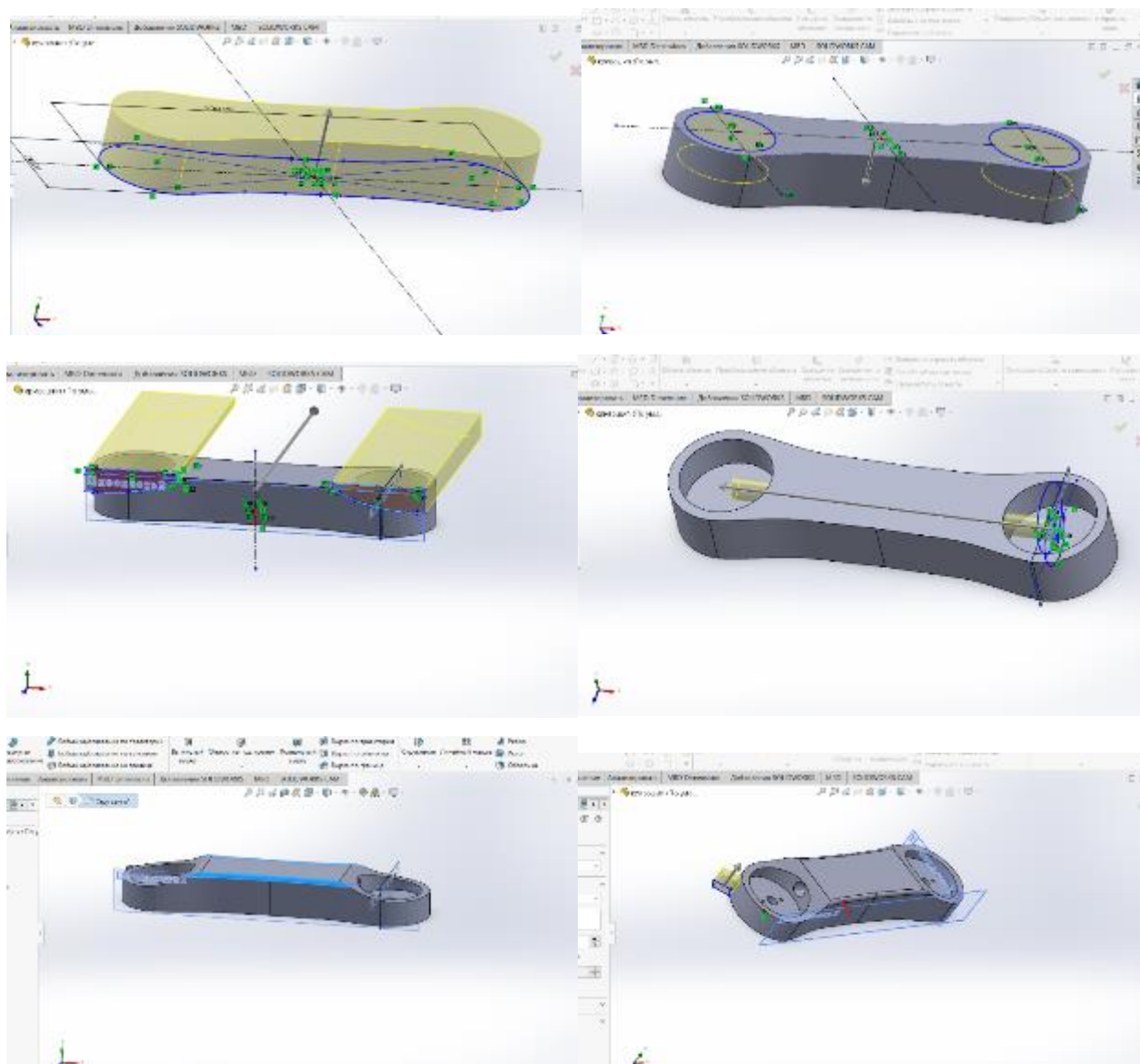


Рисунок 3.3 – Моделювання коромисла маніпулятора

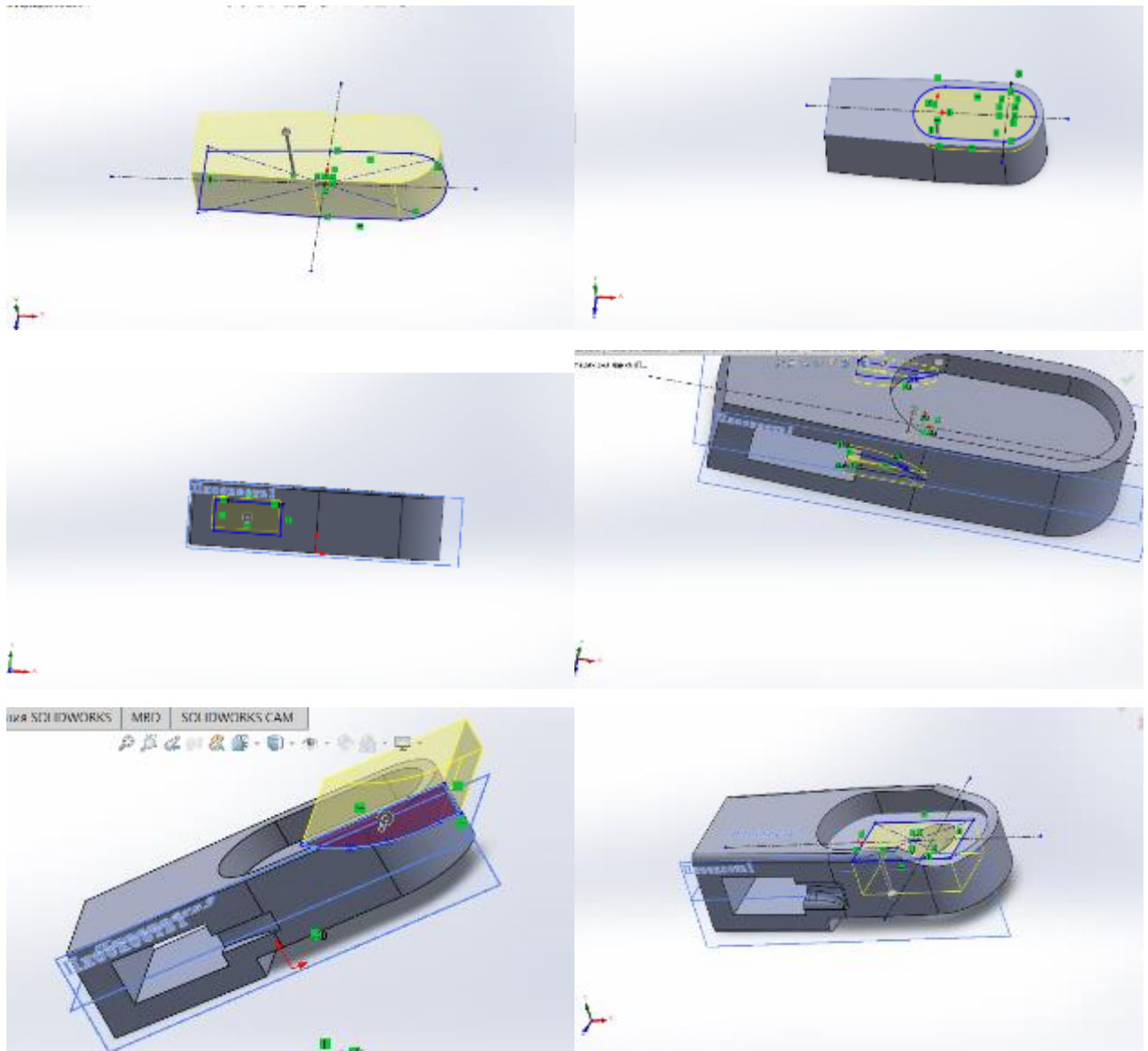


Рисунок 3.4 – Моделювання перехідної ланки маніпулятора

Наступна ланка – це імітатор зап'ястного суглоба. Ця ланка є продовженням наступної, тож виконуємо його у невеликих розмірах. Розміри площини, яка прилягає до площини минулої ланки будуть такими ж як і в неї, висоту цієї деталі робимо такою, як буде задовольняти геометричні розміри серводвигуна, який буде піднімати та опускати саму лапу.

Наступний вузол – це сама лапа, яка імітує п'ясть людини. Так як це окремий вузол, то буде відповідно виконане складальне креслення для його детального розгляду. На даному етапі розглянемо окремо деталі вузла. Принцип передачі крутного моменту від серводвигуна до пальців буде відбуватися через передачу гвинт-гайка. Особливо важливо закласти на етапі проєктування

однакові відстані для різьби, щоб наші пальці могли закриватися і відкриватися синхронно і витримувалась паралельність для контактних поверхонь пальців+ важливо закласти таку відстань відкриття і закриття, щоб вистачало для яблук діаметром від 50–100 мм, враховуючи конструктивні особливості лапи. Почнемо з вала, так як відносно розміщуються решта деталей.

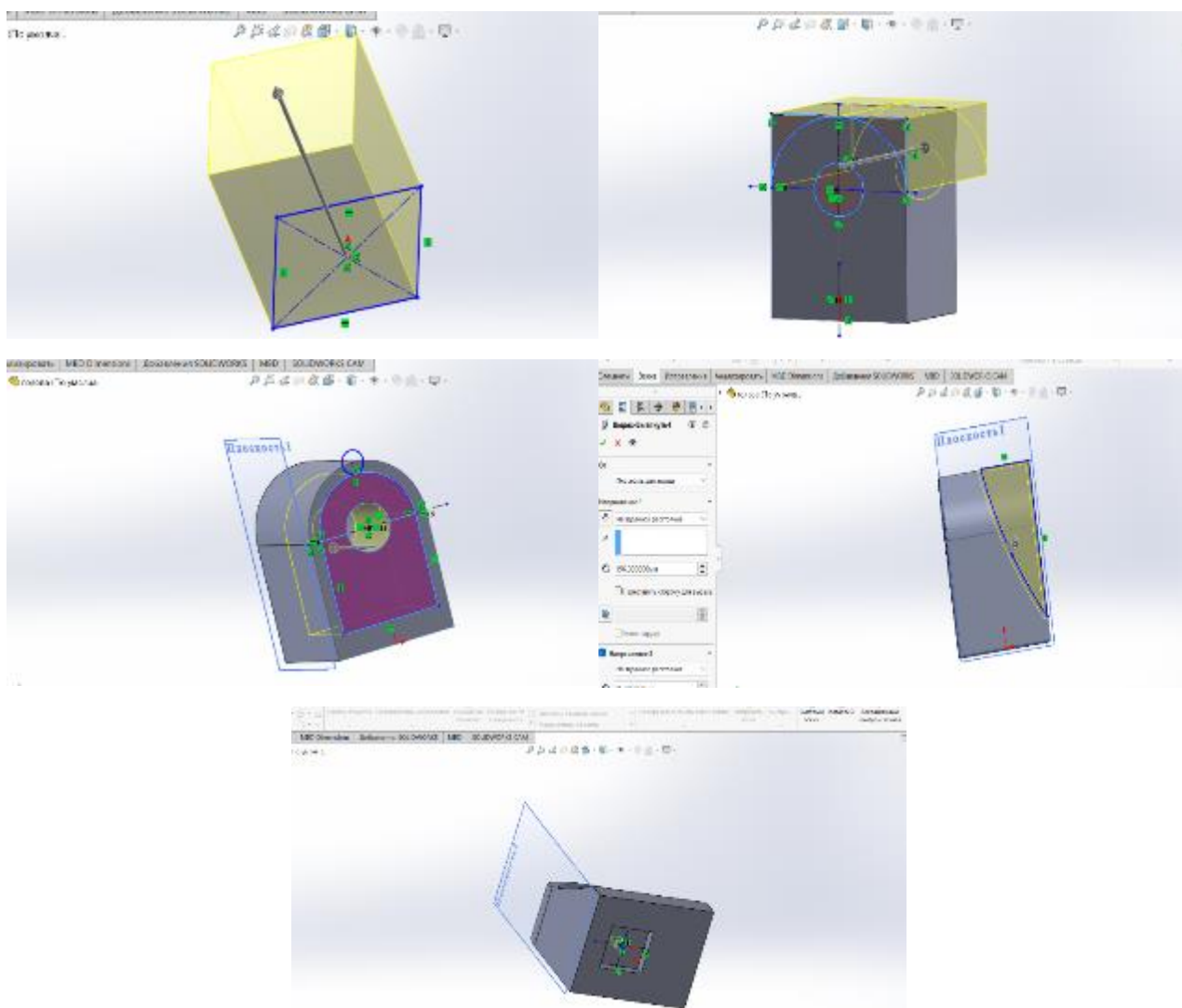


Рисунок 3.5 – Моделювання зап'ястної ланки маніпулятора

Вал буде обертатися в корпусі, який буде складатися із двох частин, у спеціальних пазах. Так як маніпулятор буде повністю із пластмаси, то тертя пластика об пластика буде мінімальним, що каже про високу зносостійкість і задовільне ковзання. Наступним буде корпус. Розглянемо процес виготовлення нижньої частини.

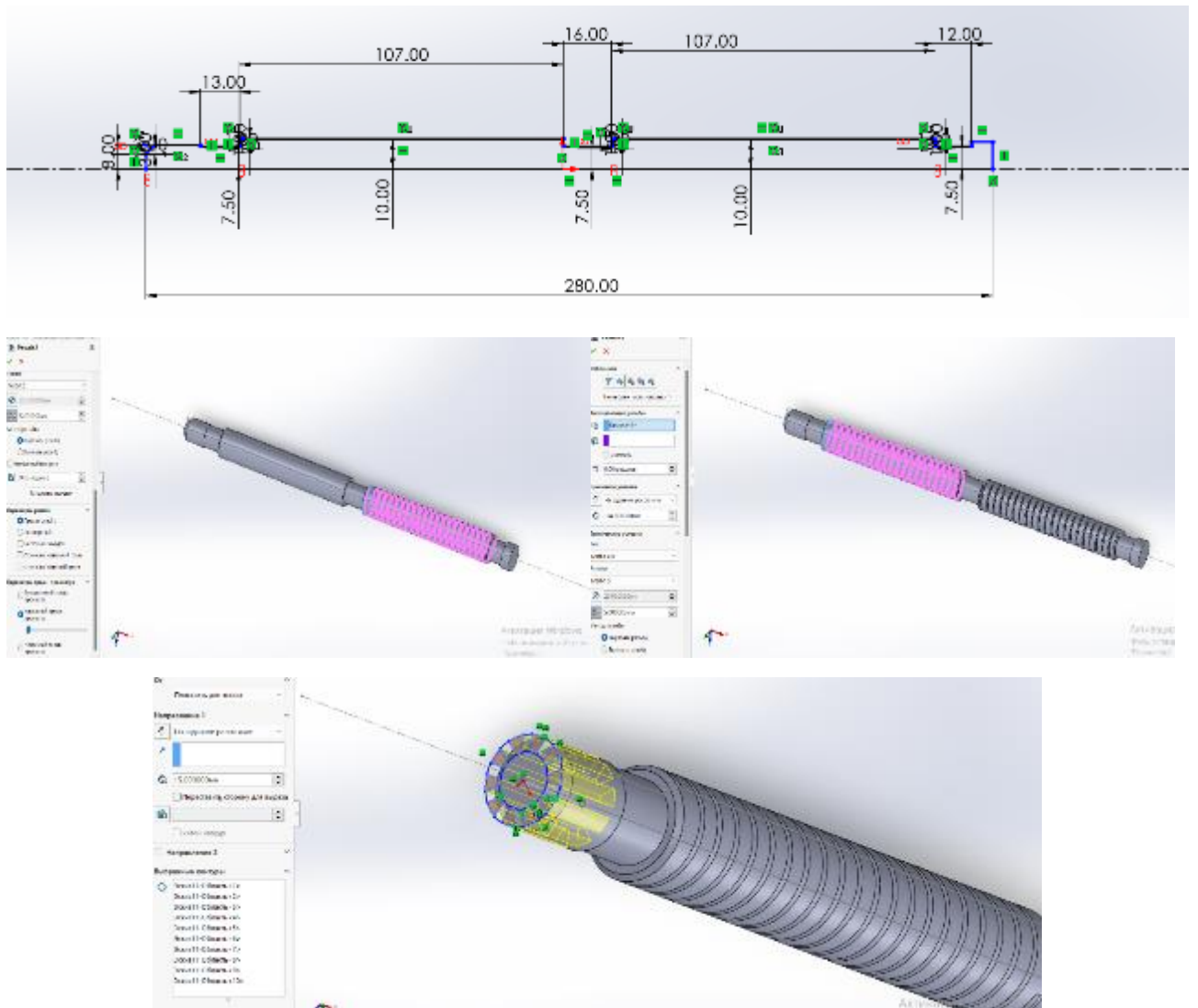


Рисунок 3.6 – Вал маніпулятора

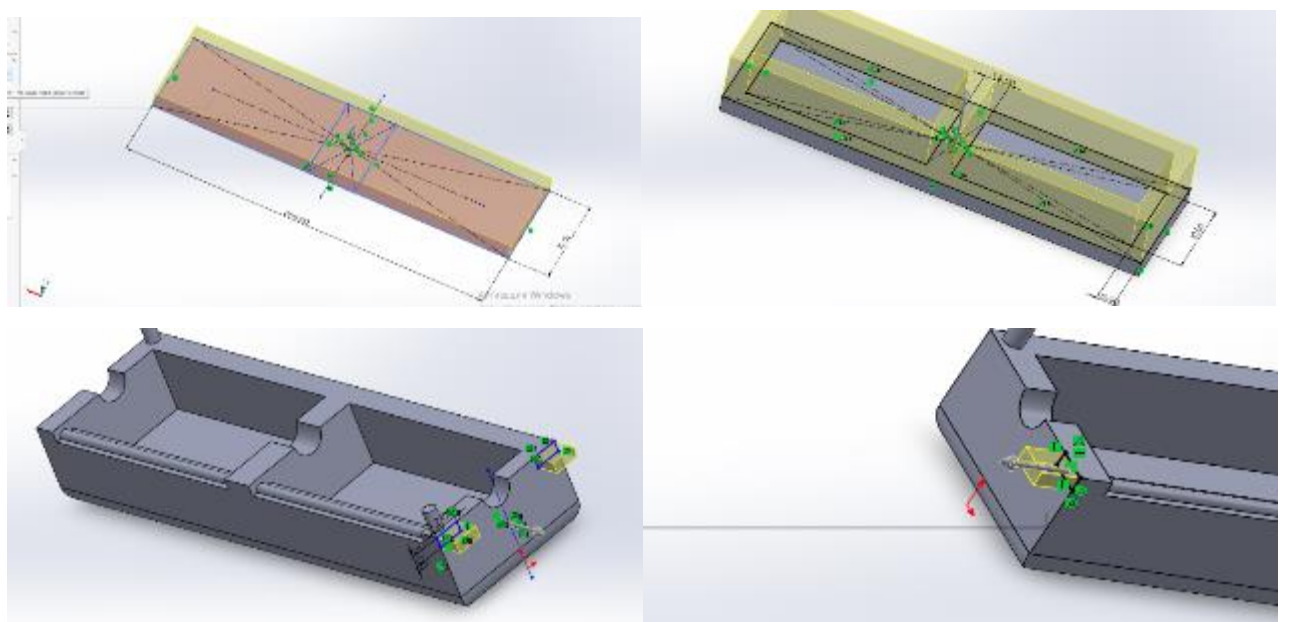


Рисунок 3.7 – Моделювання нижньої кришки маніпулятора

Далі верхня кришка: там все так само, тільки для направляючих створені отвори і салазка має плоску поверхню, а також із сторони де є шліци створений отвір для кінцевого перемикача та оптичного датчика по центру.

Наступна деталь вузла-ходова муфта. Сенс деталі полягає в тому, щоб залишаючись нерухомою переміщуватися вздовж осі валу за допомогою гвинта. Для справного стану вузла при збиранні – ходові муфти виставляються в однакове крайнє положення відносно осі симетрії.

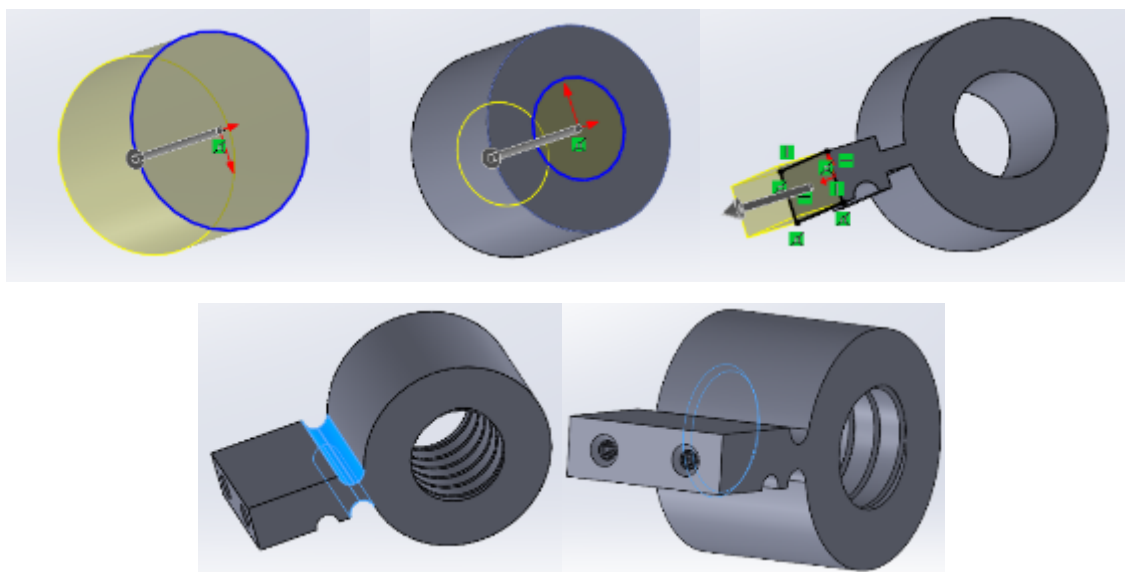


Рисунок 3.8 – Моделювання ходової муфти маніпулятора

Розглянемо палець Тут важливим нюансом була механіка захвату пальця, на відміну від класичних захватів, які використовують жорсткі пальці, то в даному випадку було виконане деяке потоншення ребер жорсткості, щоб при обтисканні предмета палець здеформувався у допустимих межах не зруйнувавшись. Наступна деталь це кронштейн, який тримає сам палець і передає поступальний рух ходової муфти від обертання гвинта.

Підсумовуючи описане вище, конкретні розміри деталей будуть визначені під час кінематичного та силового розрахунку, які будуть задовольняти як швидкісні умови, так і умови міцності та жорсткості. Також варто відмітити про те, що маніпулятор буде паралельного типу, тобто захват буде завжди паралельний основі, незалежно від того, на який кут ланки відігнуться від

ПОЧАТКОВОГО ПОЛОЖЕННЯ.

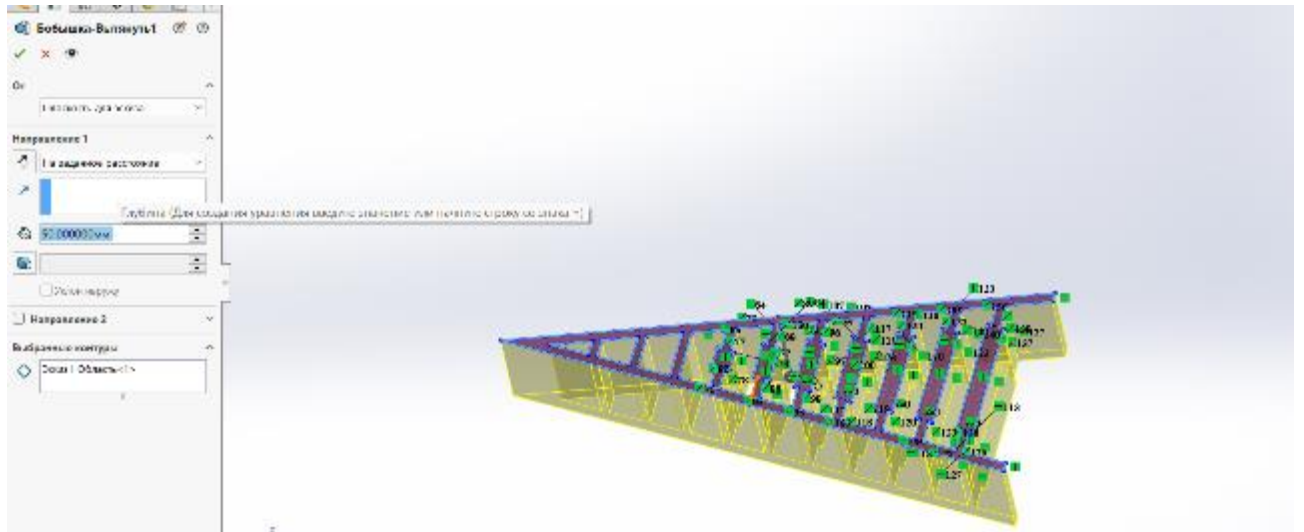


Рисунок 3.9 – Моделювання пальця маніпулятора

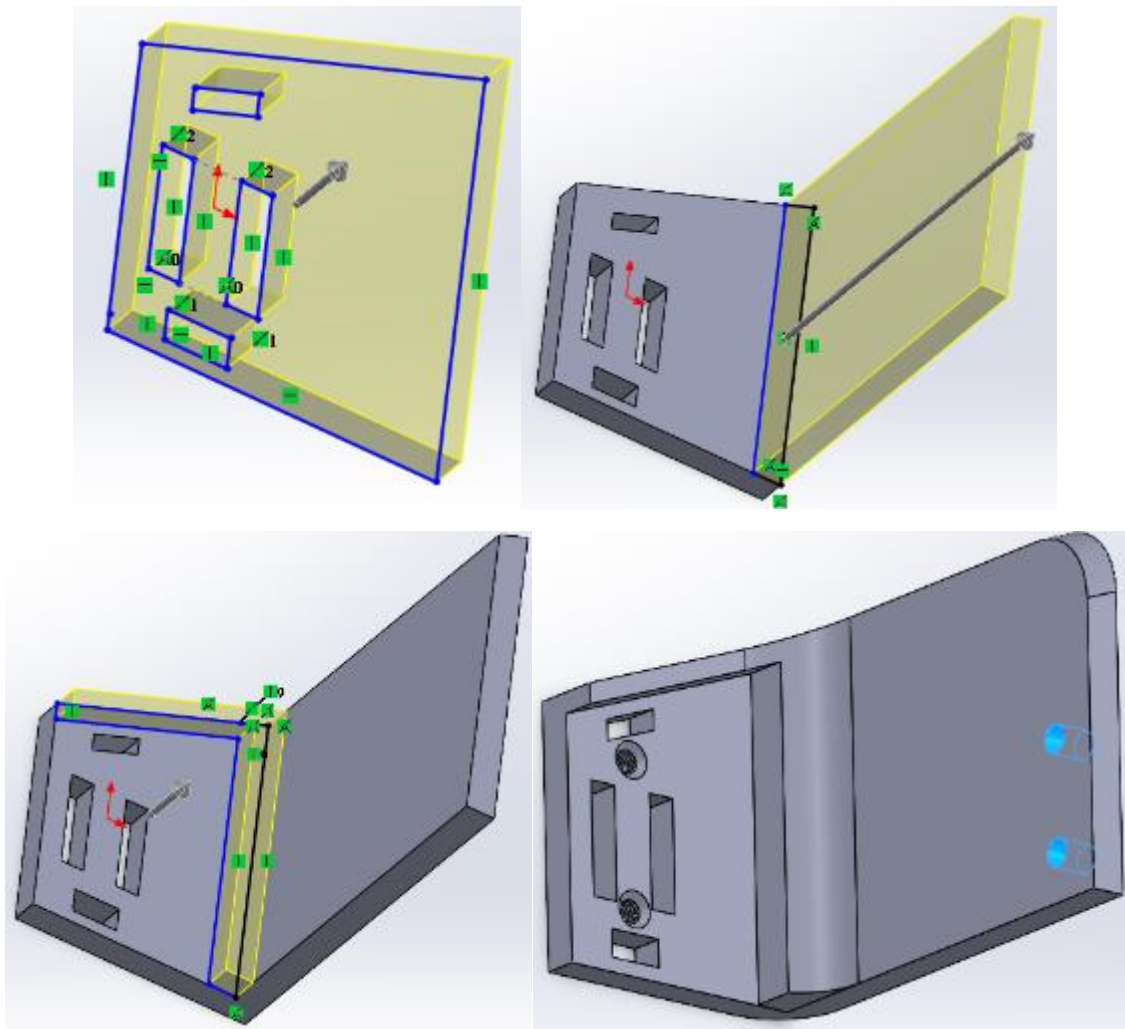


Рисунок 3.10 – Моделювання кронштейна маніпулятора

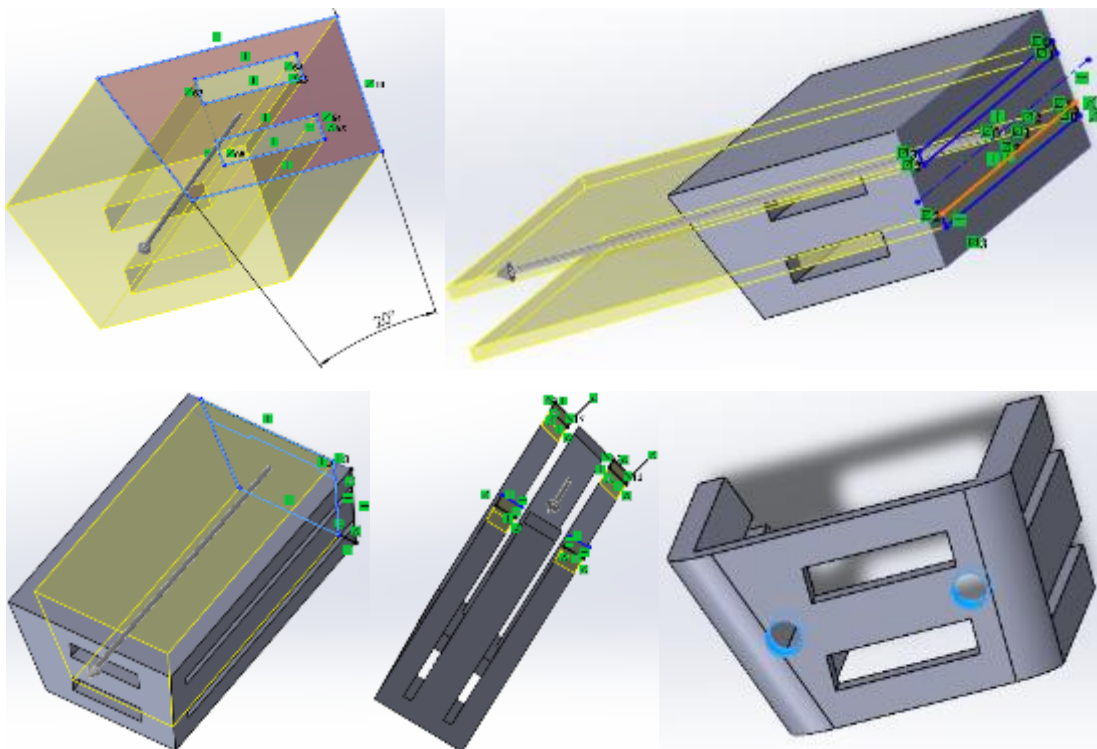


Рисунок 3.10 – Моделювання кліпси маніпулятора

3.2 Силовий розрахунок ланок робота-маніпулятора

Розрахунок почнемо йдучи від основи до захвати маніпулятора, щоб упевнитись, що механізм надійний від самого початку. Почнемо із стійки, а саме від кріплення до платформи. Було спроектовано кріплення на 4 метизи M8×1,25-40. Перевіримо його на зріз та зминання. Враховуючи, що серводвигун повертає платформу навколо осі на 180 градусів і таким чином, завжди буде сприймати навантаження 2 гвинта.

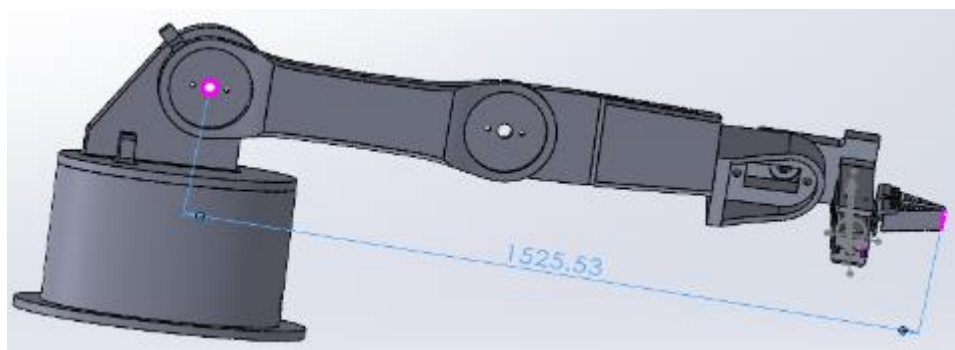


Рисунок 3.11 – Плече від об'єкта до осі обертання

У цьому положенні плече найбільше, тож найбільший момент створюється саме в цьому положенні. Тож спершу розрахуємо сили реакцій, які виникають внаслідок цього плеча.

Візьмемо найбільше яблуко, приблизно $500 \text{ гр} = 0.5 \text{ кг}$, що відповідає 5 Н + враховуємо вагу ланок. Матеріалом є пластик ABS, тому знаючи об'єм деталі і густину матеріалу визначаємо масу.

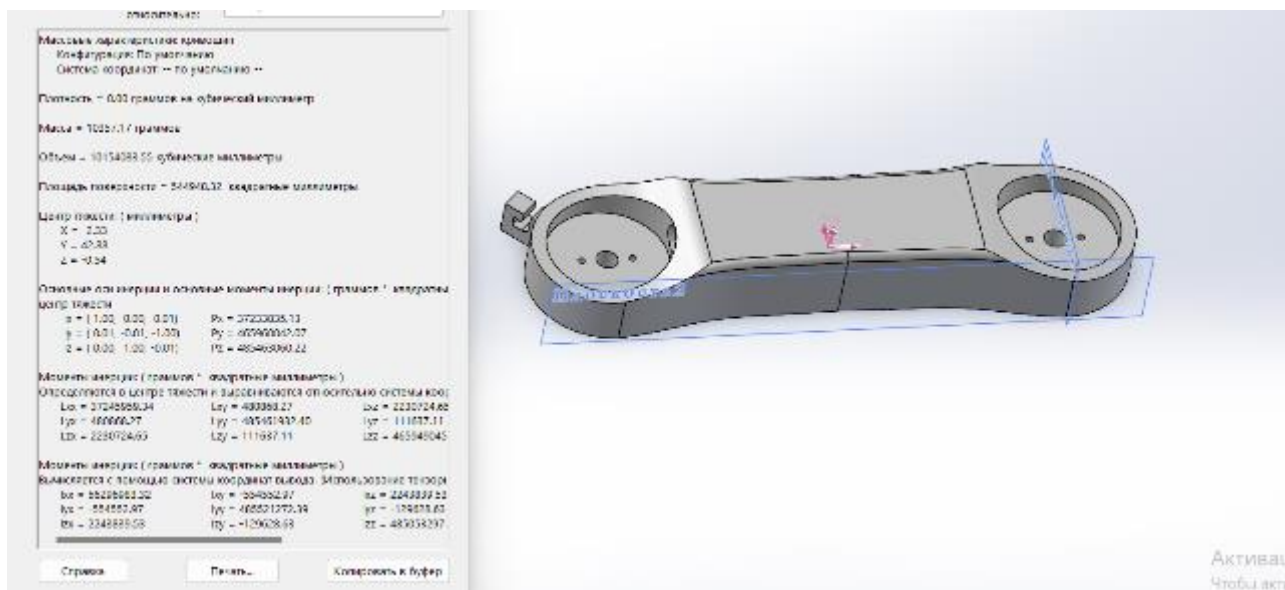


Рисунок 3.12 – Характеристика коромисла манипулятора

Коромисло: $m=10.4 \text{ кг}$, що відповідає 104 Н

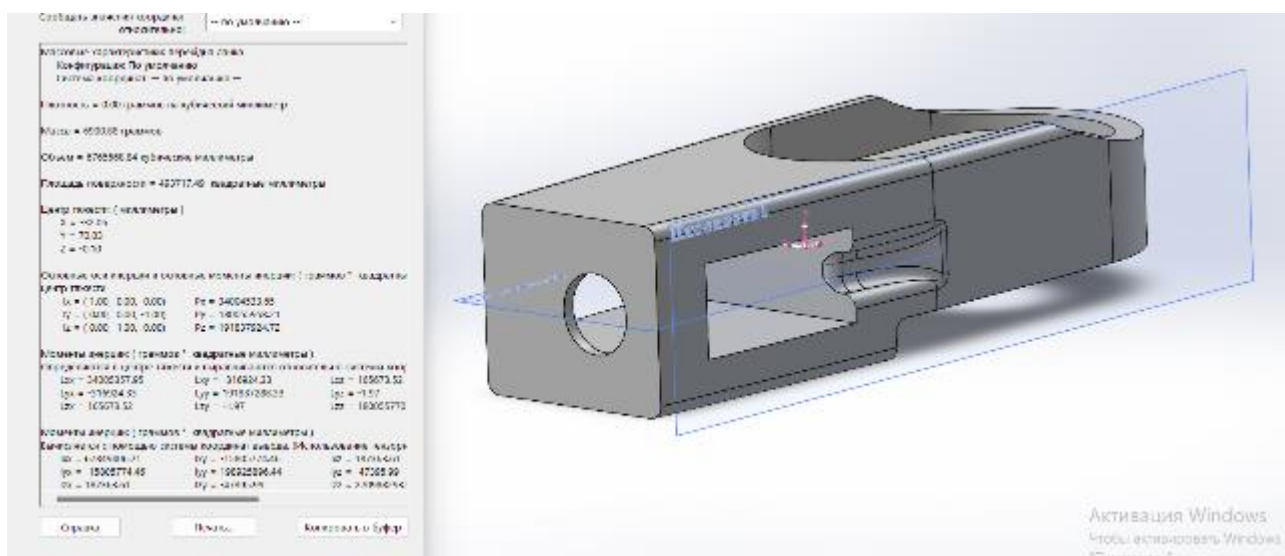


Рисунок 3.13 – Характеристика переходної ланки манипулятора

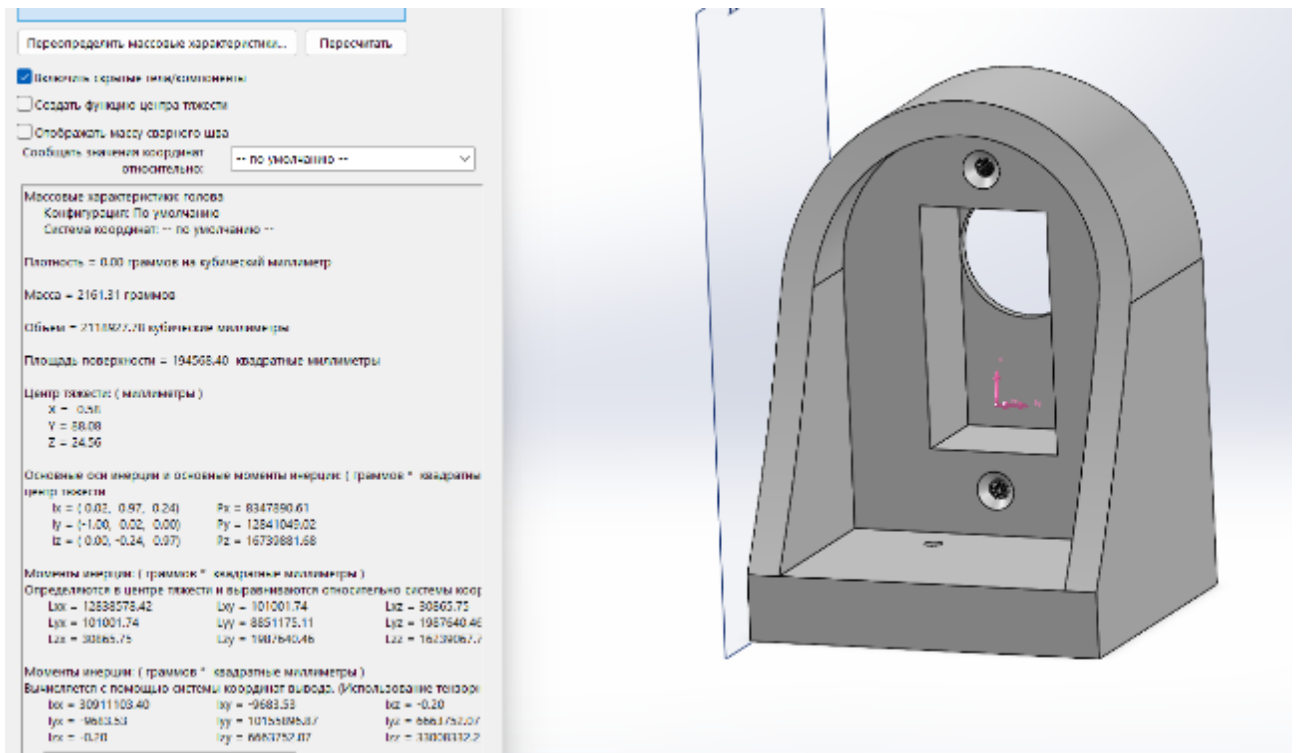


Рисунок 3.14 – ”Зап’ястя” маніпулятора

Перехідна ланка + “зап’ястя”: $m = 6,9 + 2 = 8,9$ (кг), що відповідає 89 Н.

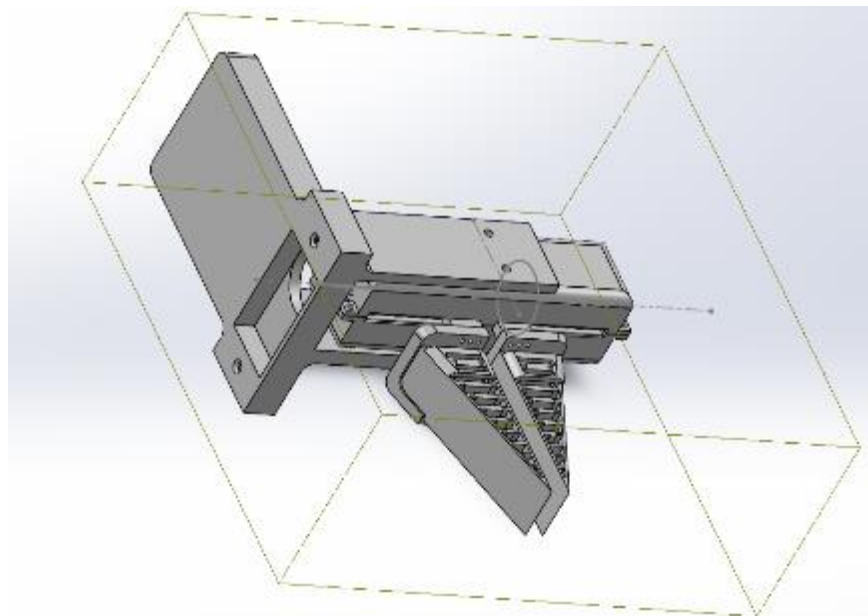


Рисунок 3.15 – Кронштейн + лапа

Кронштейн + лапа: $m = 2,53$ кг, що відповідає 25,3 Н.

Сумарно: 223,3 Н.

Далі знаходимо єдиний центр ваги тіла, відлік йде вздовж осі OX, тож, від 643 – відстань до істинного центру ваги) віднімаємо 290, і отримуємо плече 353 мм.

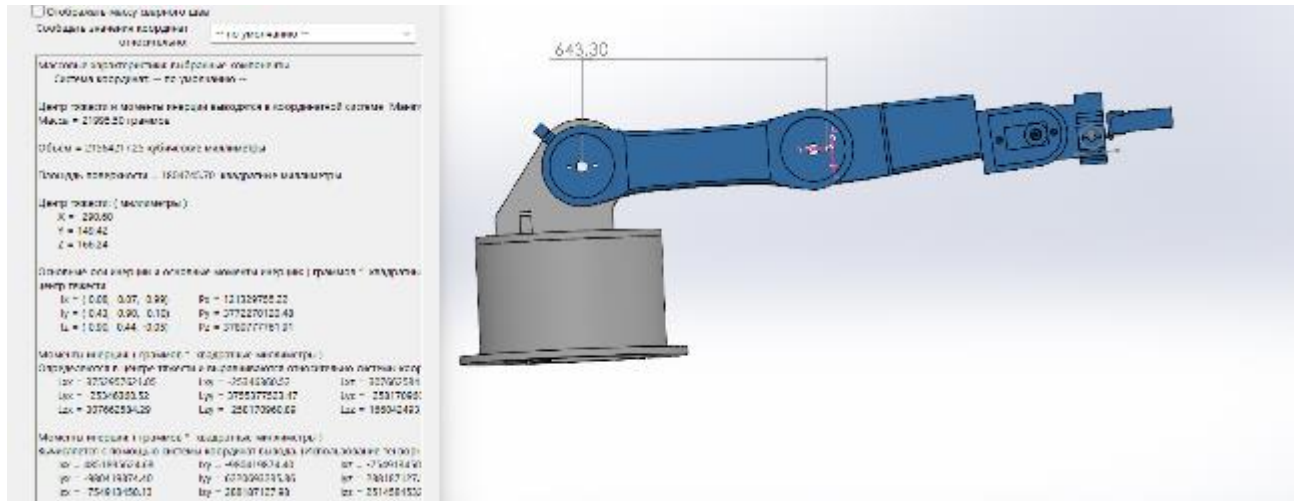


Рисунок 3.16 – Знаходження центра ваги всього плеча

Далі через рівняння моментів знаходимо реакцію, яка виникає в болтовому з'єднанні:

$$-\Sigma R \times 254 - F \times 353 = 0;$$

$$\Sigma R = -223.3 \times 353 / 254 = -310.3 \text{ (H)},$$

де знак “-” свідчить про те, що реакція спрямована у протилежну сторону. На один болт припадає сила:

$$310.3 / 2 = 155,15 \text{ (H)}.$$

Це осьова сила, адже болти навантаженні виключно моментом від центра ваги тіл, то перевірка на розтяг:

$$\Omega = 155,15 \cdot 4 / 8 \cdot 8 = 9,7 \text{ (МПа)} \leq 560 \text{ МПа},$$

тобто можна обрати різьбу М6.

Далі перевіримо міцність випуклості на кришці на відрив. Знову користуємось рівнянням моментів.

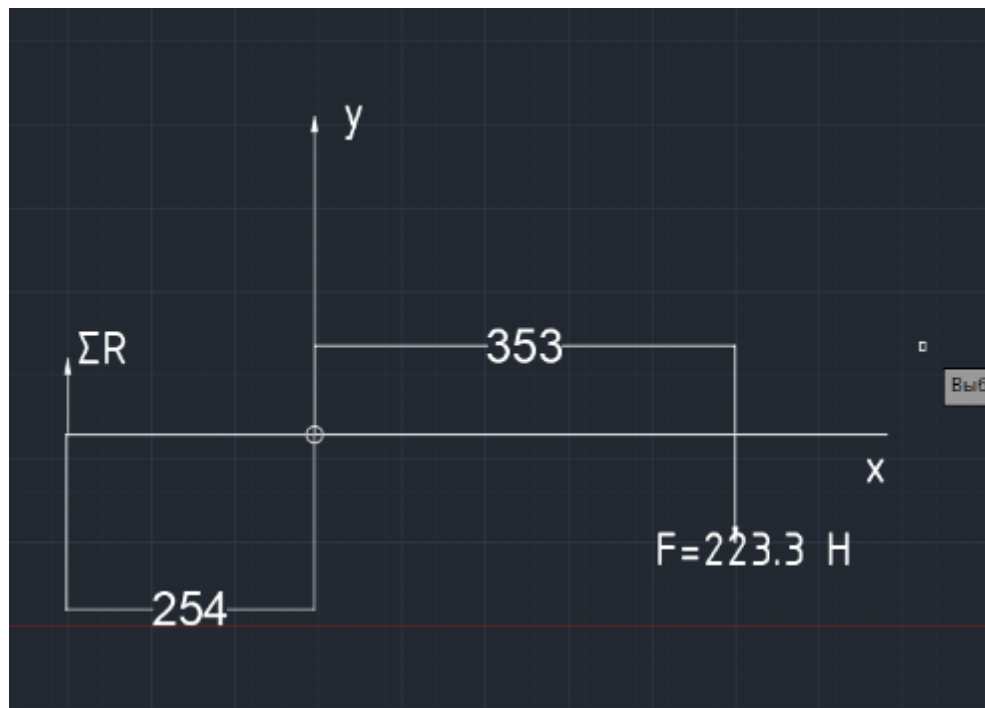


Рисунок 3.17 – Рівняння моментів для болтового з'єднання

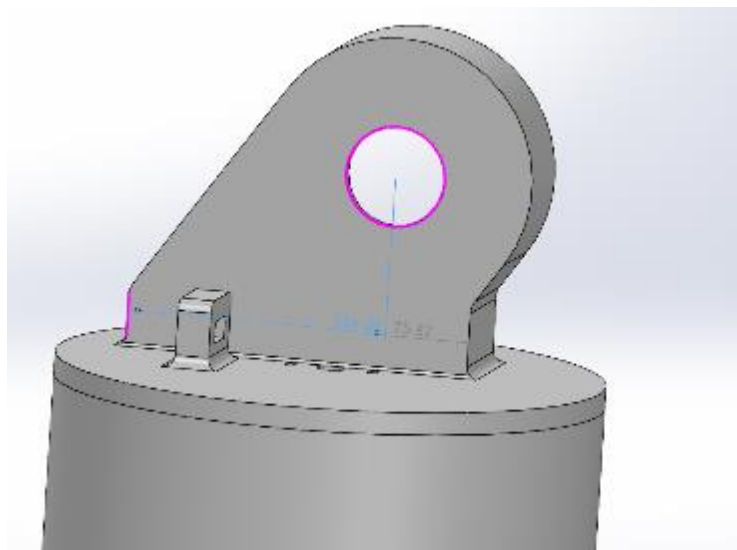


Рисунок 3.18 – Визначення плечей для провущини

Були виконані наступні припущення: тіло плоске; реакція рівномірно зосереджена по довжині плеча; тіло є абсолютно твердим.

Замінивши рівномірно розподілене навантаження зосередженою силою. Виконуємо розрахунок для небезпечного положення. Схематично це виглядає так:



Рисунок 3.19 – Схема для провущини.

Було припущено, що менша площа стиснута, тому реакція направлена вгору, а більша площа розтягнута, тому спрямовуємо вниз. Маємо плоску паралельну систему сил, тож складаємо 2 рівняння:

$$\Sigma Y=0; \quad -q_1 \times l_1 + q_2 \times l_2 - F = 0; \quad q_1 = (q_2 \times l_2 - F) / l_1;$$

$$\Sigma M=0; \quad q_1 \times l_1 \times l_1 / 2 + q_2 \times l_2 \times l_2 / 2 - F \times l_3 = 0; \quad (q_2 \times l_2 - F) \times l_1^2 / (2 \times l_1) + q_2 \times l_2 \times l_2 / 2 - F \times l_3 = 0.$$

Підставляємо значення. З другого рівняння:

$$(q_2 \times 75.62 - 223.3) \times (234.28)^2 / (234.28 \times 2) + q_2 \times (75.62)^2 / 2 - 223.3 \times 353 = 0$$

$$8858.1 q_2 - 26157.4 + 2859.2 q_2 - 78824 = 0$$

$$11717.3 q_2 = 104981$$

$$q_2 = 104981 / 11717.3 = 8.96 = 9 \text{ (Н/мм)}$$

Підставляємо в перше:

$$q_1 = (9 \times 75.62 - 223.3) / 234.28 = 1.95 = 2 \text{ (Н/мм)}.$$

Тепер, дізнавшисьсь питоме навантаження, визначаємо максимальне напруження:

-для розтягу:

$$\Omega = 2 \times 234.28 / (108 \times 234.28) = 0.019 \text{ (МПа)} \leq 30 \text{ МПа}$$

-для стиску:

$$\Omega = 9 \times 75.62 / (75.62 \times 108) = 0.12 \text{ (МПа)} \leq 30 / 2 = 15 \text{ МПа}$$

Умови виконуються.

Далі перевіряємо платформу стійки на прогин, щоб уникнути ексцентриситету платформи відносно центру її обертання та надмірного тертя внаслідок її перекосу та захилення на один бік стійки. Для цієї ситуації небезпечне положення представлено на рисунку 3.20.

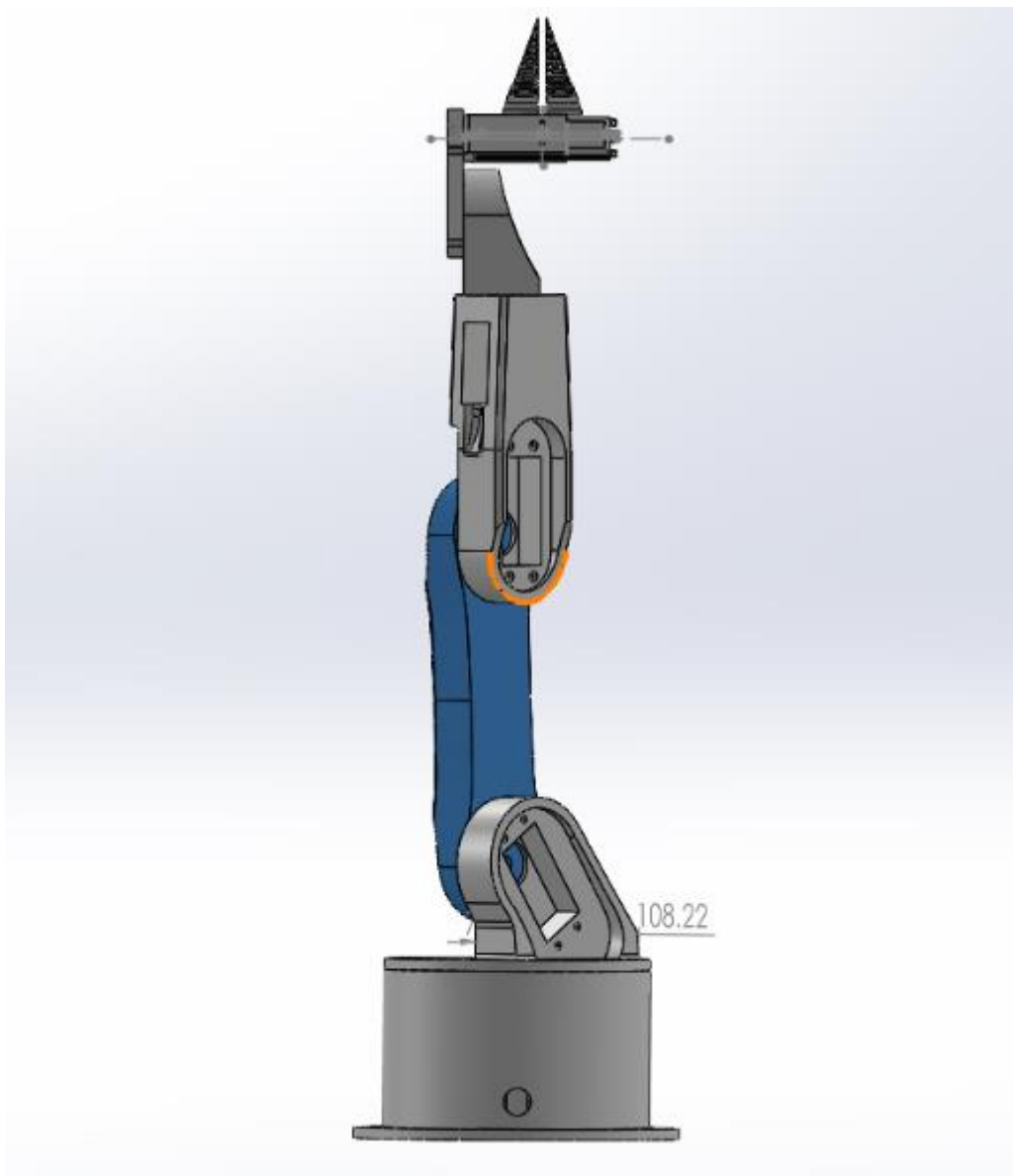


Рисунок 3.20 – Небезпечне положення маніпулятора

Розглянемо платформу як балку, власною вагою знехтуємо, бо вона розподілена по обидва боки від точки кріплення. Схематично зобразимо її як консоль і перевіримо прогин (рис. 3.21). Так як платформа спирається на ступицю, то прогинатись буде платформа відносно крайньої точки ступиці.

Ступиця-стандартна деталь серводвигуна, має радіус 92,5 мм, а платформа має радіус 232.5 мм. Їх різниця дорівнює довжині балки – 140 мм.

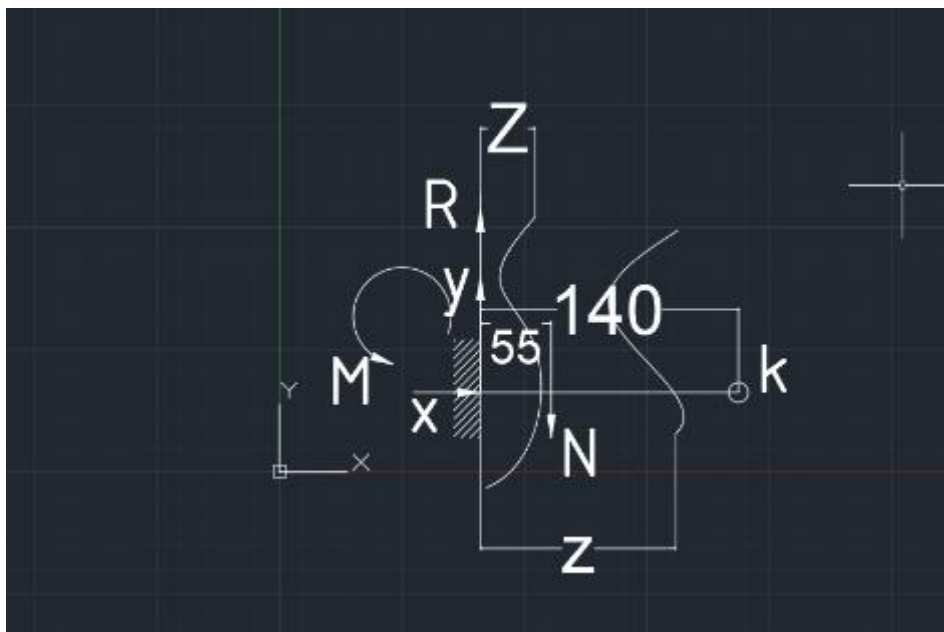


Рисунок 3.21 – Схематичне зображення балки

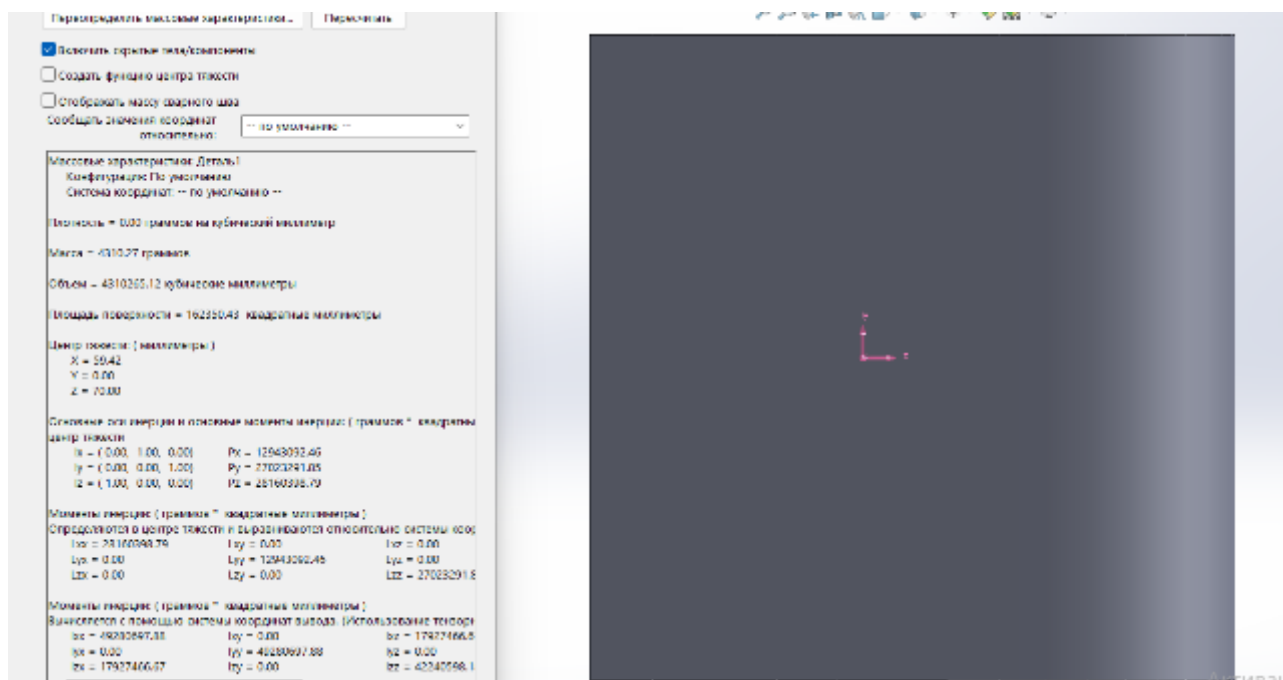


Рисунок 3.22 – Геометричні характеристики плоского перерізу

Використаємо метод початкових параметрів з такими даними: $y_0=0$; $x_0=0$ градусів, осьовий момент інерції момент інерції балки = 28160398.79 (г·мм²);

модуль Юнга для пластику ABS – 2000 Н/мм².

Визначаємо опорні реакції балки. Для жорсткого защемлення характерний момент та реакція в опорі. Визначимо їх через рівняння для плоскої системи сил:

$$\Sigma Y=0; \quad R-N=0 \quad R=N=223.3 \text{ Н};$$

$$\Sigma M=0; \quad M-N \times l=0 \quad M=N \times l=223.3 \times 55=12281.5 \text{ (Н} \cdot \text{mm)}.$$

Визначаємо кут повороту точки К:

$$\Theta(140)=\Theta_0+1/(2000 \times 28160398.79)(-12281,5 \times (140-0)+223,3 \times 140^2/2-223,3 \times (140-55)^2/2)=-0,000006=0$$

Визначаємо прогин точки К:

$$\Pi(140)=0+0+1/(2000 \times 28160398,79) \times (-12281,5 \times (140-0)^2/2+223,3 \times 140^3/6-223,3 \times (140-55)^3/6)=-0,0007 \text{ (мм)}$$

Робимо висновок, що платформа достатньо жорстка і не прогнеться під вагою деталей та вантажу та не буде спиратися на стійку, тож розрахунок товщини стінки стійки відпадає, так як зазор зберігається між платформою та стійкою.

У цьому ж самому положенні (рис 3.23) перевіряємо на стиск та повздожній згин.

Перевірка на стиск, при цьому враховуємо власну вагу коромисла та вагу деталей зверху. Схематично зобразили схему.



Рисунок 3.22 – Схема стиску коромисла

Одразу перевіримо небезпечний переріз, точку О. Визначаємо внутрішні, які виникають внаслідок ваги деталей і дорівнює це все 223.3 Н.

Площа цього перерізу дорівнює $150 \times 105 = 15750$ (мм²).

Напруження стиску:

$$\Omega = 223,3 / 15750 = 0,014 \text{ (Н/мм}^2\text{)} \leq 15 \text{ МПа}$$

Далі перевіримо на повздовжній згин наш стержень. Припустимо, що він закріплений між двома шарнірами, тоді $M=1$.

$$A = 26700 \text{ мм}^2; I_x = 5907475,6 \text{ мм}^4; I_y = 584990000 \text{ (мм}^4\text{)}.$$

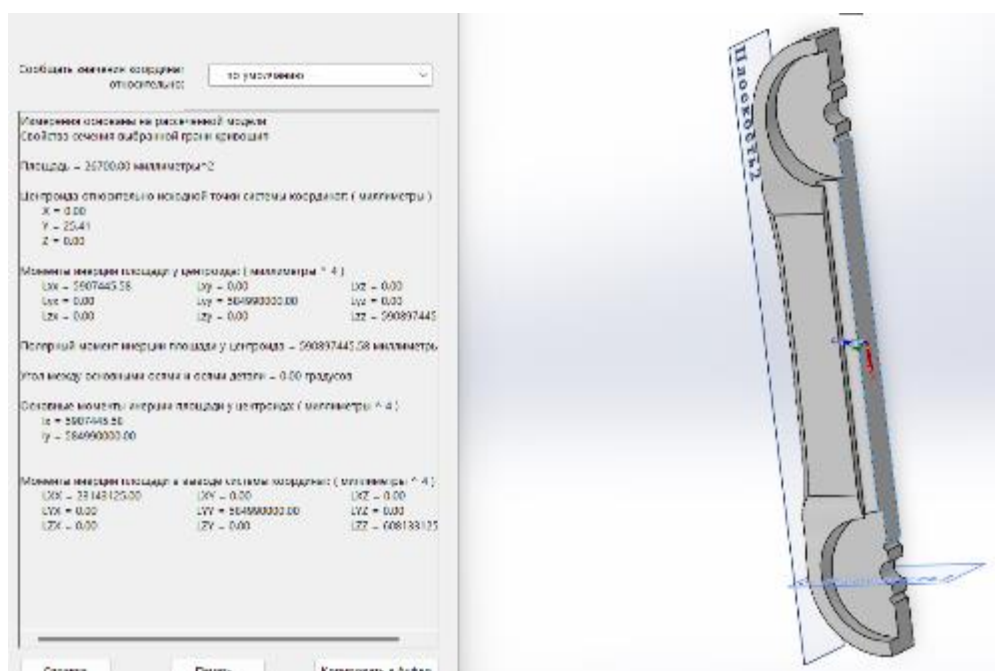


Рисунок 3.23 – Геометричні характеристики деталі

Визначаємо мінімальний радіус інерції для осі Ox , адже там найменший осьовий момент інерції:

$$i_{\min} = (5907475,6 / 26700)^{0,5} = 14,87 \text{ мм.}$$

Визначаємо лямбду:

$$\lambda = \mu \cdot l / i_{\min} = 1 \cdot 820 / 14,87 = 55,2$$

Це зона негнучких стержнів.

Для даного значення лямбди справедлива наступна залежність:

$$\Omega_{\text{кр}} = \Omega_{\text{текуч.}} = 35 \text{ МПа.}$$

Визначаємо критичну стискуючу силу:

$$F_{cr} = 3.14 \times 3.14 \times 2000 \times 5907475.6 / 820 / 820 = 173,421 \text{ (кН)}$$

$$223,3 \text{ Н} \leq 173421 \text{ Н,}$$

Умова виконується.

Перевіримо коромисло на поперечний згин у такому небезпечному положенні:

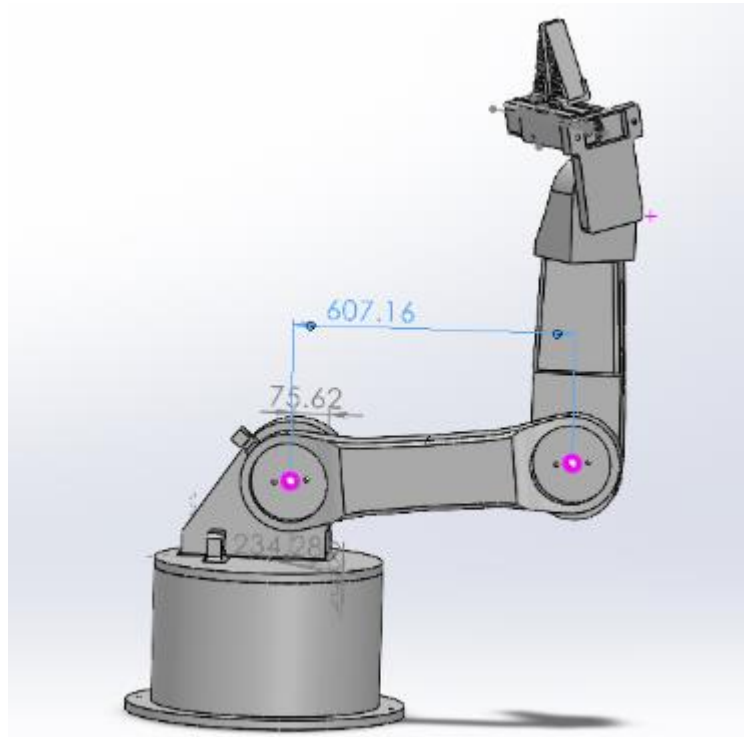


Рисунок 3.24 – Небезпечне положення поперечного згину балки

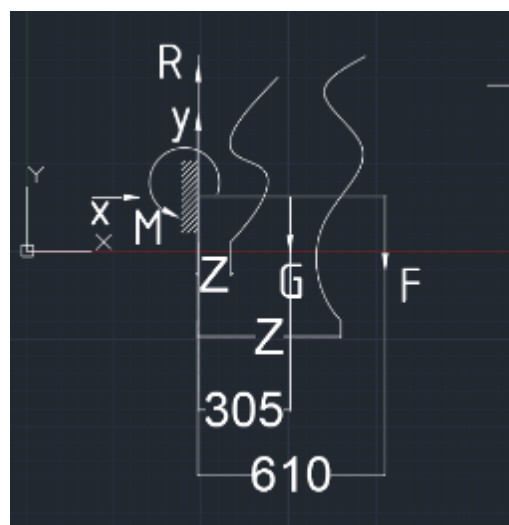


Рисунок 3.25 – Схема балки

Визначаємо реакції опори:

$$\begin{aligned} \Sigma Y=0; \quad R-G-F=0; \quad R=G+F=104+(89+25.3+5)=223.3(\text{H}); \\ \Sigma M=0; \quad M-G \times 305-F \times 610=0; \quad M=305G+610 \times F=305 \times 104+610 \times (89+25.3+5)= \\ = 104\,493 (\text{H} \cdot \text{mm}) \end{aligned}$$

Шукаємо небезпечний переріз, визначаючи найбільші поперечні сили та згинальні моменти. Рух зліва на право.

$$\text{Ділянка I } (0 \leq z \leq 305): Q(z)=R=223.3 (\text{H}); M(z)=-M+Rz$$

$$M(0)=-M=-104\,493 (\text{H} \cdot \text{mm})$$

$$M(305)=-M+R \cdot 305=-104\,493+223.3 \times 305=-36\,386.5 (\text{H} \cdot \text{mm}).$$

$$\text{Ділянка II } (305 \leq z \leq 610): Q(z)=R-G=223.3-104=119.3 (\text{H}); M(z)=-M+Rz-G(z-305)$$

$$M(305)=-104\,493+223.3 \times 305-0=-36\,386.5 (\text{H} \cdot \text{mm}).$$

$$M(610)=-104\,493+223.3 \times 610-104 \times 305=0 (\text{H} \cdot \text{mm}).$$

Будуємо епюри.

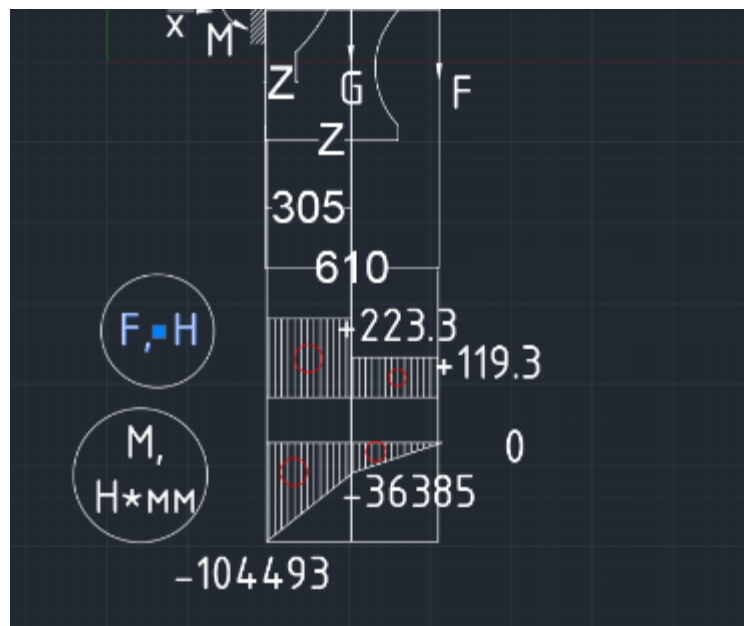


Рисунок 3.26 – Епюри поперечних сил та згинальних моментів.

З епюр видно, що найбільш вразливе місце знаходиться на початку ланки. Обчислимо величину нормального напруження.

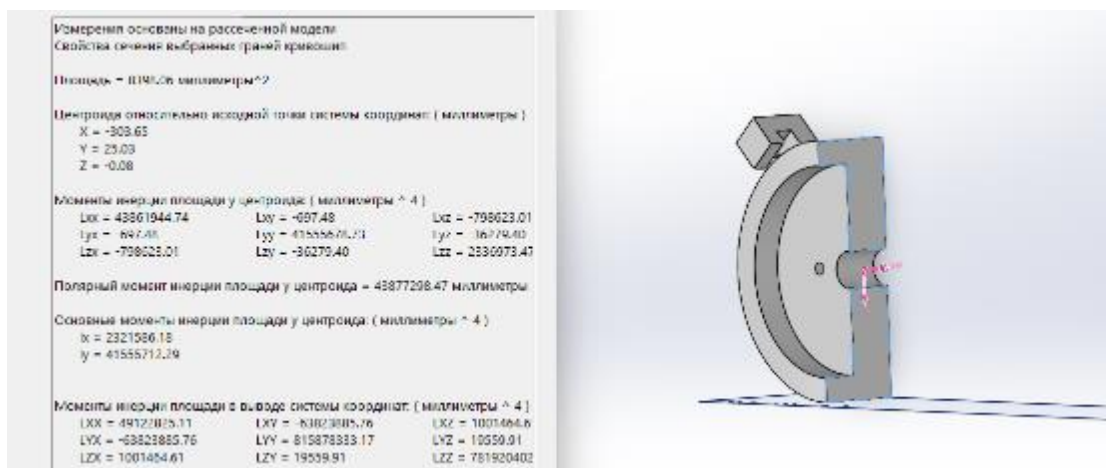


Рисунок 3.27 – Геометричні характеристики небезпечного перерізу

$$\Omega = M_{\max} / W_x \leq \Omega_{\text{adm}} = 70 \text{ МПа.}$$

$W_x \geq M_{\max} / \Omega \geq 104493 / 70 = 1492,8 \text{ (мм}^3\text{)}$ - найбільш можливий момент опору.

У нашому випадку площа вже відома, тому є сенс порівняти момент опору, який є в збірці. Припустимо, що в нас цілий прямокутник з площею 8398,06 мм² і з більшою стороною 210 мм (взято з креслення), тоді менша сторона:

$$H = A / b = 8398,06 / 210 = 40 \text{ (мм).}$$

Обчислюємо значення моменту опору:

$$W_x = b \times h^2 / 6 = 210 \times 40 \times 40 / 6 = 56000 \text{ (мм}^3\text{)}$$

Нормальна міцність забезпечена. Перевіримо міцність балки за формулою Д. І. Журавського на дотичні напруження, які вдвічі менші за нормальні:

$$\begin{aligned} t &= Q_{\max} \times S_x / (b \times I_x) = (223,3 \times 210 / 2 (40 \times 40 / 4 - 15 \times 15)) / (210 \times 2321586) = \\ &= 0,008 \text{ (МПа)} \leq 35 \text{ МПа} \end{aligned}$$

Умова виконується. За правилами необхідно перевірити балку на міцність за головними напруженнями, але вони нескінченно малі, тож сенсу робити цього немає.

Наступна деталь з вузла “Захват” – це кронштейн. Поперечну ланку пропускаємо, адже напруження, які були в найбільш навантаженій ланці (коромислі) були невеликими, тож сенсу перевіряти їх немає.

Вага самого захвата $2,53 - 1,286 = 1,244$ (кг), що відповідає 12,44 Н, для фіксації та розподілу маси захвата в кронштейні було виконано по 2 отвори у

верхній та нижній кришці, що зменшує вагу фактично в 2 рази, тож перевіряти булку на згин не будемо.

Вал. Деталь було спроектовано ступінчастою, для зменшення витрати ресурсів, матеріалоемності конструкції та в технічних потребах. Проведемо розрахунок валу по найменшому діаметрі і перевіримо його міцність та жорсткість. Вал послаблений в трьох місцях. Крутний момент передається від серводвигуна із крутним моментом на валу 10 Н.

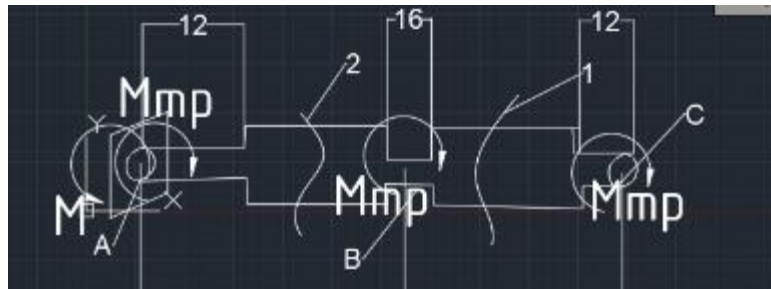


Рисунок 3.28 – Схема валу

$$\text{Визначимо } M_{\text{тр}} = r \times G / 3 \times f = 15 \times 0.79 / 3 \times 0.07 = 0.3 \text{ (Н} \cdot \text{мм)};$$

$$\text{Перший переріз: } T_1 = -M_{\text{тр}} = -0.3 \text{ (Н} \cdot \text{мм)};$$

$$\text{Другий переріз: } T_2 = -2 M_{\text{тр}} = -0.6 \text{ (Н} \cdot \text{мм)};$$

$$\text{Загальний вал: } T_3 = -3M_{\text{тр}} + M = -0.9 + 10 \text{ (Н} \cdot \text{мм)} = 9.1 \text{ (Н} \cdot \text{мм)}.$$

Обчислюємо значення кутів закручування. Вал ступінчастий, тож за правилами ММК окремо обчислюємо кути закручування в послаблених місцях та місцях із сталим перерізом.

Обчислюємо полярні моменти поперечних перерізів:

$$I_p = \pi \times d^4 / 32 = 3.14 \times 30^4 / 32 = 79\,521.56 \text{ (мм}^4\text{)}$$

$$\alpha_A = T_3 \times l / (G \times I_p) = 9.1 \times 12 / (318.9 \times 79\,521.56) = 0.0000043 \text{ (рад)}$$

$$\alpha_B = -0.6 \times 16 / (318.9 \times 79\,521.56) + 0.0000043 = 0.0000039 \text{ (рад)}$$

$$\alpha_C = -0.3 \times 12 / (318.9 \times 79\,521.56) + 0.0000039 = 0.00000375 \text{ (рад)}$$

Будуємо епюри крутних моментів та кутів закручування.

Перевіряємо вал на міцність

$$\mu_{\text{max}} = T_{\text{max}} / W_p = 16 T_{\text{max}} / (\pi \cdot d^3) = 16 \times 9.1 / (\pi \cdot 27000) = 0.002 \text{ МПа} \leq 15 \text{ МПа}$$

Умова виконується. Перевірка на жорсткість:

$$\begin{aligned}\Theta_{\max} &= T_{\max} / (G \cdot I_p) = 32 T_{\max} / (G \cdot \pi \cdot d^4) = 32 \cdot 9.1 / (318.9 \cdot 3.14 \cdot 30^4) \\ &= 0.00000036 \text{ (рад)} \leq 0.000005\end{aligned}$$

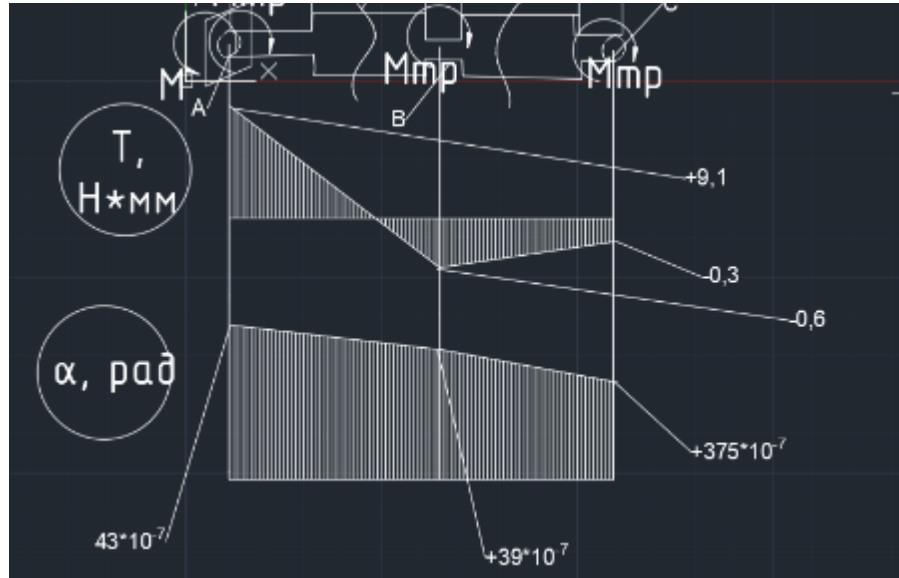


Рисунок 3.29 – Епюри крутних моментів та кутів закручування.

Остання деталь-це кріплення кронштейна до ходової муфти. Було розглянуто питання щодо кількості гвинтів $M4 \times 0,7$, мінімум 2 для центрування деталі відносно ходової муфти.



Рисунок 3.30 – Схема зрізу болта

Напруження болта на зріз визначають

$$T = 4F / (\pi \cdot d^2 \cdot i) \leq 0,2\Omega,$$

де F – поперечна сила, d – діаметр, i – кількість площин зрізу, Ω – нормальне

напруження.

Поперечна сила складається із частини ваги яблука (2,5 Н), вага самого кронштейна (0,5 Н), вага пальця (9,5 Н) та кліпси (0,13 Н). Сумарно 13Н і ділимо на 2, бо два гвинта сприймають цю вагу. Підставляємо у формулу:

$$T = 4 \cdot 6,5 / (3,14 \cdot 16) = 0,5 \text{ МПа} \leq 100 \text{ МПа.}$$

3.3 Кінематичний розрахунок ланок робота-маніпулятора

Кінематичний розрахунок дає нам змогу визначити робочу зону маніпулятора залежно від таких параметрів: координати точок ланок механізму, кути поворотів ланок механізму та довжини ланок. Як було зазначено вище маємо паралельний механізм.

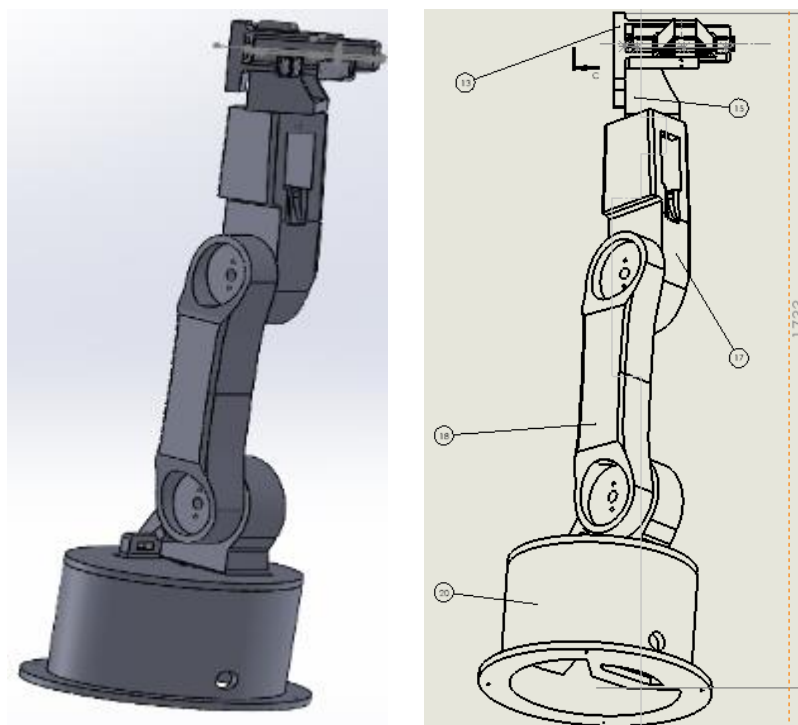


Рисунок 3.31 – Маніпулятор

Горизонтальне положення захвату буде відслідковувати спеціальний відслідковуючий механізм і передавати сигнал на мікросхему, щоб та подала сигнал на серводвигун для підтримання паралельності між стійкою та захват.

Подивимось на механізм з точки зору теорії машин і механізмів.

Маємо такі кінематичні пари 20-18, 18-17, 17-15, 15-13. Для спрощення подальших розрахунків приймаємо, що ланки 17 та 15 суцільні, адже це поворот в іншій площині, і від того, що захват повернеться на 90 градусів ліворуч або праворуч від початкової позиції, фактично нічого не зміниться, адже відслідковує механізм підтримує завжди горизонтальне положення захвату. Тому фактично маємо 2 обертальних пари 20-18 та 18-17, як незалежні аргументи функції, а обертальна пара 15-13 залежить від кутів повороту кінематичних пар 20-18 та 18-17.

Робочу зону механізму визначимо методом крайніх точок, знаючи кути повороту ланок та їх довжини знайдемо координати крайніх точок робочої зони і по них побудуємо графік робочої зони.

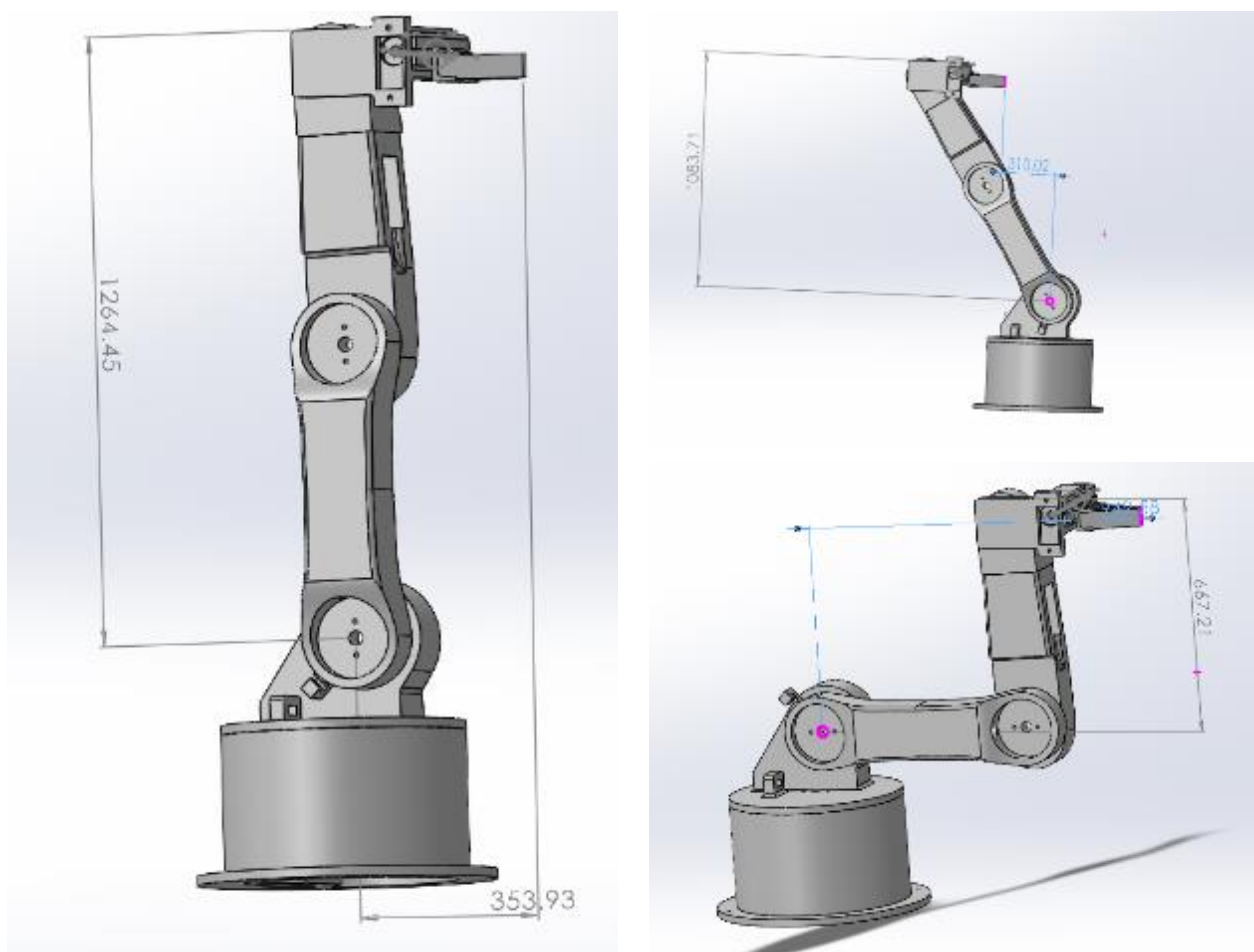


Рисунок 3.32 – Положення маніпулятора

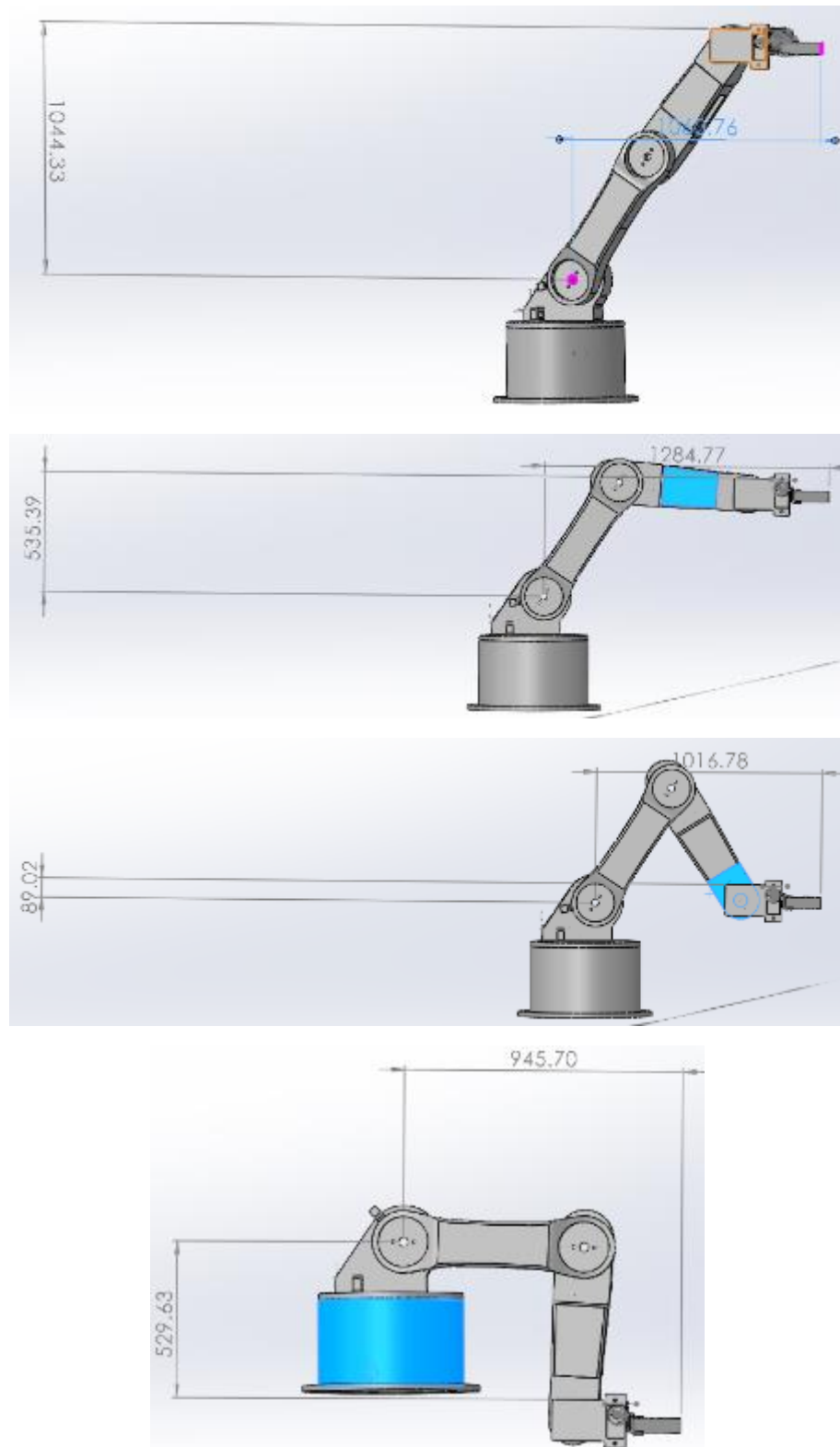


Рисунок 3.33 – Положення маніпулятора

Для побудови робочої зони маніпулятора було прийнято розмістити початок системи координат в точку обертання. Після побудови робочої зони в площині xOy , перейшли до площини xOz , в якій побудова проходила через кут

повороту платформи та “зап’ястя” та x -координату. Кут повороту платформи дорівнює 180 градусів. На другій епюрі чітко відслідковується актуальність “зап’ястного суглоба”; на рис. 3.34 (а) видно, що кінцівки захвату знаходяться за віссю обертання і при обертанні платформи т. А залишається на місці, натомість саме “зап’ястний суглоб” додає ще один ступінь вільності, і навіть в такому положенні, коли рух платформи не змінить положення захвату, то є така ланка, яка дозволяє зробити півоберт аж до перетину вісі обертання, де вже включається платформа.

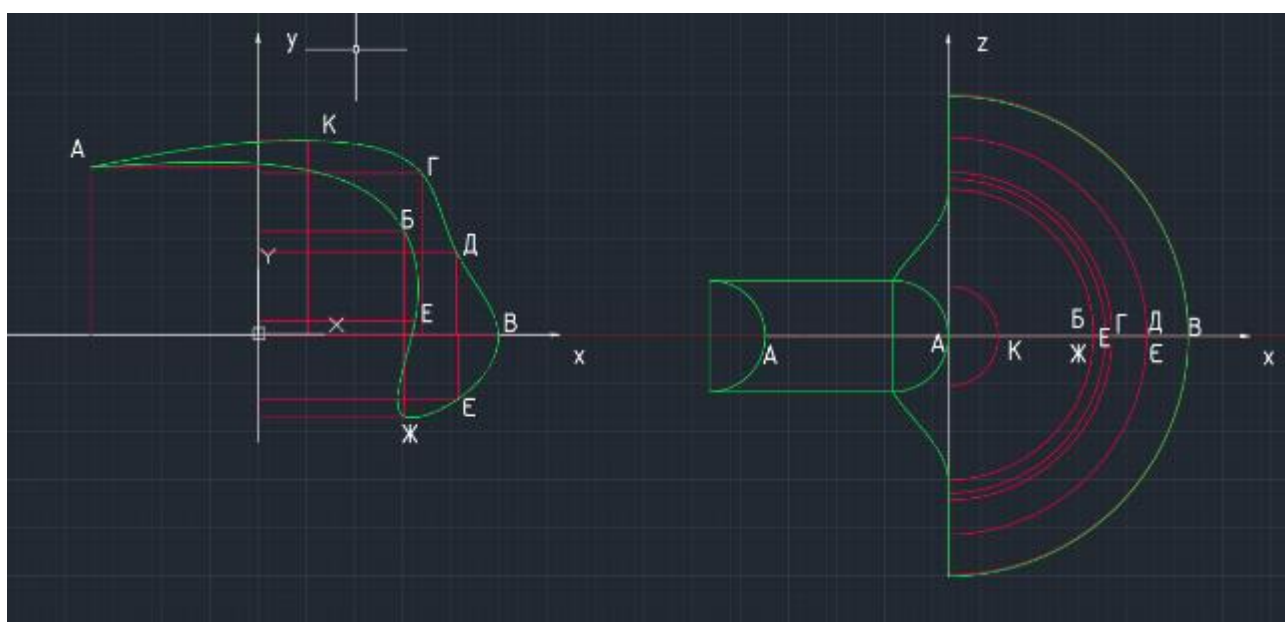


Рисунок 3.34 – Робоча зона маніпулятора

3.4 Висновки з розділу

Виконавши теоретичні дослідження запропоновано структурну схему робота-маніпулятора для збирання плодів овочів та фруктів у теплицях, для якого були визначені геометричні параметри ланок виконавчого механізму, та досліджено їх кінематику. Використовуючи спеціалізовані програмне забезпечення було створено віртуальну модель маніпулятора, та виконано динамічний аналіз із застосуванням сучасних засобів імітаційного моделювання SolidWorks.

4. ОХОРОНА ПРАЦІ ТА ЗАХИСТ НАВКОЛИШНЬОГО СЕРЕДОВИЩА

Охорона праці при роботі в теплицях є важливою складовою забезпечення безпеки та здоров'я працівників, які займаються вирощуванням овочів і фруктів. Цей вид діяльності передбачає виконання різноманітних робіт у специфічних умовах, що можуть нести ризики для здоров'я. Основними нормативними документами, що регулюють питання охорони праці в Україні, є Закон України «Про охорону праці», «Правила охорони праці в сільськогосподарському виробництві» та інші акти законодавства.

Робота в теплицях супроводжується рядом потенційних ризиків:

– хімічні ризики: використання пестицидів, гербіцидів та інших агрохімікатів;

– фізичні ризики: вплив високих температур, вологості та недостатньої вентиляції;

– біологічні ризики: контакт з патогенними мікроорганізмами, алергенами та шкідниками;

– механічні ризики: травми від сільськогосподарського обладнання та інструментів;

– ергономічні ризики: незручні робочі пози та тривале виконання однотипних операцій.

Закон України «Про охорону праці» встановлює загальні вимоги щодо забезпечення безпеки працівників. Специфічні вимоги до сільськогосподарських робіт визначаються такими документами:

1. «Правила охорони праці в сільськогосподарському виробництві». Вони містять положення про організацію безпечних умов праці, порядок проведення інструктажів, вимоги до використання засобів індивідуального захисту (ЗІЗ).

2. «Державні санітарні норми і правила». Ці документи регулюють допустимі рівні шкідливих факторів, таких як хімічні речовини, мікроклімат та біологічні чинники.

3. «Накази Міністерства охорони здоров'я України». Вони встановлюють нормативи щодо використання агрохімікатів та інших потенційно небезпечних матеріалів.

Для забезпечення безпеки працівників у теплицях необхідно:

- навчання та інструктаж: регулярне проведення вступних, первинних, повторних, позапланових та цільових інструктажів з охорони праці;
- використання ЗІЗ: Забезпечення працівників засобами індивідуального захисту, такими як рукавиці, респіратори, захисний одяг;
- вентиляція та мікроклімат: Організація ефективної системи вентиляції для підтримання оптимального мікроклімату в теплицях;
- безпечне використання хімічних речовин: Дотримання норм і правил зберігання, транспортування та застосування пестицидів та гербіцидів;
- ергономіка та організація праці: Раціональне планування робочих місць та режимів праці з урахуванням ергономічних вимог.

Важливим аспектом є постійний контроль та моніторинг умов праці. Для цього використовуються:

- аудити та інспекції: регулярні перевірки дотримання вимог охорони праці.
- оцінка ризиків: систематичне виявлення та аналіз потенційних небезпек.
- медичні огляди: проведення періодичних медичних оглядів працівників для виявлення професійних захворювань на ранніх стадіях.

Забезпечення охорони праці при роботі в теплицях для вирощування овочів і фруктів є комплексним завданням, яке вимагає системного підходу та дотримання нормативної бази. Виконання цих вимог сприяє зниженню рівня виробничого травматизму та професійних захворювань, що, в свою чергу, забезпечує високу ефективність виробництва та здоров'я працівників.

Інтеграція роботів-маніпуляторів у теплиці для збирання овочів і фруктів значно підвищує ефективність і продуктивність сільськогосподарських операцій. Проте, використання такої техніки також вимагає особливої уваги до питань охорони праці. Це обумовлено необхідністю забезпечення безпеки

працівників, які обслуговують роботизовані системи, а також дотриманням відповідних нормативних документів України.

Персонал повинен пройти навчання з експлуатації роботів-маніпуляторів, включаючи їх програмування, налаштування та обслуговування. Працівники повинні знати про потенційні небезпеки, пов'язані з роботою роботів, і як їх уникнути. Важливо визначити зони безпеки, в яких роботи працюють, та зони, де працівники можуть безпечно перебувати під час роботи роботів. Фізичні бар'єри або огорожі обмежують доступ людей до небезпечних зон під час роботи роботів.

Серед технічних засобів безпеки варто використовувати сенсори для виявлення присутності людей у небезпечній зоні та автоматичного зупинення роботи, а також системи екстреного відключення роботів у випадку виникнення небезпечної ситуації. Використання механізмів, які запобігають несанкціонованому доступу до управління роботом, також є важливим аспектом. Регулярне технічне обслуговування роботів дозволяє запобігати несправностям, а періодичні перевірки систем безпеки забезпечують належне функціонування захисних механізмів.

Працівникам заборонено втручатися в роботу роботів без належного дозволу та підготовки, і вони повинні суворо дотримуватися інструкцій з експлуатації та безпеки. Призначення відповідальних осіб за дотримання правил охорони праці та безпеки, а також постійний контроль і моніторинг забезпечують дотримання правил охорони праці та безпеки.

Додаткові аспекти включають забезпечення комфортної психологічної атмосфери, зниження стресу, пов'язаного з роботою з роботами, і налаштування роботів під специфічні умови теплиць, щоб мінімізувати ризики. Впровадження роботів-маніпуляторів у процес збирання овочів і фруктів у теплицях вимагає ретельного планування і організації заходів з охорони праці. Важливо забезпечити навчання персоналу, технічне оснащення, а також дотримання правил і процедур безпеки для забезпечення ефективної та безпечної роботи.

5 ТЕХНІКО-ЕКОНОМІЧНА ЕФЕКТИВНІСТЬ ПРОЕКТУ

Розраховуючи техніко-економічну ефективність обчислюють затрати на проектування механізму та на його експлуатацію.

При проектуванні загальна маса механізму склала 6 кг, матеріалом був пластик ABS. Одна касета, масою 1 кг і діаметром дроту 1.75 коштує 650 грн. Усі деталі друкуються на 3D-принтері, що здешевлює виробництво.

Далі, приділимо увагу сервоприводам, за допомогою яких приводяться в рух ланки механізму та здійснюються повороти навколо осі. Для зразка використано 6 серводвигунів DS 3115, які коштують 1550 грн: $6 \times 1550 \text{ грн} = 9300 \text{ грн}$. Вартість метизів для з'єднання ланок обійшлась 450 грн. Плата керування і датчики – 5000 грн. Робота на виготовлення – 15000 грн.

Сумарно, затрати на виготовлення макета склали: $650 \times 6 + 9300 + 450 + 5000 + 15000 = 33650 \text{ грн}$. Націнка на продаж складає 50 %, то загальна вартість зразка складає 50475 грн.

Приймаємо теплицю площею 50 м², у якій росте 30 яблунь різних сортів. Урожайність з 1 яблуні – 250 кг/рік. Тоді загальна кількість урожаю складає 7,5 т.

Продуктивність робітника складає близько 0,5 тон/день. Тоді для прибирання урожаю працівник витратить $7,5 / 0,5 = 15$ робочих днів.

Продуктивність робота маніпулятора є меншою і складає 0,06 т/год, тобто для прибирання урожаю робот-маніпулятор витратить $7,5 / (0,06 \times 24) = 5,2$ дня.

Працівник отримує заробітну плату 10 000 грн + соціальний пакет послуг, на випадок лікарняних чи ще якихось надзвичайних подій. Також працівники мають потребу в засобах індивідуального захисту. Тобто, припустимо, що на місяць витрати на робітника складають близько 15 000 грн. Трудові затрати на прибирання всього врожаю яблук складає $14 \times 15000 / 21 = 10714 \text{ грн}$. + за статтею ПКУ підприємець, який має найманих робітників платить за них податок: 1,5% військовий збір і 18 % на доходи фізичних осіб. Тому, загальна сума, яка витрачається на робітника за рік: $10714 \times 1,195 = 12803 \text{ грн}$.

Переходимо до робота-маніпулятора. Перша затрата- купівля, що складає

33650 грн.

Далі, амортизаційні відрахування становлять 15 % від вартості робота за весь місячний період роботи (30 днів), тобто $0,15 \times 50475 / 30$ грн = 252 грн. Аналогічно з ТО: на закупівлю деталей відкладають 15 % від вартості машини $0,15 \times 50475 / 30$ грн = 252 грн.

Також, для виконання ТО потрібен кваліфікований спеціаліст, заробітна плата якого буде більшою ніж у звичайного робітника – $20000 \times 1,195 + 313 +$ надзвичайні ситуації = 31000 грн. Однак тривалість роботи складає 1 день для налаштування робота-маніпулятора. Тоді трудові витрати складають: $31000 \times 1 / 21 = 1476$ грн.

Витрати енергії робота-маніпулятора складають 250 Вт. Враховуючи його час роботи (5,2 дня) маємо $0,25 \times 5,2 \times 24 = 31$ кВт×год. Враховуючи вартість електроенергії: 4,68 грн/(кВт×год) маємо загальні витрати електроенергії $31,2 \times 4,68 = 146$ грн.

Тоді загальні витрати на збирання яблук в теплиці для базового варіанту складають 12803 грн, а для проектного – $252 + 252 + 1476 + 146 = 2126$ грн. При економічний ефект складає – 10677 грн. А питомий економічний ефект складає $10677 / 7,5 = 1423$ грн/т.

Строк окупності капіталовкладень для 1 теплиці із 30 яблунями складає $50475 / 10677 = 4,7$ роки. Для зменшення строку окупності до 1,5 роки необхідно, щоб робот маніпулятор обслуговував теплицю на $50475 / (1,5 \times 1423 \times 0,250) = 94$ яблунь. Так як робот-маніпулятор може працювати 24 години на добу, то тривалість збирання яблук з 95 яблунь складає $94 \times 0,25 / (0,06 \times 24) = 16$ діб, що не перевищує вимоги для збирання яблук.

ВИСНОВКИ

1. Овочівництво та вирощування фруктів на закритому ґрунті дає змогу більш підконтрольно та ефективно отримувати великі врожаї з малих площ, через автоматичне регулювання мікроклімату, який найбільше впливає на розвиток культурної рослини та застосування різних сучасних технологій. Тому ця тема є актуальною на сьогоднішній день. Роботи, які наділені штучним інтелектом, не тільки імітують працю людини, а й виконують її якісніше та продуктивніше, при цьому не травмуючи ґрунт ущільненнями та різними видами ерозії. Щоб вдало сконструювати машину необхідно зважати на агротехнічні вимоги, фізико-механічні властивості плодів, які збирають та на принципи робототехніки та мехатроніки.

2. Проектований робот-маніпулятор має електричний привід; максимальна вантажопід'ємність маніпулятора обмежується максимальною вагою яблука ($0,3 \text{ кг} = 3 \text{ Н}$). Робоча зона роботи обмежується кутовою системою координат; число маніпуляторів – 1. Є мобільним; працює в нормальних умовах. Має збалансовану швидкість та точність роботи, інакше кажучи, нормальні. Робот працює у кутовій системі координат, тож матиме 3 орієнтовних ступені вільності та n-переносних. Проектований робот є автоматичним; за видом алгоритму адаптивним, на випадок, якщо яблука вже опадуть, і їх треба буде підняти, оглянути на наявність дефектів або яблуко буде лежати на технологічній лінії і його треба буде об'їхати; рух систем керування буде позиційним, щоб робот міг виконувати певні дискретні задачі від позиції до позиції.

3. Виконавши теоретичні дослідження запропоновано структурну схему робота-маніпулятора для збирання плодів овочів та фруктів у теплицях, для якого були визначені геометричні параметри ланок виконавчого механізму, та досліджено їх кінематику. Використовуючи спеціалізовані програмне забезпечення було створено віртуальну модель маніпулятора, та виконано динамічний аналіз із застосуванням сучасних засобів імітаційного моделювання SolidWorks.

4. Впровадження роботів-маніпуляторів для збирання овочів і фруктів у теплицях значно підвищує ефективність сільськогосподарських робіт, але вимагає ретельного дотримання заходів з охорони праці. Забезпечення безпеки працівників включає навчання та підготовку персоналу, планування робочого простору, використання технічних засобів безпеки, регулярне обслуговування обладнання, суворе дотримання правил поведінки, відповідальність і контроль, а також увагу до психологічного комфорту працівників. Лише комплексний підхід до охорони праці гарантує ефективну і безпечну інтеграцію роботів у сільськогосподарські процеси.

5. В результаті розрахунку економічної ефективності встановлено для збирання врожаю в теплиці із 30 яблунь економічний ефект від впровадження робота-маніпулятора складає 10677 грн., або 1423 грн/т. При цьому строк окупності складає 4,7 роки. Для зменшення строку окупності до 1,5 роки необхідно, щоб робот-маніпулятор обслуговував теплицю на 94 яблуні.

ЛІТЕРАТУРА

1. Boltianskyi B.V. Reducing energy expenses in the production of pork. WayScience. Dnipro, Ukraine, 2021. P.1. С. 27-29.
2. Boltianska N.I. Prospects for nanotechnology in poultry farming. Інноваційні технології в АПК: матер. VII Всеукраїнської науково-практичної конференції. Луцьк: Луцький НТУ. 2021. С. 7-8. URL: <http://www.tsatu.edu.ua/tsst/wp-content/uploads/sites/6/serebryakova-2020.pdf>
3. Manita I. Environmental benefits of organic agricultural production. Молодь і технічний прогрес в АПК: Мат. Міжнародної науково-практичної конференції. Харків: ХНТУСГ. 2021. С. 206-209
4. Польовий робот BoniRob закладає основи сільськогосподарської техніки майбутнього. Компанія Amazone. URL: <https://www.amazone.ru/default2009.asp/>.
5. Solona O., Kovbasa V. Influence of geometric parameters of the treatment shower on the deformation characteristics of the soil when forming a cavity for an anti-filtration screen. Вібрації в техніці та технологіях. 2019. №3(94). С. 76–83.
6. Яхно О.М., Узунов О.В., Луговський О.Ф. та ін. Прикладна гідроаеромеханіка і механотроніка: підручник. Вінниця: ВНТУ, 2017. 711 с.
7. Павленко Т.П., Шавкун В.М., Козлова О.С., Лукашова Н.П. Сучасні електромехатронні комплекси і системи: навч. Посібник. Харків. нац. ун-т міськ. госп-ва ім. О. М. Бекетова. Харків: ХНУМГ ім. О. М. Бекетова, 2019. 116 с.
8. Чубик Р.В., Ярошенко Л.В. Керовані вібраційні технологічні машини: Монографія. Вінниця: ВНАУ, 2011. 355 с.
9. Чубик Р.В., Горбатюк Р.М., Борзов І.Г. Пристрій для автоматизації технологічного процесу віброобразивної обробки деталей. Техніка, енергетика, транспорт АПК. 2016. №1. С. 74–80.
10. Стаднік М. І. Оптимізація функціональної структури системи автоматизації однорідних об'єктів. Вісник Хмельницького національного університету. Технічні науки. 2016. № 3. С. 62–65

11. William Bolton. (2015). *Mechatronics: electronic control systems in mechanical and electrical engineering*. Harlow : Pearson. 663 p.
12. Uwe Kiencke, Lars Nielsen. (2005). *Automotive control systems for engine, driveline, and vehicle*. Berlin : Springer-Verlag, 2005. 521 p.
13. Shawn A. Ballee. (2018). *Industrial Maintenance and Mechatronics*. Goodheart-Willcox; First Edition, Textbook. 944 p.
14. William Bolton. (2013). *Mechatronics: A Multidisciplinary Approach*. Pearson; 5th edition. 638 p.
15. D. Kumar. (2022). *Mechanical Engineering and Mechatronics Handbook*. Mercury Learning and Information. 556 p.
16. Clarence W. De Silva. (2004). *Mechatronics: An Integrated Approach*. CRC Press; 1st edition. 1348 p.
17. Алієв Е.Б. Методичні рекомендації до практичних занять з навчальної дисципліни «Інжиніринг агропромислового машинобудування» для здобувачів третього (освітньо-наукового) рівня вищої освіти спеціальності 133 «Галузеве машинобудування» ОНП «Галузеве машинобудування». Частина 3. Дніпро: ДДАЕУ, 2022. 80 с.
18. Алієв Е., Івлєв В. (2023). Методичні рекомендації до практичних занять з вибіркової навчальної дисципліни «Системи автоматичного керування електроприводами» для здобувачів першого (бакалаврського) рівня вищої освіти спеціальності 208 «Агроінженерія» ОПП «Агроінженерія». Дніпро: ДДАЕУ, 2023. 102 с.
19. Алієв Е. (2023). Конспект лекцій з вибіркової навчальної дисципліни «Системи автоматичного керування електроприводами» для здобувачів першого (бакалаврського) рівня вищої освіти спеціальності 208 «Агроінженерія» ОПП «Агроінженерія». Дніпро: ДДАЕУ, 2023. 118 с.
20. Алієв Е. (2023). Методичні рекомендації для самостійного опрацювання тем програми навчальної дисципліни «Системи автоматичного керування електроприводами» для здобувачів першого (бакалаврського) рівня

вищої освіти спеціальності 208 «Агроінженерія» ОПП «Агроінженерія». Дніпро: ДДАЕУ, 2023. 20 с.

21. Алієв Е., Білоус І. (2023). Методичні рекомендації до практичних занять з вибіркової навчальної дисципліни «Тривимірне моделювання робочих органів сільськогосподарських машин» для здобувачів першого (бакалаврського) рівня вищої освіти спеціальності 208 «Агроінженерія» ОПП «Агроінженерія». Дніпро: ДДАЕУ, 2023. 112 с.

22. Алієв Е. (2023). Конспект лекцій з вибіркової навчальної дисципліни «Тривимірне моделювання робочих органів сільськогосподарських машин» для здобувачів першого (бакалаврського) рівня вищої освіти спеціальності 208 «Агроінженерія» ОПП «Агроінженерія». Дніпро: ДДАЕУ, 2023. 416 с.

23. Алієв Е. (2023). Методичні рекомендації для самостійного опрацювання тем програми навчальної дисципліни «Тривимірне моделювання робочих органів сільськогосподарських машин» для здобувачів першого (бакалаврського) рівня вищої освіти спеціальності 208 «Агроінженерія» ОПП «Агроінженерія». Дніпро: ДДАЕУ, 2023. 20 с.

24. Алієв Е. Б. (2022). Автоматичне фенотипування насінневого матеріалу соняшнику: монографія. Київ: Аграрна наука. 104 с. ISBN 978-966-540-540-5.

25. Алієв Е. Б. (2023). Чисельне моделювання процесів агропромислового виробництва: підручник. Київ: Аграрна наука, 340 с. ISBN 978-966-540-584-9. DOI: 10.31073/978-966-540-584-9

26. Адамчук В. В. Система техніко-технологічного забезпечення виробництва продукції рослинництва. Київ. Аграрна наука, 2020. 416 с.

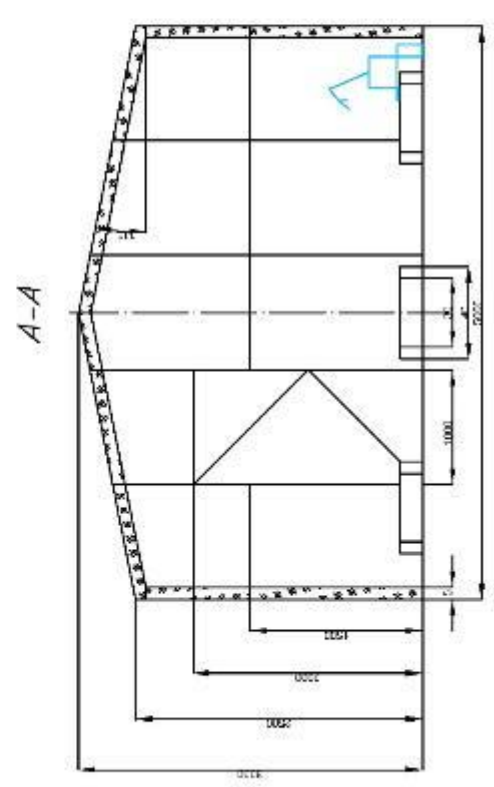
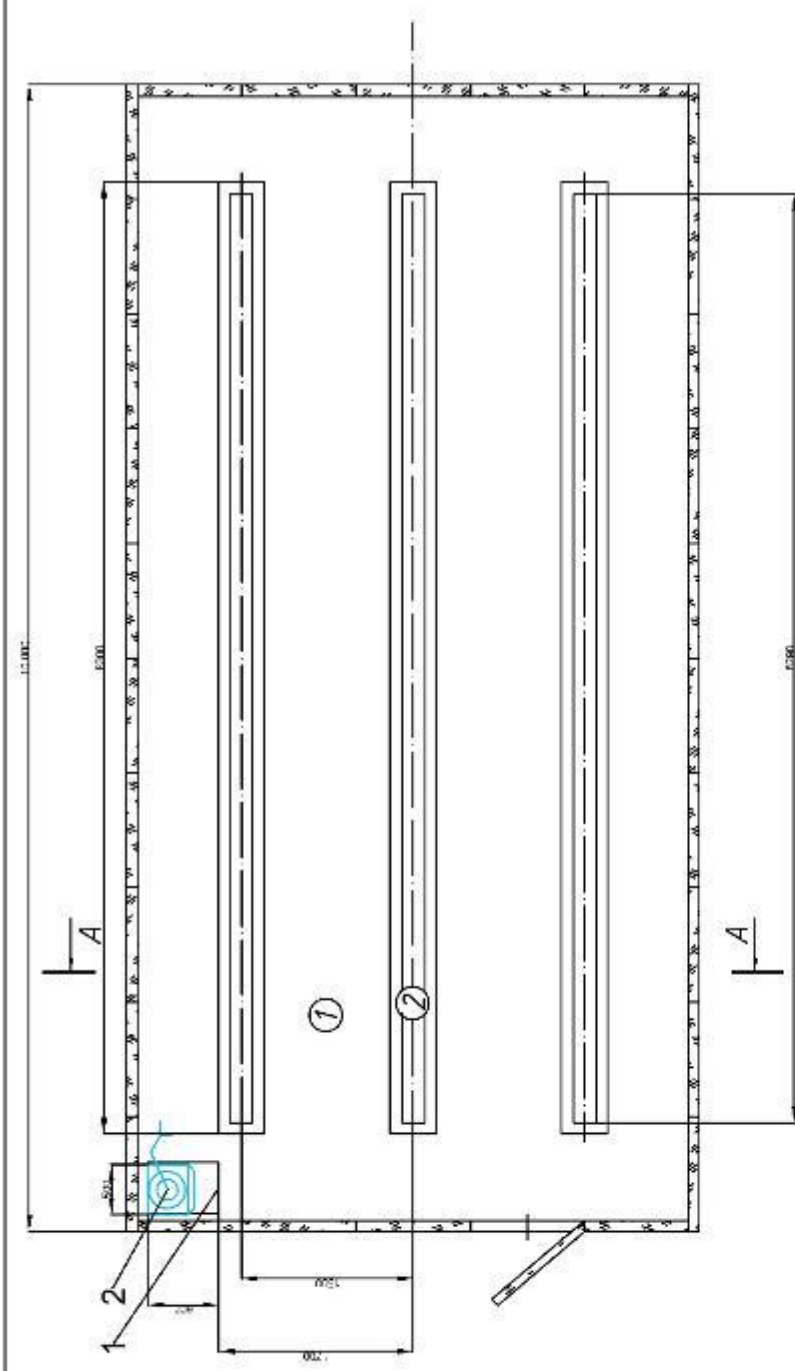
27. Войтюк В. Д. Управління системами машин у виробничих процесах рослинництва. Ніжин : Аспект-Поліграф, 2020. 503 с.

28. Войтюк В. Д. Якість, стандартизація, метрологія та сертифікація сільськогосподарської техніки. Полтава : Крюков Ю. С. 2014. 287 с.

29. Войтюк Д. Г. Сільськогосподарські машини. Основи теорії та розрахунку. Київ. Вища освіта, 2020. 464 с.

30. Войтюк Д. Г., Гаврилюк Г. Р. Сільськогосподарські машини: підручник. К.: Каравела, 2004. 552 с.
31. Дубовик В. П., Юрик І. І. Вища математика. К.: Ігнатекс-Україна, 2013. 648 с.
32. Кобець А. С. Механіко-технологічні властивості сільськогосподарських матеріалів. Дніпропетровськ, 2019. 84 с.
33. Теоретичні та практичні питання аграрної науки: Колективна монографія / за заг. ред. А. С. Кобця. Дніпро: ЛІРА, 2023. 580 с.
34. Ловейкін В. С. Динамічна оптимізація підйомних машин. Харків: Видавництво ХНАДУ, 2020. 302 с.
35. Ловейкін В. С., Ромасевич Ю. О. Динаміка машин. Київ : Компринт, 2020. 240 с.
36. Надикто В. Т. Нові мобільні енергетичні засоби України. Теоретичні основи використання в земліробстві. Мелітополь : ТДАТА, 2016. 337 с.
37. Орловський Б. В. Мехатроніка в галузевому машинобудуванні: навчальний посібник. Київ. КНУТД. 2018. 416 с.
38. Павловський М.А. Теоретична механіка. Київ: Техніка, 2002. 512 с.
39. Пастушенко С. І., Руденко О. Г., Іщенко В. В. Практикум з теоретичної механіки. Ч.1 Статика. Кінематика. Вінниця, «Нова книга», 2006, 384 с.
40. Пастушенко С. І., Руденко О. Г., Іщенко В.В., Масюткін Є.П. Практикум з теоретичної механіки. Ч.2 Динаміка – Вінниця, «Нова книга», 2007, 544 с.
41. Роговський І. Л., Семеновський О. Є. Техніко-технологічні процеси сільськогосподарського машинобудування. Київ. АграрМедіаГруп. 2018. 328 с.

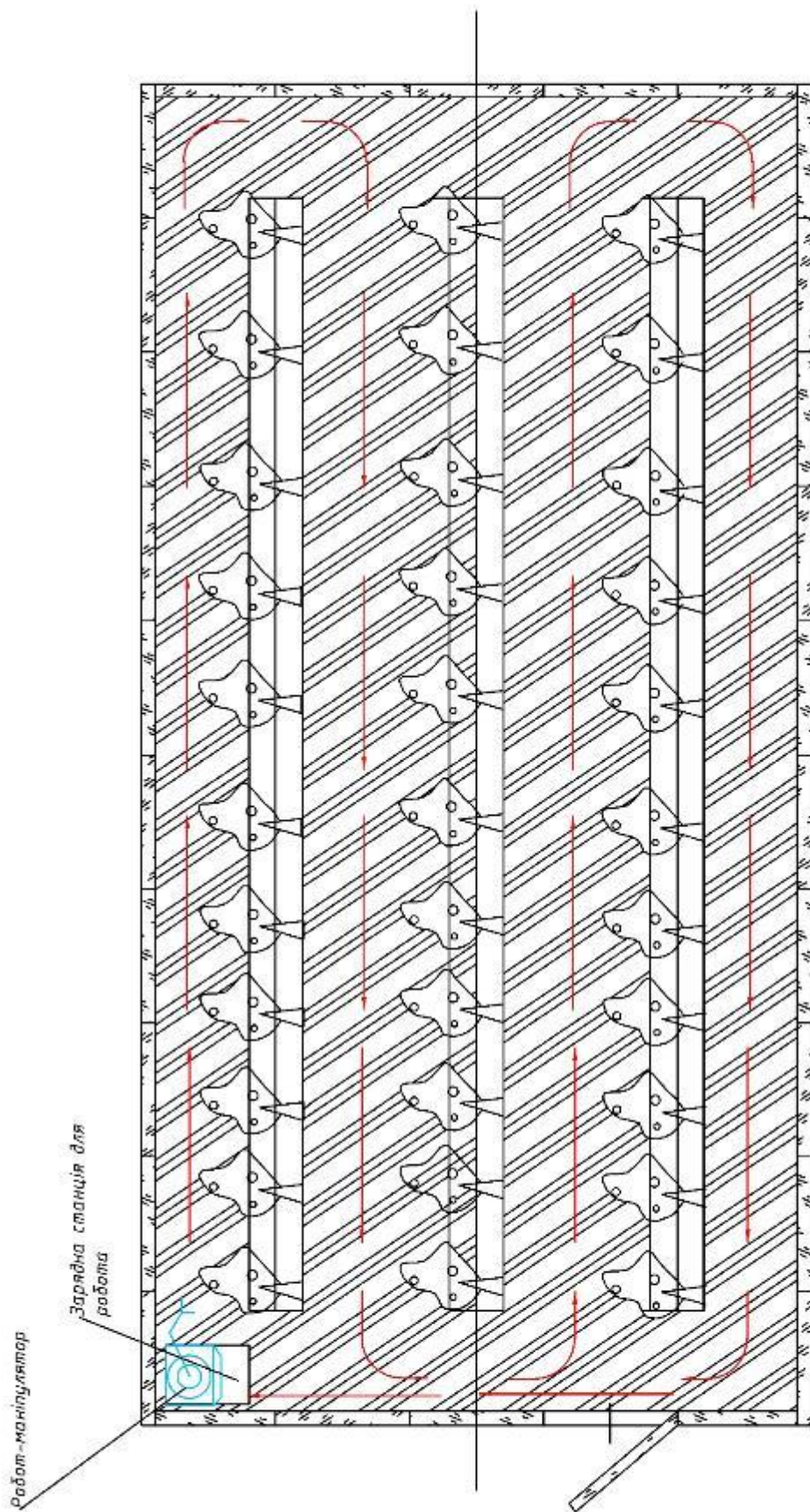
Додатки



Експликація поміщення	
№	Річчя зміни
1	Проектна зміна
2	Додаток до зміни

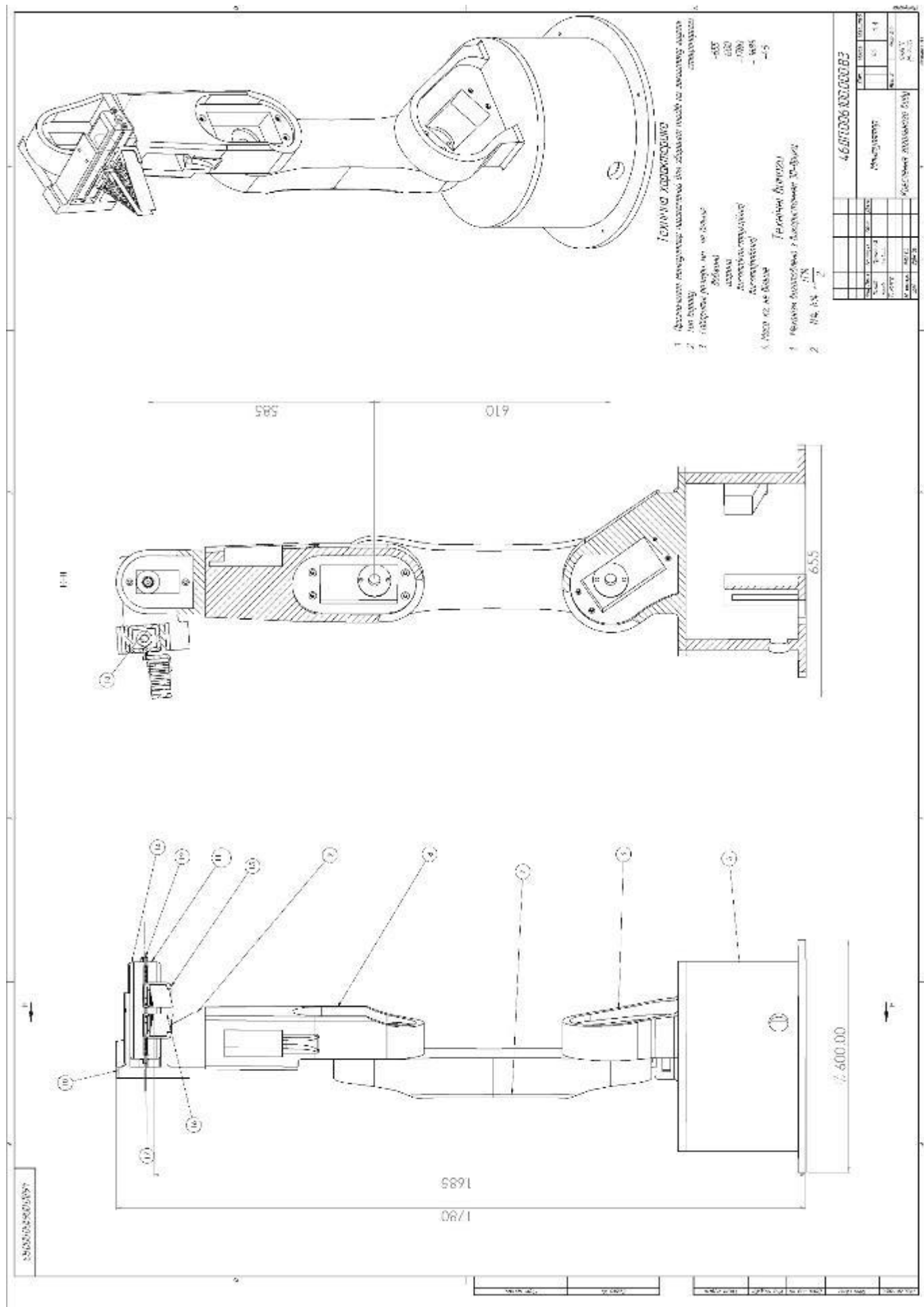
Експлікація об'єкту		№	Висота
№	Назва	1	2
1	Висота	1	1
2	Габарити	1	1

4520 КВАДРАТ		№	Висота
Теплиця		1	2
План, розріз		1	2
1	Висота	1	1
2	Габарити	1	1



Технічні вимоги:
*Зарядна станція повинна знаходитись на відстані 100 мм від стін.

СЕНТЯБРЬ 2014 М. 27	
Теплиця	
№ проєкту	№ проєкту
№ документації	№ документації
№ етапу	№ етапу
Ім'я проєктувальника	
Дата	



- САМОДВИЖУЩАЯСЯ ДИАФРАГА
- 1 Агрегат насосно-мотофорный с электромотором, автоматический регулирующий уровень жидкости на уровне заданном, типа ДНВ-500
 - 2 Корпус насоса
 - 3 Импульс насоса
 - 4 Шпинь насоса
- Техническое задание
1 Разработать чертежи и детали насосно-мотофорного агрегата
2 Ш. А. 1/80

4.6810306.000.00003

№ п/п	Исполнение	Кол-во	Итого		Примечание
			дет.	шт.	
1					
2					
3					
4					
5					

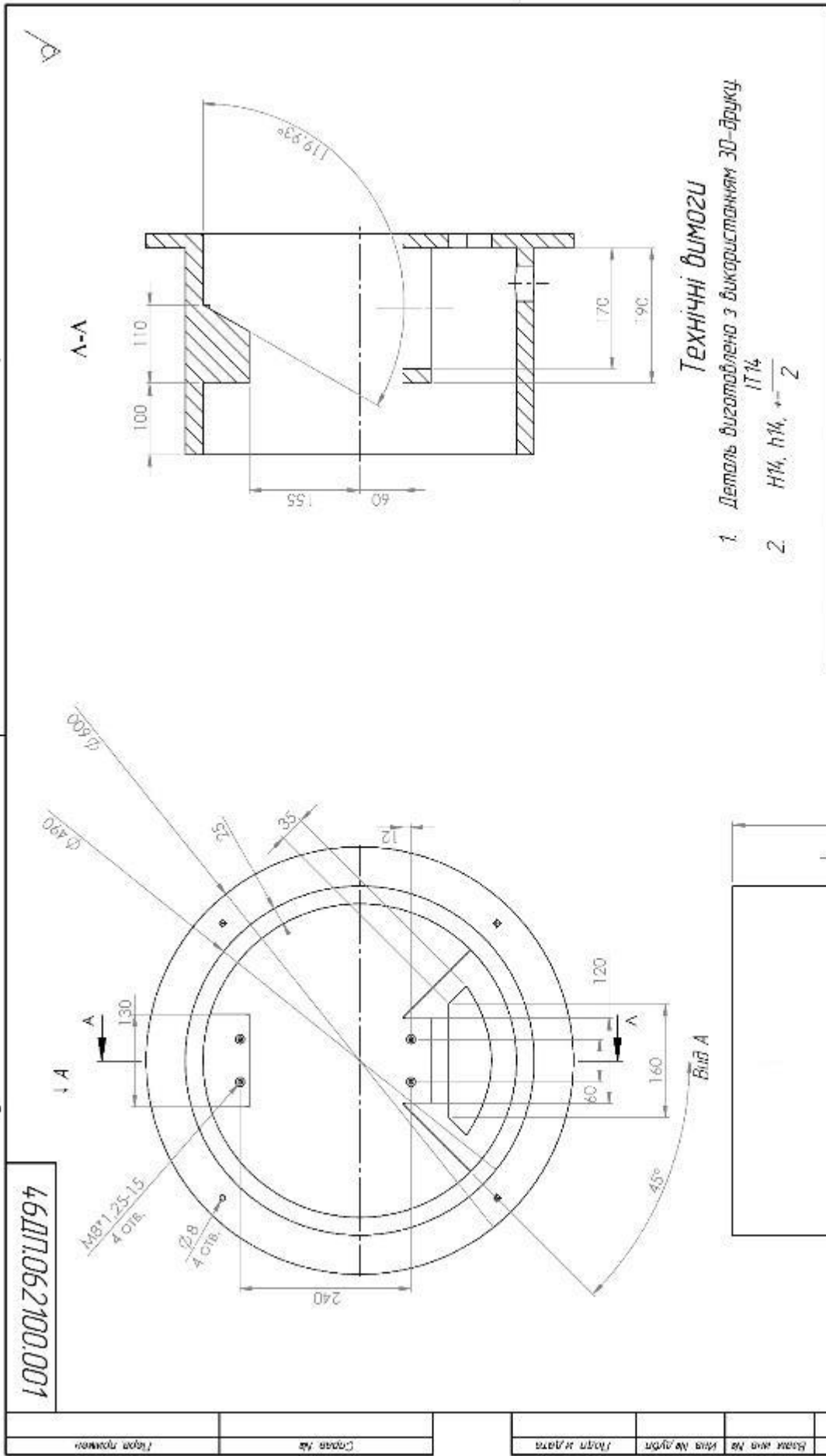
Итого: 1 шт.

САМОДВИЖУЩАЯСЯ ДИАФРАГА

1689
1780

2400.00

Формат А3



Технічні вимоги

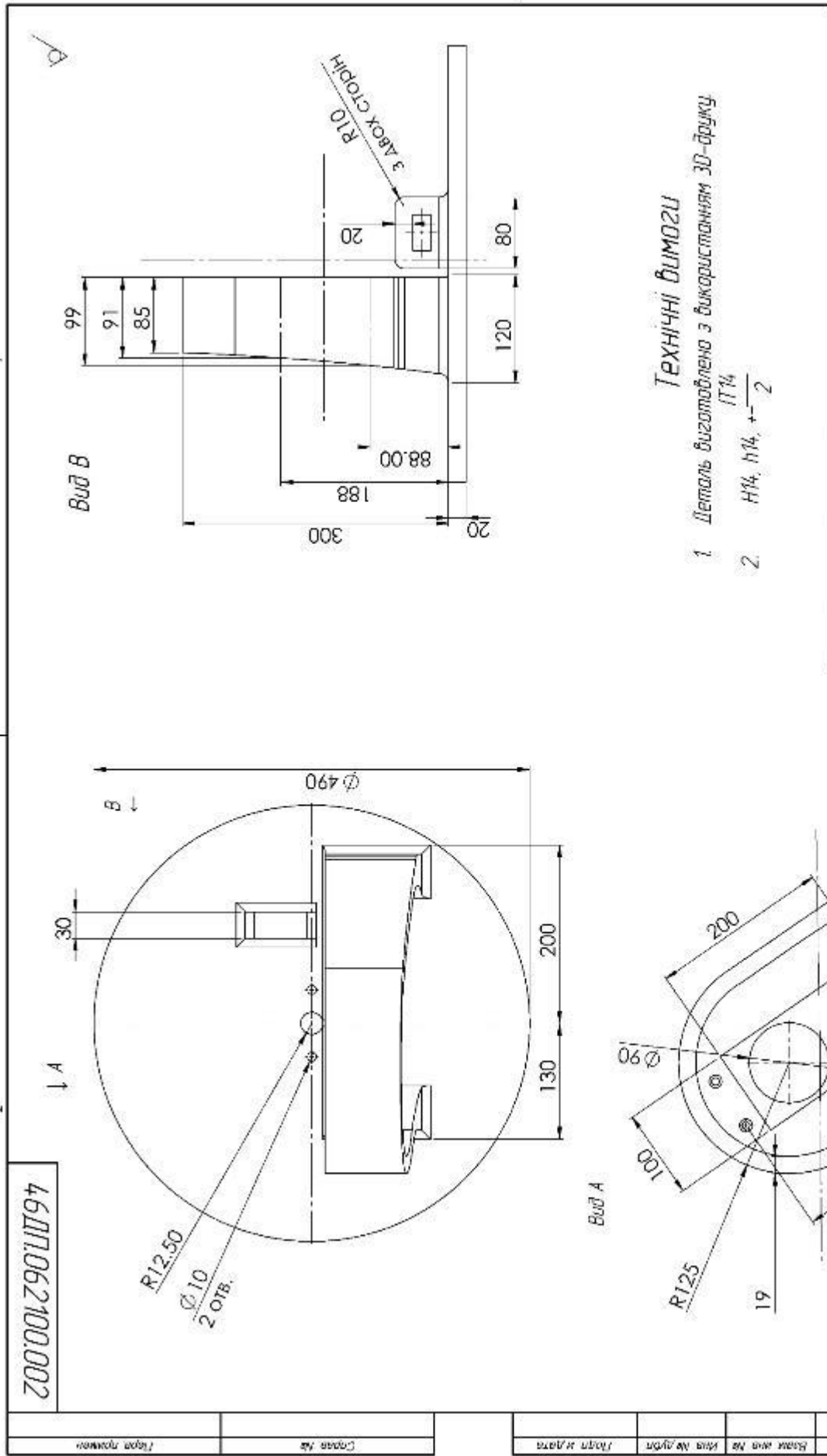
1. Деталь виготовлено з використанням 3D-друку
2. Н14, н14, $\pm \frac{0.1}{2}$

46ДП.062100.001		Мат. Маса Масштаб	
Стіжка		15.3	1:5
ISO 9082-1205 P05TCS- Acrylonitrile-butadiene-styrene (ABS) molding and extrusion materials		Формат А3	
Вид/Лист	№ докум.	ТБС	Дата
Розроб.	Базис	Г.Б.	
Перев.	Аксел.	Г.Б.	
Т. вистр.			
Н. контр.	Дов. 501		
УТВ.	Дов. 501		

46ДП.062100.001

Мова	Українська
Стан	Чернетка
Дата	
Лист	1 з 1
Вид	Технічний
Код	
Назва	
Лист	1 з 1
Дата	

Код: 002 (для формальних документів)



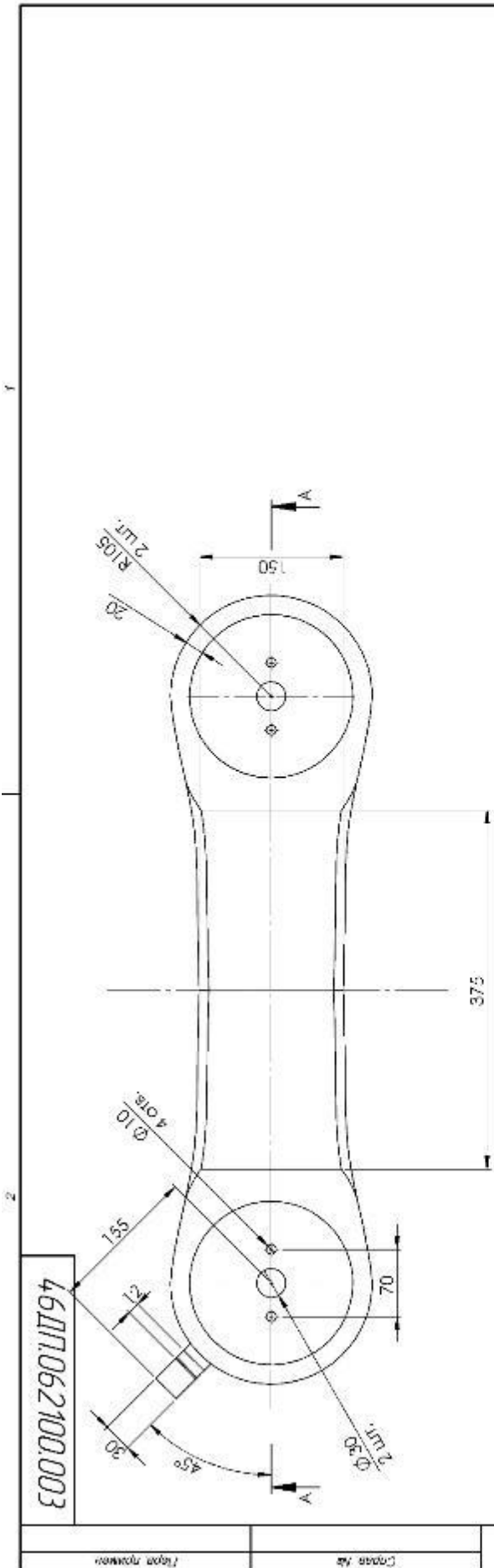
Технічні вимоги

- 1 Деталь виготовлена з використанням 3D-друку
- 2 H14, h14, ± 0.2

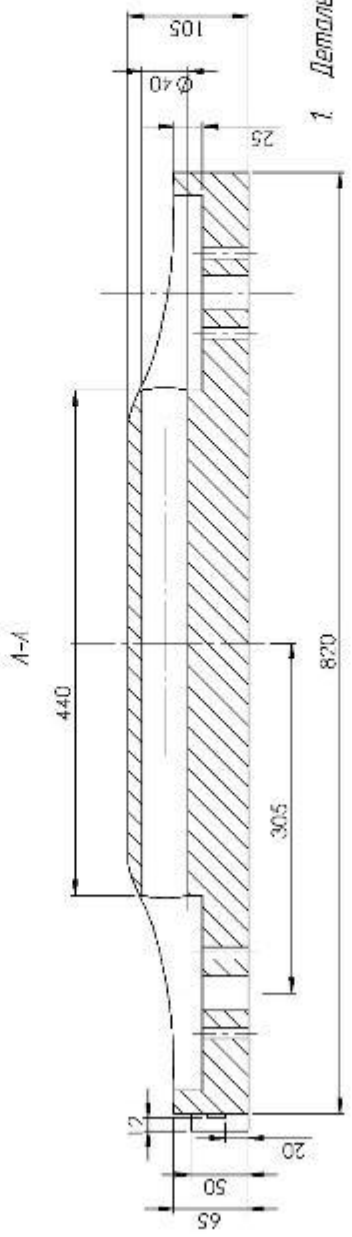
46ДП.062100.002		Платформа		SO 0062-12015, P101CS- Актуальніє-індустріє-сільське ABS molding and extrusion materials	
Лист	Маса	Масштаб	Лист	Маса	Масштаб
	8.6	1:4	Лист 4	Маса 4	Масштаб 4
Формат А3			Формат А3		

Код документа	Дата	Вид зміни	Код зміни	Дата	Вид зміни	Код зміни	Дата

46ДП.062100.002



46ДП.062100.003

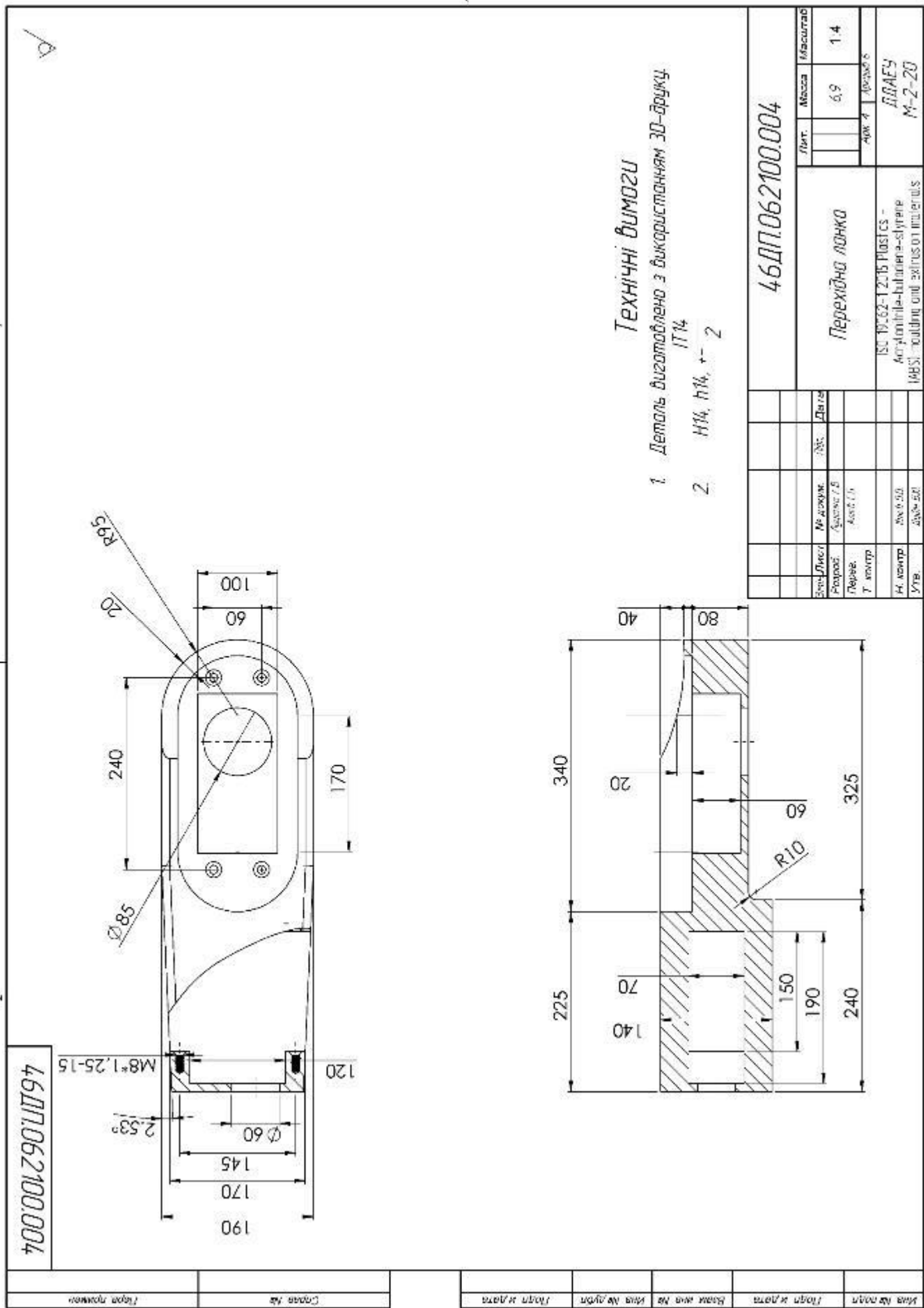


Технічні вимоги

1. Деталь виготовлена з використанням 3D-друку ІТ14
2. $НМ, нМ, ± \frac{1}{2}$

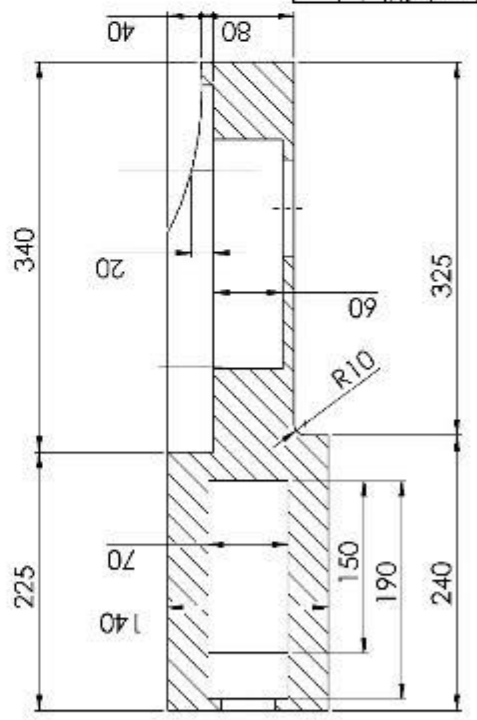
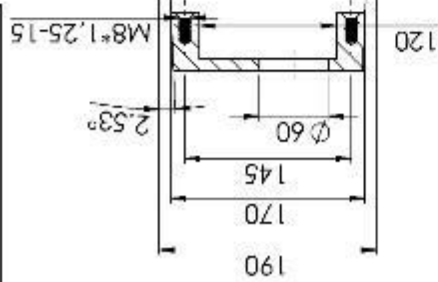
Тип проекту		Справ. №		Дата виготовлення		Вид виготовлення		Вид виготовлення		Вид виготовлення		Вид виготовлення	

46ДП.062100.003											
Коромисло						SO 10062-12016 Plastics- Acrylonitrile-butadiene-styrene ABS moulding and extrusion pellets					
Лист	Маса	Масштаб				Арх. №					
	10.35	1:4				Арх. 4	Арх. 6				
Коромисло						DABEU M-2-20					
						Формат А3					

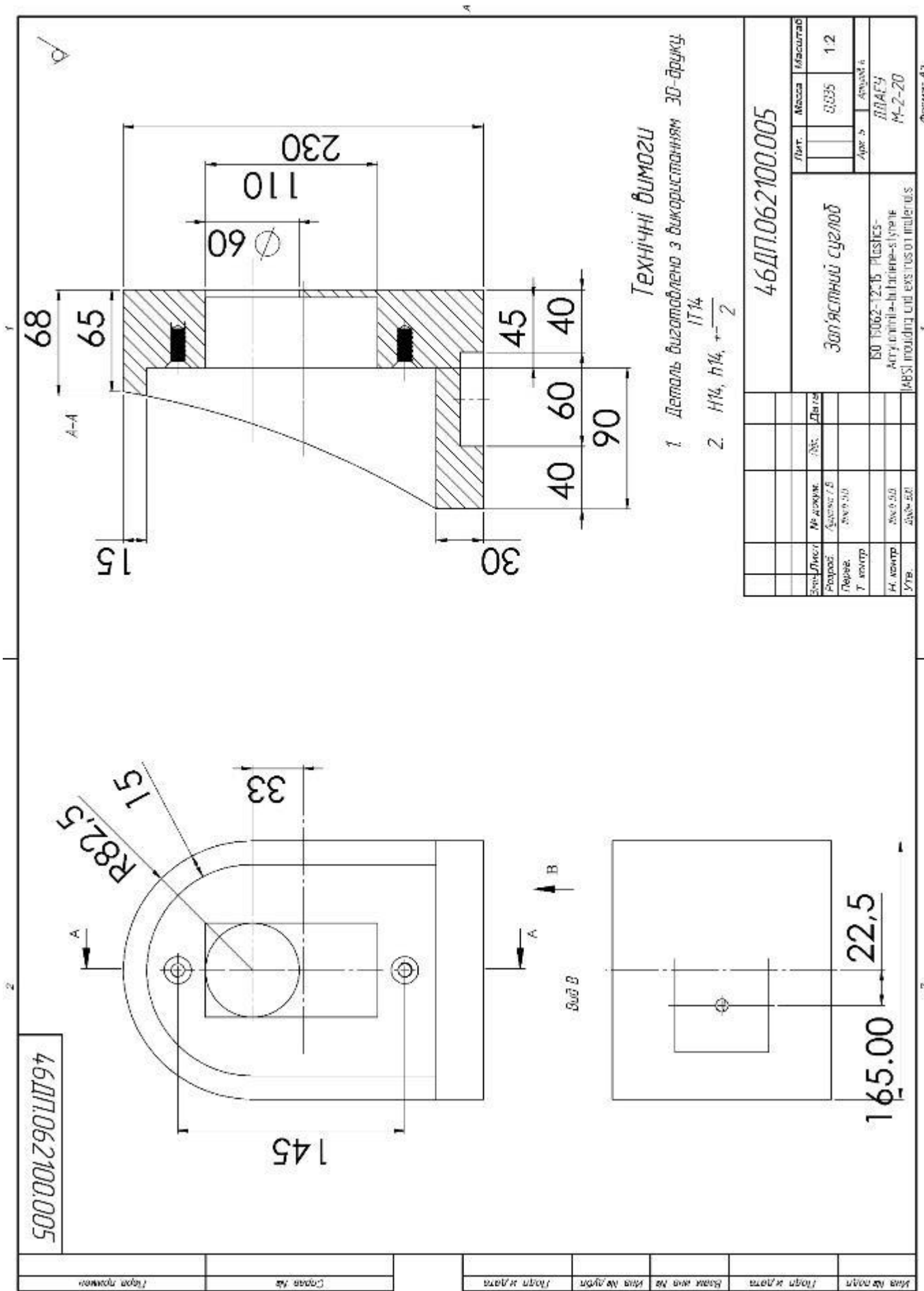


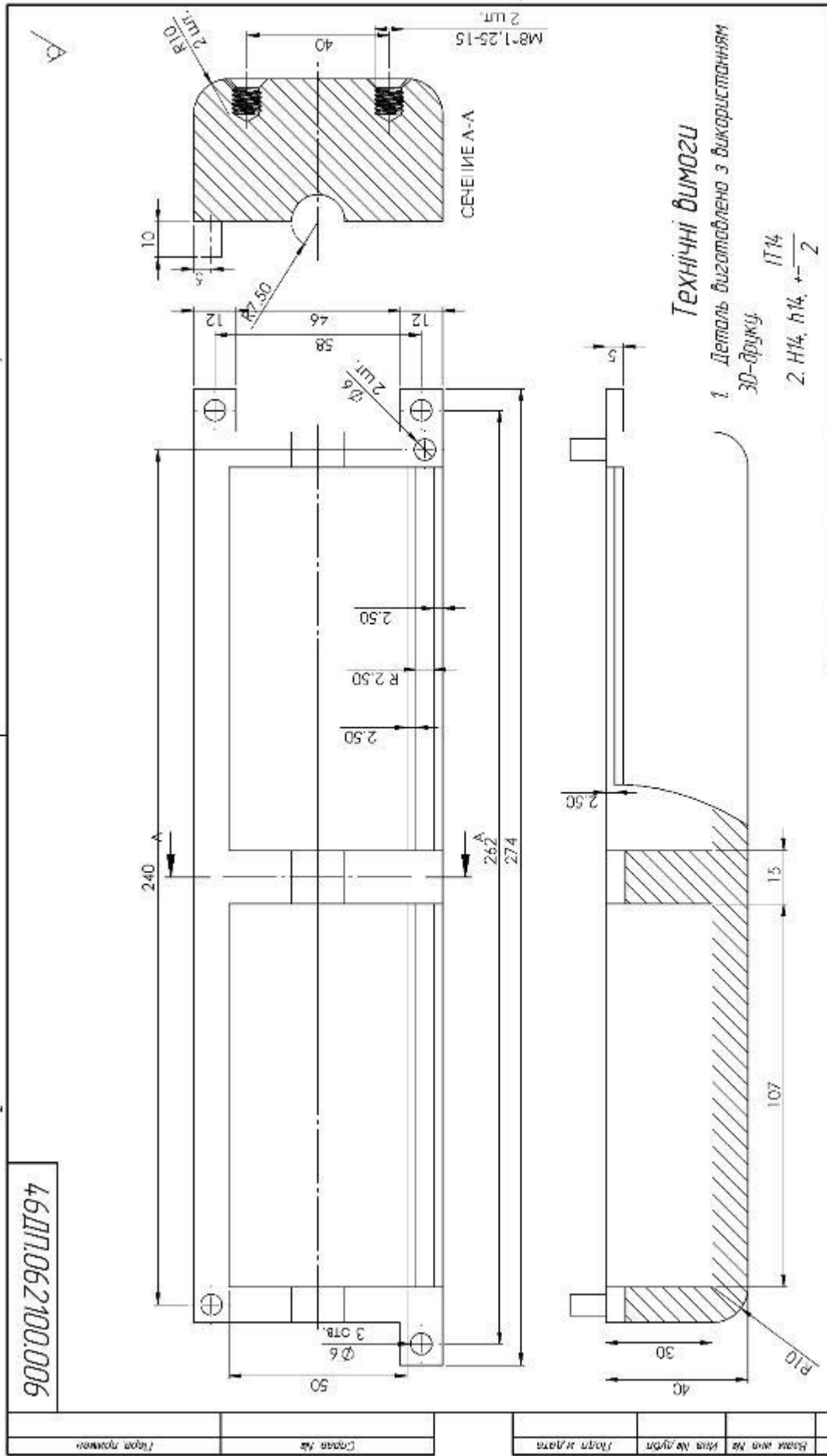
Клас № докт.	Лист № докт.	Клас № докт.	Лист № докт.	Клас № докт.	Лист № докт.	Клас № докт.	Лист № докт.
--------------	--------------	--------------	--------------	--------------	--------------	--------------	--------------

46ДП.062100.004



Тип проекту





Технічні вимоги
 1. Деталь виготовлена з використанням 3D-друку.
 2. Н14, н14, $\pm \frac{0.17}{2}$

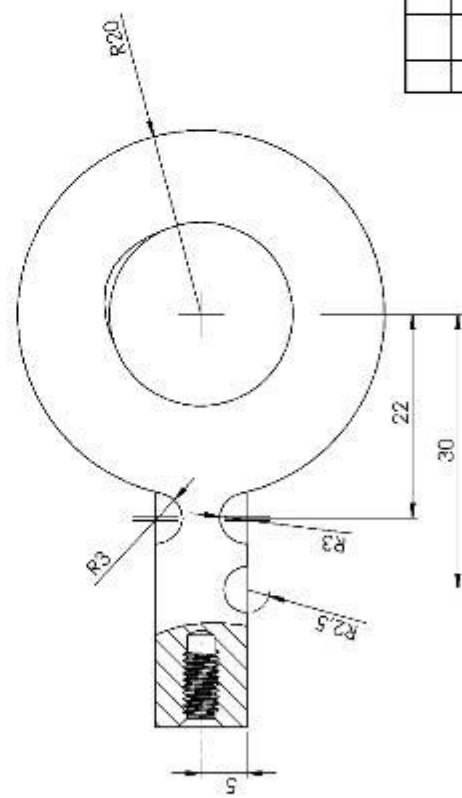
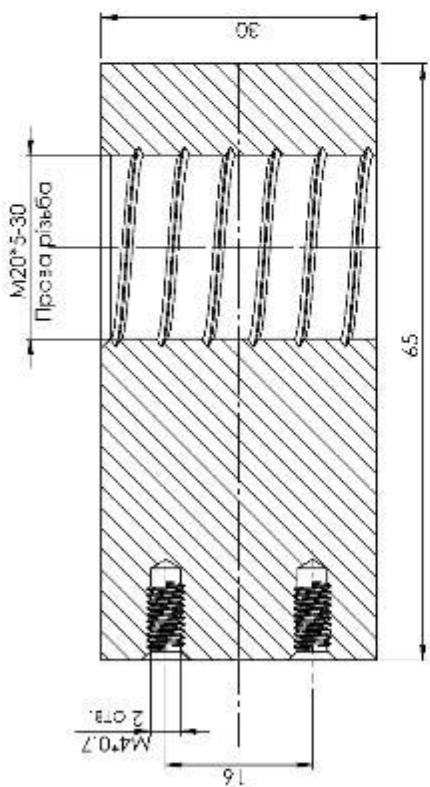
46ДП062100.006

Клас № найт.	Клас №	Тип прив'язки
Клас № найт.	Клас № найт.	Тип прив'язки
Клас № найт.	Клас № найт.	Тип прив'язки

Код	Маса	Масштаб
46ДП062100.006	0.36	1:1
Назва кресла	№ докум.	Дата
НИЖНЯ КРИШКА	46ДП062100.006	
Вид кресла	Розроб.	Лист
	Лінійне	1
	3D-модель	
	3D-модель	
	3D-модель	

SO 90062-12015 PLASTICS	
Acrylonitrile-butadiene-styrene	
ABS moulding and extrusion materials	
Матеріал	Формат А3

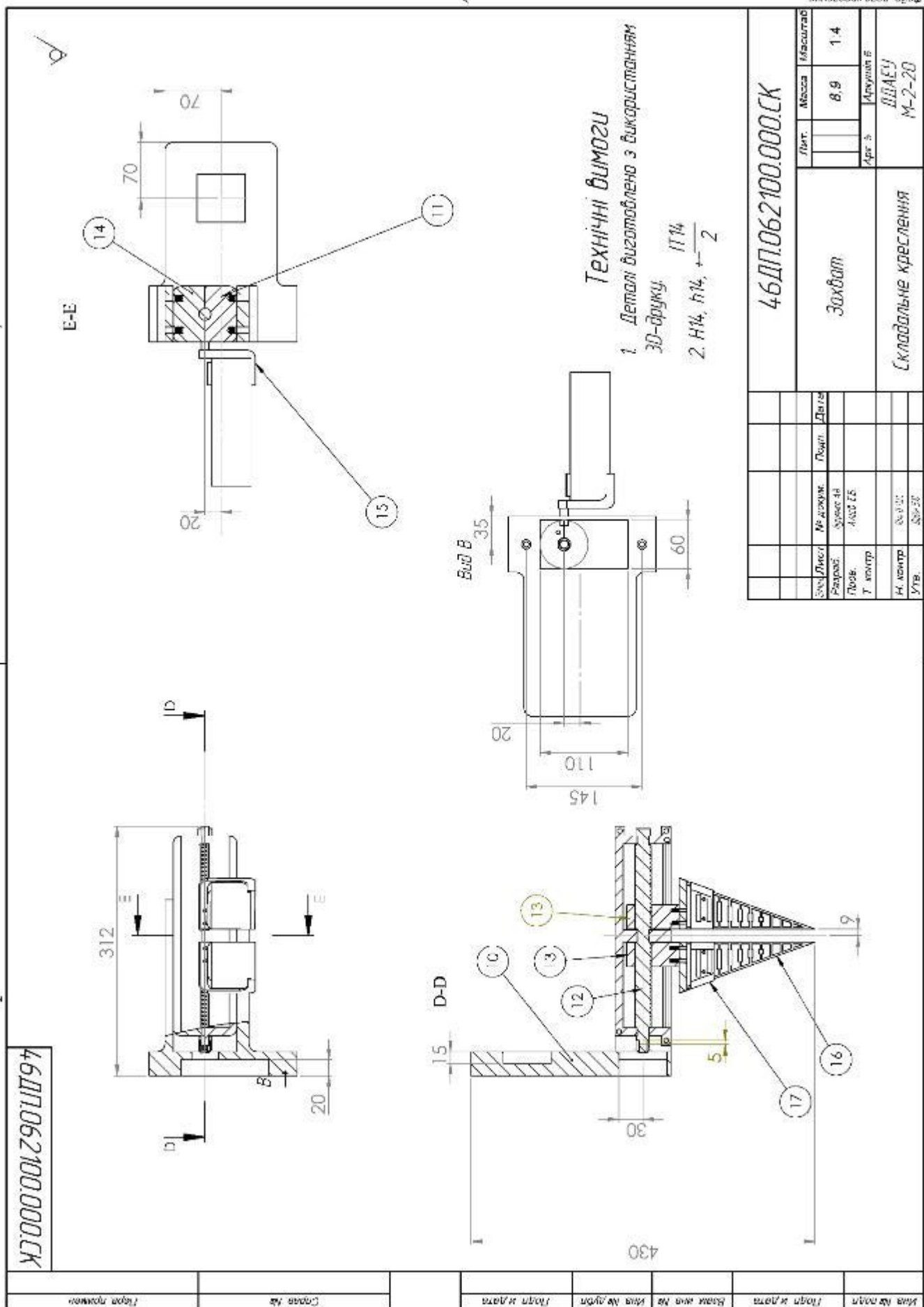
46ДП062100.008



Технічні вимоги

1. Деталь виготовлено з використанням 3D-друку.
2. H14, h14, $+ \frac{0.14}{2}$
3. * Деталь 46ДП062100.008(1) відзеркалена відносно осі Ох та має ліву різьбу

Клас № подл.		План № подл.		Взам № №		Взам № №		План № подл.		Маса		Масштаб	
										0.035		2:1	
										Фронталь			
										46ДП062100.008			
										Ходова муфта			
										права			
										ISO 10062-1:2015 PLASTICS- Addendum 1 to dimension-5 type ABS moulding and extrusion pellets			
										M-2-20			
										Формат А3			



Місце підпису	Дата	Місце підпису	Дата

Тип проекту	Стор. №

Показники	Базовий варіант	Проект
1	2	3
Річний об'єм робіт, т	7.5000	7.5000
Кількість обслуговуючого персоналу	1	1
Продуктивність, т/день	0.5000	0.0600
Питомі річні експлуатаційні витрати, грн:		
-заробітна плата	12803	1476
-амортизація	0	252
-ремонт та ТО	0	252
-витрата електроенергія	0	146
Прямі річні експлуатаційні витрати, грн	12803	2126
Капіталовкладення, грн	0	33 650
Річний економічний ефект, грн	0	10667
Термін окупності капіталовкладень, років	0	4.7000

ІЗДІЯ			
№	Назва	Вартість	Відсоток
1	Ізидія-економіка	10667	100%
2	Ізидія-проект	10667	100%
3	Ізидія-економіка	10667	100%
4	Ізидія-проект	10667	100%
5	Ізидія-економіка	10667	100%
6	Ізидія-проект	10667	100%