

БАКАЛАВРСЬКА РОБОТА

БР.ПМІ-66.00.000 ПЗ

Група ПМІ-21-1

Рибчак Олександр Михайлович

2025

Івано-Франківський національний технічний університет нафти і газу

Інститут інженерної механіки та робототехніки

Кафедра: комп'ютеризованого машинобудування

Рибчак Олександр Михайлович

(прізвище, ім'я, по батькові)

УДК 620.17:681.586

(індекс)

БАКАЛАВРСЬКА РОБОТА

Розробка садового подрібнювача

(назва роботи)

Комп'ютеризовані та роботизовані технології машинобудування

(назва освітньої програми)

131 – Прикладна механіка

(шифр і назва спеціальності)

Рибчак О.М.

(підпис, ініціали та прізвище здобувача освітнього ступеня)

Науковий керівник Врюкало Віктор Володимирович, к.т.н., доцент

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

Допущено до захисту

Завідувач кафедри

професор

(посада)

прізвище)

(підпис)

(дата)

В.Г.Панчук

(ініціали та

Рецензент

(посада)

(підпис)

(дата)

(ініціали та прізвище)

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

Івано-Франківський національний технічний університет нафти і газу

(повне найменування закладу вищої освіти)

Інститут інститут інженерної механіки та робототехніки

Кафедра комп'ютеризованого машинобудування

Освітній рівень Бакалавр

Спеціальність 131 – Прикладна механіка

(шифр і назва)

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри _____

«____» _____ 2025 року

З А В Д А Н Н Я

НА БАКАЛАВРСЬКУ РОБОТУ СТУДЕНТОВІ

Рибчаку Олександр Михайловичу

(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема роботи: Розробка садового подрібнювача

2. Керівник роботи Врюкало В.В. к.т.н., доцент кафедри КМВ

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

затверджені наказом закладу вищої освіти від “06” червня 2025 року № 332 / 7

3. Строк подання студентом роботи 15 червня 2025 р.

4. Вихідні дані до роботи: _____

5. Зміст розрахунково-пояснювальної записки (перелік питань, які потрібно розробити) 1. Огляд літератури та аналіз існуючих рішень. 2. Конструкторська частина. 3. 3D-моделювання та деталювання. 4. Розрахунки та вибір приводу _____.

5. Розробка автоматики подрібнювача _____

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

1. Креслення подрібнювача – 1 лист А1, 2. Деталювання – 2 листи А1 _____

3. 3D-модель садового подрібнювача – 1 лист А1, 4. Схема автоматизації – 1 лист А1 _____

6.Консультанти розділів роботи

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	завдання прийняв
1 - 5	Врюкало В.В., доцент каф. КМВ		

7.Дата видачі завдання 25.02.2025 р.

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва етапів бакалаврської роботи	Термін виконання етапів роботи	Примітки
1	<u>Огляд літератури та аналіз існуючих рішень</u>	10.03.2025	
2	<u>Конструкторська частина</u>	15.04.2025	
3	<u>3D-моделювання та деталювання</u>	05.05.2025	
4	<u>Розрахунки та вибір приводу</u>	15.05.2025	
5	<u>Розробка автоматики подрібнювача</u>	25.05.2025	
6	Оформлення пояснювальної записки та графічної частини	10.06.2025	

Студент Рибчак О.М.
(підпис) (прізвище та ініціали)

Керівник роботи Врюкало В.В.
(підпис) (прізвище та ініціали)

“ _____ ” _____ 2025 р.

Анотація

Бакалаврська робота на тему: «Розробка садового подрібнювача». Дана робота складається з 56 аркушів. До неї входять 22 рисунка. Для написання роботи було використано 14 бібліографічних найменувань.

Об'єкт дослідження: процес подрібнення деревних відходів.

Предмет дослідження: конструктивні особливості та параметри черв'ячного подрібнювача деревних відходів,

Мета роботи: розробка моделі черв'ячного садового подрібнювача,

В бакалаврській роботі було проведено аналіз існуючих рішень для подрібнення деревних відходів, розроблено конструктивну схему черв'ячного подрібнювача, За допомогою програмного забезпечення для автоматизованого проектування було розроблено тривимірну модель черв'ячного подрібнювача. Це дозволило візуалізувати конструкцію, виявити можливі колізії та отримати повний комплект конструкторської документації. Також проведено необхідні розрахунки для забезпечення ефективності та надійності роботи основних вузлів.

Впровадження результатів роботи дозволить знизити витрати на вивезення та захоронення садових відходів, а також забезпечити отримання цінної сировини для опалення або агропромислового використання. Розробка може бути використана для подальшого вдосконалення та серійного виробництва.

Ключові слова: черв'ячний подрібнювач, деревні відходи, 3D-модель, вплив на довкілля, машинобудування, конструювання.

Студент

Рибчак О.М.

Abstract

Bachelor's thesis on the topic: "Development of a garden shredder". This work consists of 56 sheets. It includes 22 figures. 14 bibliographic titles were used to write the work.

Object of research: the process of shredding wood waste.

Subject of research: design features and parameters of a worm shredder for wood waste,

Purpose of work: development of a model of a worm garden shredder,

In the bachelor's thesis, an analysis of existing solutions for shredding wood waste was conducted, a design scheme of a worm shredder was developed, A three-dimensional model of a worm shredder was developed using software for automated design. This allowed us to visualize the design, identify possible collisions and obtain a full set of design documentation. The necessary calculations were also performed to ensure the efficiency and reliability of the main components.

The implementation of the results of the work will reduce the costs of removing and disposing of garden waste, as well as ensure the receipt of valuable raw materials for heating or agro-industrial use. The development can be used for further improvement and serial production.

Keywords: *worm crusher, wood waste, 3D model, environmental impact, mechanical engineering, design.*

Student Rybchak O.M.

ЗМІСТ

Вступ	6
1.ОГЛЯД ЛІТЕРАТУРИ ТА АНАЛІЗ ІСНУЮЧИХ РІШЕНЬ	8
1.1 Екологічні та технічні проблеми утилізації деревинних відходів.....	8
1.2 Основні способи переробки деревинних відходів.....	9
1.3 Огляд сучасних моделей шредерів для деревин.....	10
1.4 Порівняльний аналіз переваг і недоліків існуючих конструкцій.....	11
1.5 Вибір напрямку розробки власного садового подрібнювача	13
2.КОНСТРУЮВАННЯ САДОВОГО ПОДРІБНЮВАЧА	14
2.1 Загальна концепція конструкції	14
2.2 Вибір типу механізму подрібнення.....	15
2.3 Особливості механізму подачі та вивантаження матеріалу	16
2.4 Вибір матеріалів для виготовлення елементів	16
3 3D-МОДЕЛЮВАННЯ ПОДРІБНЮВАЧА	20
3.1 Вибір програмного забезпечення для моделювання (SolidWorks)	20
3.2 Створення 3D моделей елементів шредера.....	20
3.3 Складання всіх деталей у збірку.....	38
4.РОЗРАХУНОК ТА ВИБІР ПРИВІДНОГО ДВИГУНА	44
4.1 Розрахунок	44
5.АВТОМАТИЗАЦІЯ	50
5.1 Елементи автоматизації подачі матеріалу та захисту від перевантаження	50
5.2 Програмування Arduino Uno.....	51
ВИСНОВКИ	55
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ	56

					БР.ПМІ-66.00.000 ПЗ			
<i>Змн.</i>	<i>Арк.</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>	Розробка садового подрібнювача	<i>Літ.</i>	<i>Аркуш</i>	<i>Аркушів</i>
<i>Розроб.</i>		Рибчак О.М.				4	56	
<i>Перевір.</i>		Врюкало В.В						
<i>Н. Контр.</i>		Врюкало В.В				ПМІ-21-1		
<i>Затверд.</i>		Панчук В.Г.						

великі габарити або високу вартість, що обмежує їх застосування в малому бізнесі чи фермерських господарствах.

Саме тому розробка компактного, ефективного та простого у виготовленні шредера, що відповідає вимогам малих підприємств і приватного користування, є надзвичайно актуальною. Такий пристрій дозволить перетворювати деревинні відходи у вторинну сировину або паливо, сприяючи зменшенню негативного впливу на довкілля.

У бакалаврській дипломній роботі проаналізовано основні типи подрібнювальних механізмів, проведено вибір оптимальної конструкції з урахуванням технічних, економічних і екологічних факторів. Створено 3D-модель пристрою, виконано інженерні розрахунки, визначено потужність двигуна, а також підібрано матеріали для виготовлення деталей.

Результати дослідження відповідають сучасним вимогам енергоефективності, ресурсозбереження і екологічної безпеки. Вони можуть бути використані для подальшої реалізації проекту, масштабування конструкції чи серійного виробництва. Конструкція передбачає можливість адаптації під різні умови експлуатації, що значно розширює сфери застосування.

Отже, дана робота має велике практичне значення для підвищення ефективності утилізації деревинних відходів, зменшення обсягів неперероблених матеріалів і впровадження сучасних технологій механічної обробки органічних залишків.

					БР.ПМІ-66.00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.				7

1 ОГЛЯД ЛІТЕРАТУРИ ТА АНАЛІЗ ІСНУЮЧИХ РІШЕНЬ

1.1 Екологічні та технічні проблеми утилізації деревинних відходів

Утилізація деревинних відходів є однією з актуальних проблем сучасної промисловості та екології. Внаслідок розвитку лісозаготівельної, деревообробної та меблевої галузей щорічно утворюються значні обсяги деревинних залишків, таких як гілки, кора, обрізки, тирса та інші відходи. Ці залишки мають значний потенціал для повторного використання, однак їх неправильне зберігання чи спалювання призводить до негативних екологічних наслідків.

Накопичення деревинних відходів спричиняє забруднення навколишнього середовища, створює сприятливі умови для розповсюдження шкідників і хвороб рослин, а також погіршує санітарний стан територій. Неконтрольоване спалювання органічних відходів супроводжується викидами шкідливих речовин у атмосферу, що негативно впливає на якість повітря та здоров'я населення.

З технічної точки зору, утилізація деревинних відходів є складним завданням через неоднорідність сировини, її високу вологість та різну структуру. Ці особливості ускладнюють процеси транспортування, зберігання та подальшої переробки. Для підвищення ефективності використання деревинних залишків необхідне їх попереднє подрібнення, що дозволяє зменшити об'єм матеріалу, покращити умови зберігання та підготувати сировину для виробництва паливної тріски, пелет, добрив та інших вторинних продуктів.

Наявність сучасних технологій подрібнення є ключовою умовою раціонального використання деревинних відходів. Водночас існуючі механізми мають складну конструкцію, великі габарити та значні енергетичні витрати, що обмежує їх застосування у малих і середніх підприємствах. Це зумовлює потребу розробки простих, економічних та ефективних конструкцій, які адаптовані до різних умов роботи.

					БР.ПМІ-66.00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.				8

1.2 Основні способи переробки деревинних відходів

Переробка деревинних відходів є важливим етапом у раціональному використанні лісових ресурсів та збереженні навколишнього середовища. Існує кілька основних способів утилізації та переробки таких відходів, кожен із яких має свої переваги, технічні особливості та сфери застосування.

Одним із найпоширеніших методів є механічна переробка, що передбачає подрібнення деревинних відходів за допомогою різних типів подрібнювального обладнання. Подрібнена сировина може використовуватися для виготовлення паливної тріски, пелет, деревної тирси, а також у виробництві деревно-стружкових плит та інших будівельних матеріалів. Механічна обробка дозволяє значно зменшити об'єм відходів, покращити їх зберігання та транспортування.

Термічна переробка деревинних відходів включає процеси піролізу, газифікації та спалювання з отриманням теплової або електричної енергії. Цей спосіб сприяє зменшенню об'ємів відходів і одночасно забезпечує виробництво енергії, що є важливим з точки зору енергоефективності. Проте для реалізації термічних технологій потрібне спеціальне обладнання і дотримання екологічних норм для запобігання викидам шкідливих речовин.

Біохімічна переробка передбачає використання деревинних відходів як сировини для отримання біогазу, компосту чи інших біопродуктів. Цей метод є екологічно безпечним і дозволяє максимально використовувати органічний склад сировини. Однак біохімічні процеси потребують попередньої підготовки матеріалу, зокрема подрібнення, і мають тривалі терміни проведення.

Важливою складовою ефективної переробки є також комбінований підхід, який поєднує різні методи залежно від типу та характеристик відходів, а також поставлених цілей щодо кінцевого продукту.

Вибір способу переробки залежить від багатьох факторів, серед яких структура і вологість сировини, економічна доцільність, наявність обладнання, а також екологічні вимоги.

					БР.ПМІ-66.00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.				9

1.4 Порівняльний аналіз переваг і недоліків існуючих конструкцій

Для вибору оптимальної конструкції шредера, призначеного для подрібнення деревинних відходів, важливо провести порівняльний аналіз основних типів механізмів, які застосовуються в сучасних моделях. Такий аналіз дозволяє виявити переваги і недоліки кожної конструкції, а також обґрунтувати вибір найбільш раціонального варіанту для розробки.

Ріжучі механізми (Рис. 1.1) забезпечують високу якість подрібнення та рівномірність розміру отриманих фракцій. Основною перевагою таких конструкцій є точність та можливість регулювання розміру частинок. Однак складність виготовлення і потреба у частому технічному обслуговуванні ріжучих елементів знижують їх привабливість для використання у деяких умовах.

Молоткові механізми (Рис. 1.2) відзначаються простотою конструкції та високою продуктивністю. Вони здатні швидко подрібнювати тверді і грубі матеріали, що робить їх ефективними для великих обсягів відходів. Проте їхній недолік полягає у високому рівні шуму, пилу та зношеності робочих елементів, що потребує додаткових заходів щодо безпеки та технічного обслуговування.

Роликові механізми (Рис. 1.3) є енергоефективними і надійними у роботі з вологою сировиною. Вони менш вимогливі до технічного обслуговування і характеризуються довговічністю. Проте недостатня ефективність при обробці твердих і великих фрагментів деревини обмежує сферу їх застосування.

Комбіновані конструкції, які поєднують ріжучі, молоткові та валкові елементи, мають найбільший потенціал з точки зору продуктивності і якості подрібнення. Однак їхня складність і висока вартість можуть бути перешкодою для широкого використання, особливо у малих і середніх підприємствах

Таким чином, вибір оптимальної конструкції шредера має базуватися на балансі між технічними характеристиками, економічною доцільністю та умовами експлуатації. Проведений аналіз дозволяє зробити висновок про доцільність розробки моделі з простим, надійним і водночас ефективним механізмом подрібнення, що враховує особливості деревинних відходів і відповідає сучасним вимогам промисловості.

					БР.ПМІ-66.00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.				11



Рисунок 1.1 – Ріжучі



Рисунок 1.2 – Молоткові



Рисунок 1.3 – Роликові

<i>Змн.</i>	<i>Арк.</i>	<i>№ докум.</i>		

БР.ПІМІ-66.00.000 ПЗ

Арк.

12

1.5 Вибір напрямку розробки власного садового подрібнювача

На основі проведеного аналізу сучасних моделей шредерів та їх конструктивних особливостей виникає необхідність розробки власного пристрою, який би максимально відповідав вимогам ефективного подрібнення деревинних відходів у конкретних умовах експлуатації. Вибір напрямку розробки базується на визначенні пріоритетних характеристик, що забезпечать поєднання надійності, продуктивності та економічної доцільності.

Перш за все, важливо врахувати тип деревинних відходів, які планується обробляти, їх фізико-механічні властивості та умови надходження сировини. Враховуючи різноманітність структури і вологості сировини, доцільно обрати механізм, здатний ефективно працювати з матеріалом різної фракції та ступеня твердості.

Другим важливим фактором є простота конструкції та її технологічність. Власний шредер має бути легким у виготовленні та обслуговуванні, що забезпечить зниження експлуатаційних витрат і підвищить доступність обладнання для переробки в саду.

Також важливим є аспект енергоефективності та безпеки роботи механізму. Обрана конструкція повинна забезпечувати мінімальні енергозатрати при високій продуктивності та відповідати сучасним нормам техніки безпеки.

Враховуючи вказані критерії, пріоритетом стає розробка шредера на базі ріжучого механізму з елементами автоматичного регулювання подачі сировини та захисту від перевантажень. Такий підхід дозволить досягти оптимального балансу між якістю подрібнення, довговічністю обладнання та економічністю.

Таким чином, вибір напрямку розробки власного садового подрібнювача спрямований на створення універсального, ефективного і доступного пристрою, який задовольнятиме потреби сучасного ринку переробки деревинних відходів і сприятиме підвищенню рівня ресурсозбереження та екологічної безпеки.

					БР.ПМІ-66.00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.				13

2 КОНСТРУЮВАННЯ САДОВОГО ПОДРІБНЮВАЧА

2.1 Загальна концепція конструкції

Розробка ефективного шредера для подрібнення деревинних відходів базується на чітко визначеній загальній концепції конструкції, яка враховує функціональні вимоги, технологічні можливості та особливості сировини. Основною метою є створення механізму, здатного забезпечувати якісне та надійне подрібнення різних типів деревинних матеріалів при оптимальних витратах енергії та ресурсів.

Конструкція шредера передбачає використання молоткового механізму, основним робочим елементом якого є обертові загострені диски, що забезпечують високоефективне розділення сировини на фракції заданого розміру. Такий вибір обумовлений необхідністю отримання однорідного продукту, що є важливим для подальшої переробки або утилізації.

Для підвищення надійності та безпеки роботи пристрою конструкція передбачає систему ручного контролю подачі матеріалу. Крім того, важливим елементом є захисний кожух, який забезпечує безпеку оператора та мінімізує розповсюдження пилу і дрібних частинок у робочому просторі.

Каркас шредера розробляється з урахуванням жорсткості та стійкості конструкції, що гарантує стабільність роботи під час обробки важких і великих фрагментів деревини. Використання міцних і зносостійких матеріалів для виготовлення основних елементів забезпечує довготривалу експлуатацію без значних затрат на технічне обслуговування.

Таким чином, загальна концепція конструкції спрямована на поєднання простоти, надійності та високої продуктивності, що дозволить розробити конкурентоспроможний шредер, здатний ефективно працювати в умовах сучасного виробництва деревинних відходів

					БР.ПМІ-66.00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.				14

2.3 Особливості механізму подачі та вивантаження матеріалу

Важливим елементом конструкції шредера є механізм подачі та вивантаження матеріалу, що безпосередньо впливає на ефективність роботи пристрою та зручність його експлуатації. У розробленій моделі садового подрібнювача передбачено ручну подачу деревинних відходів, що забезпечує оператору повний контроль над процесом і можливість регулювання інтенсивності подавання відповідно до характеристик сировини.

Ручна подача матеріалу дозволяє уникнути складних автоматичних систем, що знижує загальну вартість обладнання та спрощує його технічне обслуговування. Крім того, такий підхід підвищує безпеку роботи, оскільки оператор має можливість своєчасно реагувати на можливі неполадки або перевантаження механізму.

Вивантаження подрібненого матеріалу здійснюється через спеціальну шахту, розташовану в нижній частині корпусу пристрою. Така конструктивна особливість забезпечує безперебійний відвід готового продукту з робочої зони, сприяючи безперервній роботі шредера без накопичення відходів у камері подрібнення.

Використання вертикальної шахти для вивантаження дозволяє легко інтегрувати шредер у технологічні лінії або системи збору подрібненого матеріалу, що підвищує універсальність пристрою. Крім того, цей спосіб вивантаження сприяє зниженню забруднення робочої зони та зменшенню пилу, що є важливим з точки зору екологічної безпеки.

Таким чином, обрана схема подачі та вивантаження матеріалу поєднує простоту, надійність та зручність експлуатації, що відповідає вимогам сучасних технологій переробки деревинних відходів.

2.4 Вибір матеріалів для виготовлення елементів

Вибір матеріалів для виготовлення основних елементів шредера є одним із ключових факторів, що впливають на довговічність, надійність та ефективність роботи пристрою. Матеріали мають відповідати експлуатаційним навантаженням, умовам роботи, а також забезпечувати оптимальний баланс між міцністю, зносостійкістю та економічністю.

					БР.ПМІ-66.00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.				16

Для виготовлення ріжучих ножів обрано високоміцні сталі з підвищеною твердістю, що гарантує стійкість до зношування та корозії. Використання таких матеріалів забезпечує тривалий термін служби ріжучих елементів, зменшує потребу у частій їх заміні та підтримує високу якість подрібнення деревинних відходів.

Каркас і основні несучі конструкції шредера передбачено виготовляти зі сталевих профілів або листової сталі, що забезпечує необхідну жорсткість і стійкість механізму до вібрацій та механічних навантажень. Покриття металевих поверхонь антикорозійними засобами збільшує їх стійкість до впливу агресивного середовища, підвищуючи експлуатаційний ресурс.

Для елементів, що не піддаються значним механічним навантаженням, можуть застосовуватися полімерні матеріали або композити, які відзначаються зниженою вагою та корозійною стійкістю. Це сприяє зниженню загальної маси конструкції та покращенню її ергономічних характеристик.

Крім технічних властивостей матеріалів, при виборі враховуються й економічні фактори — доступність сировини, вартість виготовлення та можливість подальшого ремонту або заміни деталей. Такий комплексний підхід дозволяє розробити конструкцію шредера, яка буде надійною, довговічною та конкурентоспроможною на ринку.

- Вибір матеріалу для ножів

Для ріжучих елементів — ножів шредера — необхідно забезпечити високу твердість, зносостійкість та стійкість до ударних навантажень. З урахуванням умов експлуатації, для виготовлення ножів було обрано Сталь Х12МФ.

Ця сталь є легованою інструментальною і характеризується високим вмістом хрому (до 12%), що забезпечує високу зносостійкість та твердість (після термообробки до HRC 60–63). Сталь Х12МФ широко застосовується для виготовлення промислових ножів, інструменту для холодної штамповки, а також ріжучих елементів дробильного обладнання. Така характеристика робить її оптимальним вибором для ножів шредера, що працює з деревиною.

					БР.ПМІ-66.00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.				17



Рисунок 2.2 – Сталь Х12МФ згідно з ГОСТ 5950–2000



Рисунок 2.3 – Сталь 3 згідно з ГОСТ 380–2005

					БР.ПІМІ-66.00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.				19

3 3D- МОДЕЛЮВАННЯ ПОДРІБНЮВАЧА

3.1 Вибір програмного забезпечення для моделювання (SolidWorks)

Вибір програмного забезпечення для тривимірного моделювання є важливим етапом у процесі розробки конструкції шредера, оскільки від нього залежить точність, ефективність та якість візуалізації проектних рішень. Для створення 3D-моделі було обрано програмний комплекс SolidWorks, який є одним із провідних інструментів у сфері інженерного проектування.

SolidWorks надає широкі можливості для моделювання складних механічних систем із урахуванням фізичних властивостей матеріалів і навантажень. Програма дозволяє створювати детальні тривимірні моделі окремих деталей та складальних одиниць, а також виконувати кінематичний та силовий аналіз роботи механізму.

Завдяки високому рівню точності моделювання SolidWorks забезпечує коректність геометрії, що є критично важливим для виготовлення деталей із дотриманням усіх технічних параметрів. Крім того, програмний пакет спрощує автоматизацію створення технічної документації — креслень, специфікацій та інших супровідних матеріалів.

Однією з вагомих переваг є можливість анімаційного моделювання руху механізму, що дозволяє візуалізувати принцип роботи шредера, виявити можливі проблемні зони та провести оптимізацію конструкції на ранніх етапах проектування. Це значно підвищує якість та надійність розробленого пристрою.

Отже, SolidWorks було обрано як оптимальне рішення для розробки тривимірної моделі шредера, яке відповідає сучасним вимогам інженерного проектування та забезпечує високу якість виконання дипломної роботи.

3.2 Створення 3D моделей елементів шредера

Створення каркасу установки:

Формування каркасу (*Рис. 3.1*). Це необхідно, щоб модель відповідала реальній конструкції корпусу шредера, який є не монолітною масою, а коробчастою оболонкою з певною товщиною стінок. Для цього в середовищі SolidWorks я використав функцію **Shell** (оболонка).

					БР.ПМІ-66.00.000 ПЗ	Арк.
						20
Змн.	Арк.	№ докум.				

- **Товщина 5 мм** була вибрана на основі аналізу типових конструкцій подрібнювачів і модулів для механічної переробки твердих матеріалів. Така товщина дозволяє витримати динамічні навантаження, які виникають під час обертання ножів, і є зручною з точки зору виготовлення
- **Відкритий верх корпусу** є конструктивно обґрунтованим, оскільки це значно полегшує процес складання механізму та зменшує складність техобслуговування.
- Також із інтернет ресурсу було завантажено модель коліщат із гальмами для пересування конструкції в саду.

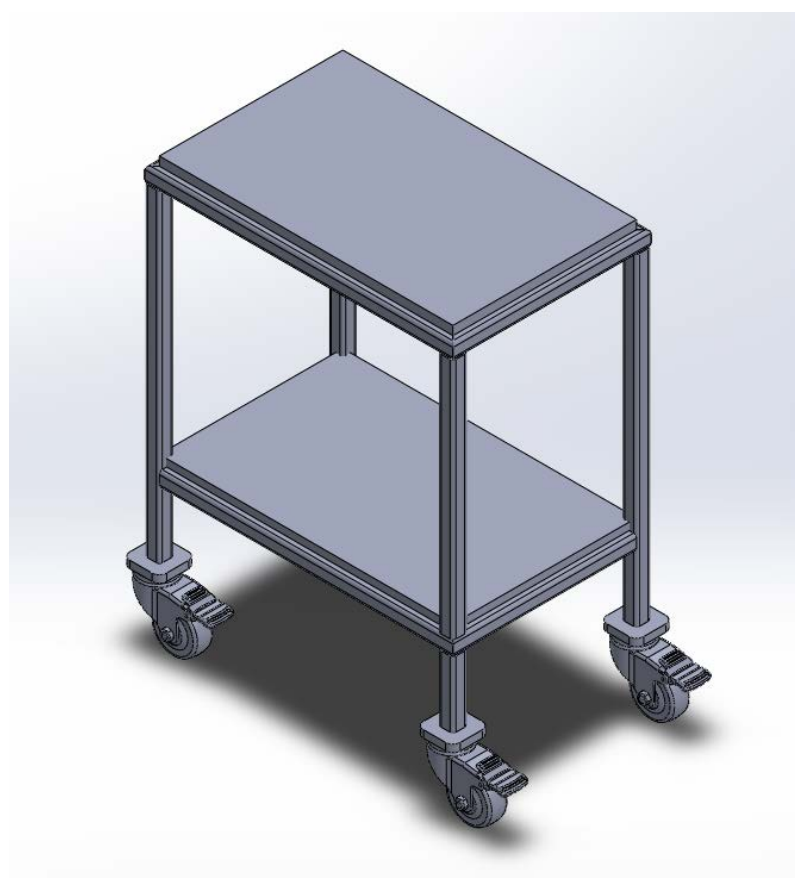


Рисунок 3.1 – Каркас установки

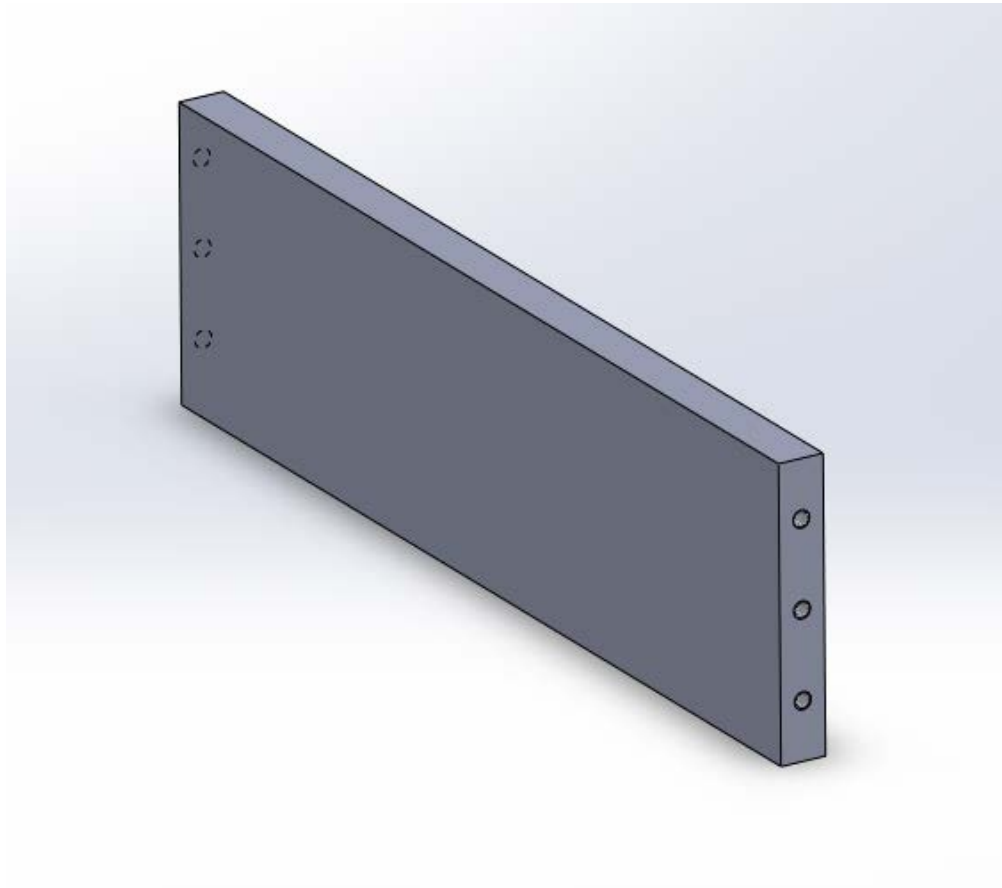




Рисунок 3.5 – Бічний кронштейн шредера

За допомогою інструменту **Line**  я намалював основний контур кронштейна — трапецієподібну форму з розмірами:

- Висота: 150 мм
- Верхня ширина: 100 мм
- Нижня ширина: 140 мм

Ця форма забезпечує достатню площу для кріплення і оптимальну геометрію для жорсткості.

Для визначення товщини кронштейна я накреслив паралельний контур на відстані 10 мм від основного, що відповідало товщині металевого листа.

Після завершення ескізу я застосував команду **Extruded Boss/Base**  з витягуванням на 12 мм для отримання об'ємної форми.


На передній грані кронштейна я створив новий ескіз для монтажних отворів.


					БР.ПМІ-66.00.000 ПЗ	Арк.
						29
Змн.	Арк.	№ докум.				

- Установка шестерень:

На вали встановлювалися шестерні 39Т, які передають обертання з одного вала на інший.

Встановлено Concentric  по отвору в шестерні та валу;

Coincident  — торцева поверхня шестерні з торцем ножового блока;


Gear Mate  — з'єднання між двома шестернями, яке забезпечує синхронне обертання (одна проти іншої).


3.3.4 Установка жолобів

Жолоб:

Модель Top Norper була встановлена поверх корпусу:

Coincident  — площина основи воронки до верхньої площини корпусу;


Center Distance  — вирівнювання отвору Norper з входом у камеру подрібнення

Використано Screw Mates  (умовні кріплення) у вигляді 4 точок опори.

Завантажувальний жолоб:

Завантажувальний жолоб монтується до нижньої частини корпусу, вирівнюється по отвору виходу:

Coincident  — нижня грань корпусу та верхня грань Norper;

Concentric  — вирівнювання отвору для матеріалу.

3.3.5 Додаткові кронштейни

Додаткові кронштейни використовувались для додаткового зміцнення структури та фіксації валів з боків.


Coincident  по зовнішній стінці корпусу;


Parallel  — орієнтація вертикальних граней до граней;

Встановлено Screw Mates  в отворах кріплення.

					БР.ПМІ-66.00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.				40

3.3.6 Обмеження обертання та руху

Gear Mate  між шестернями забезпечує одночасне обертання;

Lock Rotation  — обмежено обертання компонентів, які не повинні рухатись;

Для симуляції роботи залишено лише обертовими два вали й леза.

3.3.7 Встановлення двигуна, створення передачі та прикріплення ручки

На завершення, я виконав:

Interference Detection — перевірку на перетини;

Collision Detection — перевірку на зіткнення при обертанні;

Motion Study — для візуалізації ріжучого процесу шредера.

Двигун **3KW BLDC** було прикріплено на нижній частині шредера під 1 валом для створення надійної ланцюгової передачі.

Для створення ланцюгової передачі (*Рис. 3.11*) я взяв за основу елемент створений раніше “Зубчате колесо” і зменшив його товщину на 6мм. Вже на готовій збірці я вимаряв розміри які потрібні щоб створити передачу від двигуна до вала. За допомогою елемента Spline я створив замкнутий еліпс і визначив його розміри. Далі перевів Part у Assembly за допомогою додаткової геометрії створив 2 осі на 2 краях сплайну де потрібно розмістити зубчаті колеса. Додав 2 зубчаті колеса і підставив їх на місця де вони повинні бути на валі та двигуні, також задав їм параметр Belt щоб вони оберталися синхронно. Імпортував в збірку 2 елемента ланцюга взятих з ресурсу Grabcad і через функцію ChainPatern обвів їх навколо спрайна у кількості 44шт. коли ланцюгова передача була повністю готова через елемент Mates задав спряження Gear з’єднавши зубчате колесо і сам ланцюг, вставив пасову передачу на збірку моделі подрібнювача.

Для зручнішого пересування подрібнювача по саду також було вирішено додати ручку для його переміщення взята вона була також з інтернет ресурсу

Grabcad і приєднана із протилежного боку від ланцюгової передачі (*Рис. 3.12*).

										Арк.
										41
Змн.	Арк.	№ докум.								

забезпечує точну функціональність усієї конструкції при симуляції обертання валів відносно двигуна.

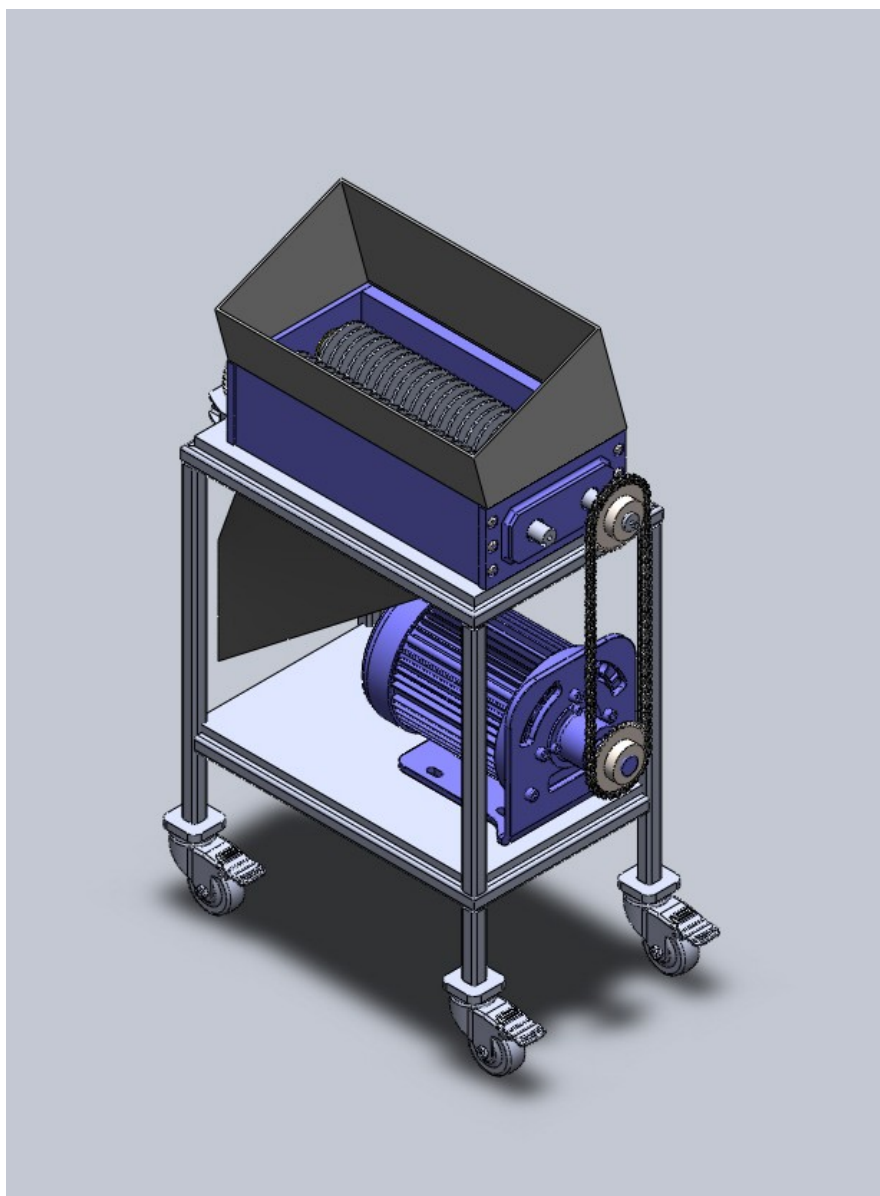


Рисунок 3.13 – Збірка

					БР.ПІМІ-66.00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.				43

4. РОЗРАХУНОК ТА ВИБІР ПРИВІДНОГО ДВИГУНА

4.1 Розрахунок

Вхідні дані:

У якості об'єкта подрібнення в шредері використано дерев'яні гілки середньої щільності (наприклад, акація або яблуня), що мають середню міцність при зминанні $\sigma_{зм} \approx 35\text{--}50$ МПа.

Для розрахунку приймаємо:

- Максимальний діаметр гілки: 25 мм
- Середній опір різанню деревини: $\sigma_p \approx 40$ МПа
- Кількість ножів на валах: 26 і 25 відповідно
- Кількість ріжучих зубців на одному ножі: 30
- Матеріал ножів: Сталь Х12МФ
- Матеріал вала: Сталь 40Х
- Швидкість обертання валів: приймаємо 80 об/хв (оптимальна

швидкість для гілок діаметром до 30 мм)

Розрахунок сили різання одного зубця:

Для попередньої оцінки сили різання можна використати формулу:

$$F_{\{p\}} = \sigma_{\{p\}} \cdot A$$

де:

$F_{\{p\}}$ — сила різання (Н)

$\sigma_{\{p\}}$ — питомий опір різанню, приймаємо 40 МПа

A — площа контакту ножа з гілкою

Отже:

Висота зубця: 10 мм

Ширина зубця: 2 мм

$$A = 10 \cdot 2 = 20 \text{ мм}^2 = 20 \cdot 10^{-6} \text{ м}^2$$

$$F_p = 40 \cdot 10^6 \cdot 20 \cdot 10^{-6} = 800 \text{ Н}$$

Отже, сила різання одного зубця ≈ 800 Н.

					БР.ПМІ-66.00.000 ПЗ	Арк.
						44
Змн.	Арк.	№ докум.				

Сумарне навантаження на вал під час контакту:

На одному валу 26 ножів, кожен має 30 зубців. Але в один момент часу ріже не весь вал, а лише частина активних зубців, які безпосередньо контактують з гілками.

Прийmemo, що в середньому одночасно працюють 4 зубців.

$$F_{\text{сум}} = 4 \cdot 800 = 3200 \text{ Н}$$

Це — пікове значення. Для розрахунку крутного моменту використовуємо спрощену формулу:

$$M = F_{\text{сум}} \cdot r$$

Приймаємо радіус дії сили (r): 75 мм = 0.075 м

$$M = 3200 \cdot 0.075 = 240 \text{ Н}\cdot\text{м}$$

Отже, максимальний крутний момент на валу — близько 240 Н·м.

Розрахунок напруження на валу:

Для перевірки міцності вала (матеріал 40Х, допустиме $\sigma_{\text{доп}} \approx 300$ МПа) виконуємо розрахунок на крутіння:

$$\tau = \frac{M \cdot r}{J}$$

де J — полярний момент інерції, для вала діаметра $d = 40$ мм:

$$J = \frac{\pi d^4}{32} = \frac{\pi \cdot (0.04)^4}{32} = 2.51 \cdot 10^{-8} \text{ м}^4$$

$$\tau = \frac{7200 \cdot 0.02}{2.51 \cdot 10^{-8}} = 5.73 \cdot 10^6 \text{ Па} = 57.3 \text{ МПа}$$

Допустиме напруження для 40Х: $\sigma_{\text{доп}} \approx 300$ МПа

Отже, напруження в 57.3 МПа значно нижче допустимого — вал безпечний.

Визначення моменту та потужності:

Матеріал подрібнення: деревина (гілки)

Середній діаметр гілки: 25 мм

Середній опір різанню деревини: $\sigma_p = 40$ МПа

Кількість зубців, що одночасно контактують з матеріалом 4 зубці

Сила різання одного зубця:

					БР.ПМІ-66.00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.				45

$$40 \text{ МПа} \cdot 20 \cdot 10^{-6} \text{ м}^2 = 800 \text{ Н}$$

Сумарна сила:

$$800 \cdot 4 = 3200 \text{ Н}$$

Радіус дії сили (від центра вала до краю ножа):

$$r = 75 \text{ мм} = 0.075 \text{ м}$$

Обрана швидкість обертання валу:

$$n = \frac{80 \text{ об/хв}}{60} = 1.33 \text{ об/с}$$

Розрахунок крутного моменту:

Крутний момент розраховується за формулою:

$$M = 3200 \cdot 0.075 = 240 \text{ Н}\cdot\text{м}$$

Розрахунок необхідної потужності:

Потужність визначається за формулою:

$$P = \frac{2\pi n M}{1000}$$

де:

n — частота обертання в об/с

M — крутний момент у Н·м

Потужність P — в кіловатах

$$P = \frac{2\pi \cdot n \cdot M}{1000} = \frac{2\pi \cdot 1.33 \cdot 240}{1000} \approx \frac{2005.1}{1000} = 2.01 \text{ кВт}$$

4.2 Вибір двигуна

Потрібна потужність для шредера при 4 активних зубцях: $\approx 2.01 \text{ кВт}$ $K_{зап} = 1.3$ і ККД $\eta = 0.9$

$$P_{дв} = \frac{2.01 \cdot 1.3}{0.9} \approx 2.9 \text{ кВт}$$

Потрібна потужність двигуна $\approx 2.9 \text{ кВт}$. Підійде, наприклад, електродвигун 3KW BLDC, потужністю 3 кВт, 1500 об/хв — це буде цілком достатньо з урахуванням запасу

					БР.ПМІ-66.00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.				46

Необхідність редуктора:

Для забезпечення ефективної роботи шредера потрібно, щоб вал обертався з частотою приблизно 80 об/хв, що є оптимальним для подрібнення гілок діаметром до 25 мм. Стандартні асинхронні двигуни, наприклад АІР132М4, мають частоту обертання 1500 об/хв, що набагато вище.

Тому для зниження обертів до потрібного рівня використовується редуктор. Він не збільшує потужність, проте дає змогу збільшити крутний момент за рахунок зменшення швидкості обертання.

Передавальне число редуктора:

$$i = \frac{n_{\text{дв}}}{n_{\text{роб}}} = \frac{1500}{80} = 18.75 \approx 20$$

Крутний момент на валу:

$$M_{\text{дв}} = \frac{9550 \cdot P}{n} = \frac{9550 \cdot 3}{1500} = 19.1 \text{ Н}\cdot\text{м}$$

Крутний момент після редуктора (з урахуванням ККД):

$$M_{\text{вих}} = M_{\text{дв}} \cdot i \cdot \eta = 19.1 \cdot 20 \cdot 0.92 = 351.4 \text{ Н}\cdot\text{м}$$

Необхідний момент: 240 Н·м

Фактичний (після редуктора): 351.4 Н·м

Запас по моменту ≈ 1.46 рази

Вибір редуктора:

Циліндричний редуктор типу Ц2У-250 або РМ-500

Параметри:

Передавальне число: 20

Крутний момент на виході: > 350 Н·м

ККД: 0.9–0.92

Допустима потужність: до 5–7 кВт

За потреби це дозволить трансформувати характеристики двигуна так, щоб отримати потрібну частоту обертання та крутний момент на валу.

Отже для ефективної роботи шредера рекомендується:

					БР.ПМІ-66.00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.				47

Двигун: 3KW BLDC (Рис. 4.1)

Потужність: 3 кВт

Частота обертання: 1500 об/хв

Редуктор: Ц2У-250-20 (Рис. 4.2)

Передавальне число: 20

ККД: ~0.92

Забезпечує необхідне зменшення швидкості та збільшення моменту



Рисунок 4.1 – Електродвигун 3KW BLDC

Комбінація двигуна 3KW BLDC (3 кВт) з редуктором $i \approx 20$ дозволяє отримати необхідний момент $\approx 351 \text{ Н}\cdot\text{м}$, що перевищує розрахунковий $240 \text{ Н}\cdot\text{м}$ для роботи з 4 активними зубцями. Така система забезпечить надійну та ефективну роботу шредера при мінімальних витратах енергії.

					БР.ПІМІ-66.00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.				48



Рисунок 4.2 – Редуктор Ц2У-250-20

					БР.ПІМІ-66.00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.				49


```

const int currentSensorPin = A0;
const int stopButtonPin = 7;
// Параметри
const int maxDistance = 15; // см - максимальна допустима відстань до
матеріалу
const int currentLimit = 550; // межа перевантаження (залежить від ACS712)
bool stopped = false;
void setup() {
pinMode(trigPin, OUTPUT);
pinMode(echoPin, INPUT);
pinMode(motorPin, OUTPUT);
pinMode(ledGreen, OUTPUT);
pinMode(ledYellow, OUTPUT);
pinMode(ledRed, OUTPUT);
pinMode(stopButtonPin, INPUT_PULLUP);
Serial.begin(9600);
}
void loop() {
// Зчитування кнопки СТОП
if (digitalRead(stopButtonPin) == LOW) {
stopped = true;
}
// Вимірювання відстані
long duration, distance;
digitalWrite(trigPin, LOW); delayMicroseconds(2);
digitalWrite(trigPin, HIGH); delayMicroseconds(10);
digitalWrite(trigPin, LOW);
duration = pulseIn(echoPin, HIGH);
distance = duration * 0.034 / 2;
// Зчитування струму

```

					БР.ПІМІ-66.00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.				52

```

int currentValue = analogRead(currentSensorPin);
if (stopped) {
// Повна зупинка
digitalWrite(motorPin, LOW);
digitalWrite(ledRed, HIGH);
digitalWrite(ledGreen, LOW);
digitalWrite(ledYellow, LOW);
} else if (currentValue > currentLimit) {
// Перевантаження
digitalWrite(motorPin, LOW);
digitalWrite(ledRed, HIGH);
digitalWrite(ledGreen, LOW);
digitalWrite(ledYellow, LOW);
} else if (distance < maxDistance) {
// Надто багато матеріалу — пауза
digitalWrite(motorPin, LOW);
digitalWrite(ledRed, LOW);
digitalWrite(ledGreen, LOW);
digitalWrite(ledYellow, HIGH);
} else {
// Робота у штатному режимі
digitalWrite(motorPin, HIGH);
digitalWrite(ledRed, LOW);
digitalWrite(ledGreen, HIGH);
digitalWrite(ledYellow, LOW);
}
delay(200);
}

```

Пояснення:

HC-SR04 - Вимірює відстань до матеріалу. Якщо матеріал надто близько – подача стоп.

ACS712 - Аналоговий сенсор струму. Якщо перевищено допустиме значення – аварійне вимкнення.

Кнопка СТОП - При натисканні назавжди зупиняє подачу (перезавантажити Arduino для запуску знову).

motorPin - Керує реле або драйвером двигуна.

LEDs - Показують стан: зелений — робота, жовтий — пауза, червоний — аварія.

					БР.ПІМІ-66.00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.				54

ВИСНОВКИ

У бакалаврській роботі було спроектовано садовий черв'ячний подрібнювач деревних відходів, та створено його 3D-модель. Проведені дослідження та розрахунки підтвердили ефективність і доцільність створення даного пристрою.

Основні результати роботи:

1. Розроблено конструктивну схему черв'ячного подрібнювача, яка поєднує простоту, надійність та безпеку в експлуатації. Конструкція орієнтована на використання в умовах приватного господарства або малого бізнесу.

2. Виконано 3D-моделювання всіх елементів подрібнювача в середовищі SolidWorks, що дозволило оптимізувати розміри, забезпечити точність з'єднань і візуалізувати збірку в цілому.

3. Запропоновано систему контролю подачі матеріалу з використанням датчика відстані та сенсора струму, яка автоматизує захист від перевантаження та аварійних ситуацій.

4. Проведено розрахунки навантажень, крутного моменту, вибір матеріалів та двигуна, що забезпечило технічну обґрунтованість обраної конструкції.

Результати роботи мають практичне значення та можуть бути використані як основа для подальшої розробки автоматизованих систем подрібнення біовідходів.

					БР.ПМІ-66.00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.				55

БР.ПМІ-66.00.001

Перв. примен. Справ. № Подп. и дата Взам. инв. № Инв. № дубл. Подп. и дата Изм. Лист № докум. Подп. Дата Лит. Масса Масштаб

Разраб. Рыбчак О.М. Подп. Дата
Пров. Врекало В.В.
Т. контр.
Н. контр. Утв.

Передній підшипниковий блок

Лист Листів

ПМІ-21-1 **ІФНТУНГ**

Копіровал Формат А4

БР.ПМІ-66.00.002

Перв. примен. Справ. № Подп. и дата Взам. инв. № Инв. № дубл. Подп. и дата Изм. Лист № докум. Подп. Дата Лит. Масса Масштаб

Разраб. Рыбчак О.М. Подп. Дата
Пров. Врекало В.В.
Т. контр.
Н. контр. Утв.

Ріжучий ніж

Лист Листів

ПМІ-21-1 **ІФНТУНГ**

Копіровал Формат А4

БР.ПМІ-66.00.003

Перв. примен. Справ. № Подп. и дата Взам. инв. № Инв. № дубл. Подп. и дата Изм. Лист № докум. Подп. Дата Лит. Масса Масштаб

Разраб. Рыбчак О.М. Подп. Дата
Пров. Врекало В.В.
Т. контр.
Н. контр. Утв.

Прокладка

Лист Листів

ПМІ-21-1 **ІФНТУНГ**

Копіровал Формат А4

БР.ПМІ-66.00.004

Перв. примен. Справ. № Подп. и дата Взам. инв. № Инв. № дубл. Подп. и дата Изм. Лист № докум. Подп. Дата Лит. Масса Масштаб

Разраб. Рыбчак О.М. Подп. Дата
Пров. Врекало В.В.
Т. контр.
Н. контр. Утв.

Перший вал

Лист Листів

ПМІ-21-1 **ІФНТУНГ**

Копіровал Формат А4

БР.ПМІ-66.00.005

Перв. примен. Справ. № Подп. и дата Взам. инв. № Инв. № дубл. Подп. и дата Изм. Лист № докум. Подп. Дата Лит. Масса Масштаб

Разраб. Рыбчак О.М. Подп. Дата
Пров. Врекало В.В.
Т. контр.
Н. контр. Утв.

Другий вал

Лист Листів

ПМІ-21-1 **ІФНТУНГ**

Копіровал Формат А4

БР.ПМІ-66.00.006

Перв. примен. Справ. № Подп. и дата Взам. инв. № Инв. № дубл. Подп. и дата Изм. Лист № докум. Подп. Дата Лит. Масса Масштаб

Разраб. Рыбчак О.М. Подп. Дата
Пров. Врекало В.В.
Т. контр.
Н. контр. Утв.

Бічний кронштейн

Лист Листів

ПМІ-21-1 **ІФНТУНГ**

Копіровал Формат А4

БР.ПМІ-66.00.007

Перв. примен. Справ. № Подп. и дата Взам. инв. № Инв. № дубл. Подп. и дата Изм. Лист № докум. Подп. Дата Лит. Масса Масштаб

Разраб. Рыбчак О.М. Подп. Дата
Пров. Врекало В.В.
Т. контр.
Н. контр. Утв.

Зубчатє колєсо

Лист Листів

ПМІ-21-1 **ІФНТУНГ**

Копіровал Формат А4

БР.ПМІ-66.00.008

Перв. примен. Справ. № Подп. и дата Взам. инв. № Инв. № дубл. Подп. и дата Изм. Лист № докум. Подп. Дата Лит. Масса Масштаб

Разраб. Рыбчак О.М. Подп. Дата
Пров. Врекало В.В.
Т. контр.
Н. контр. Утв.

Підшипник

Лист Листів

ПМІ-21-1 **ІФНТУНГ**

Копіровал Формат А4

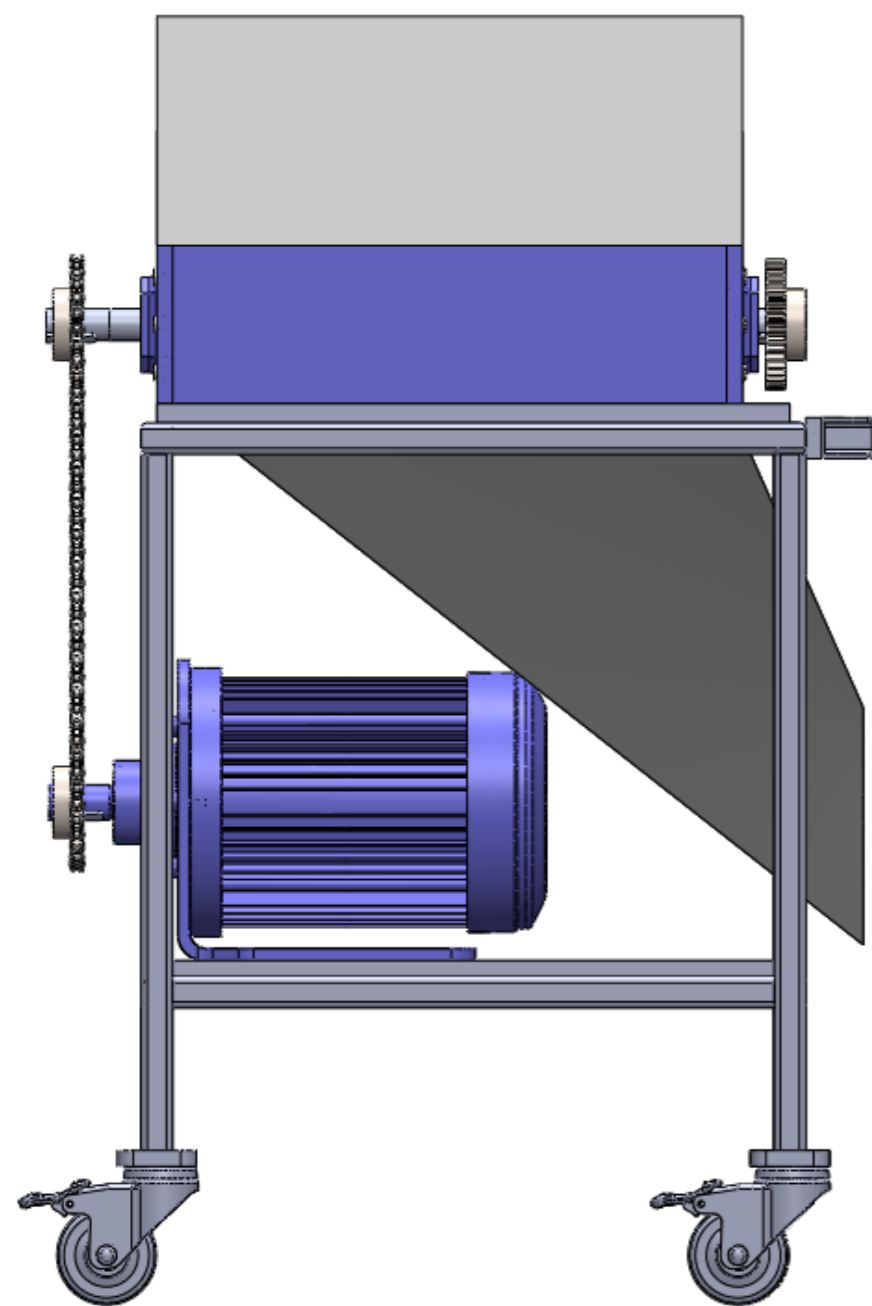


Рис 1.

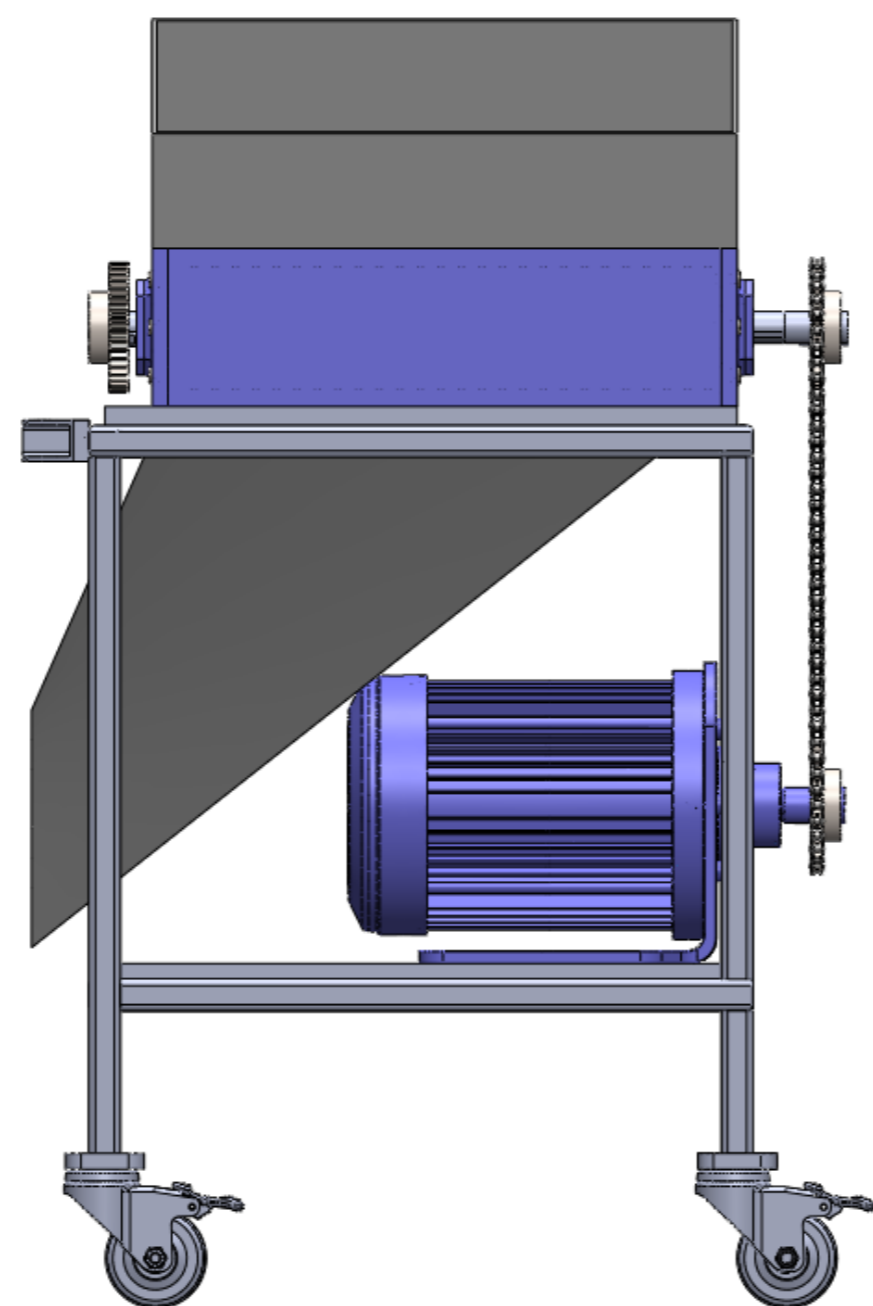


Рис 2.

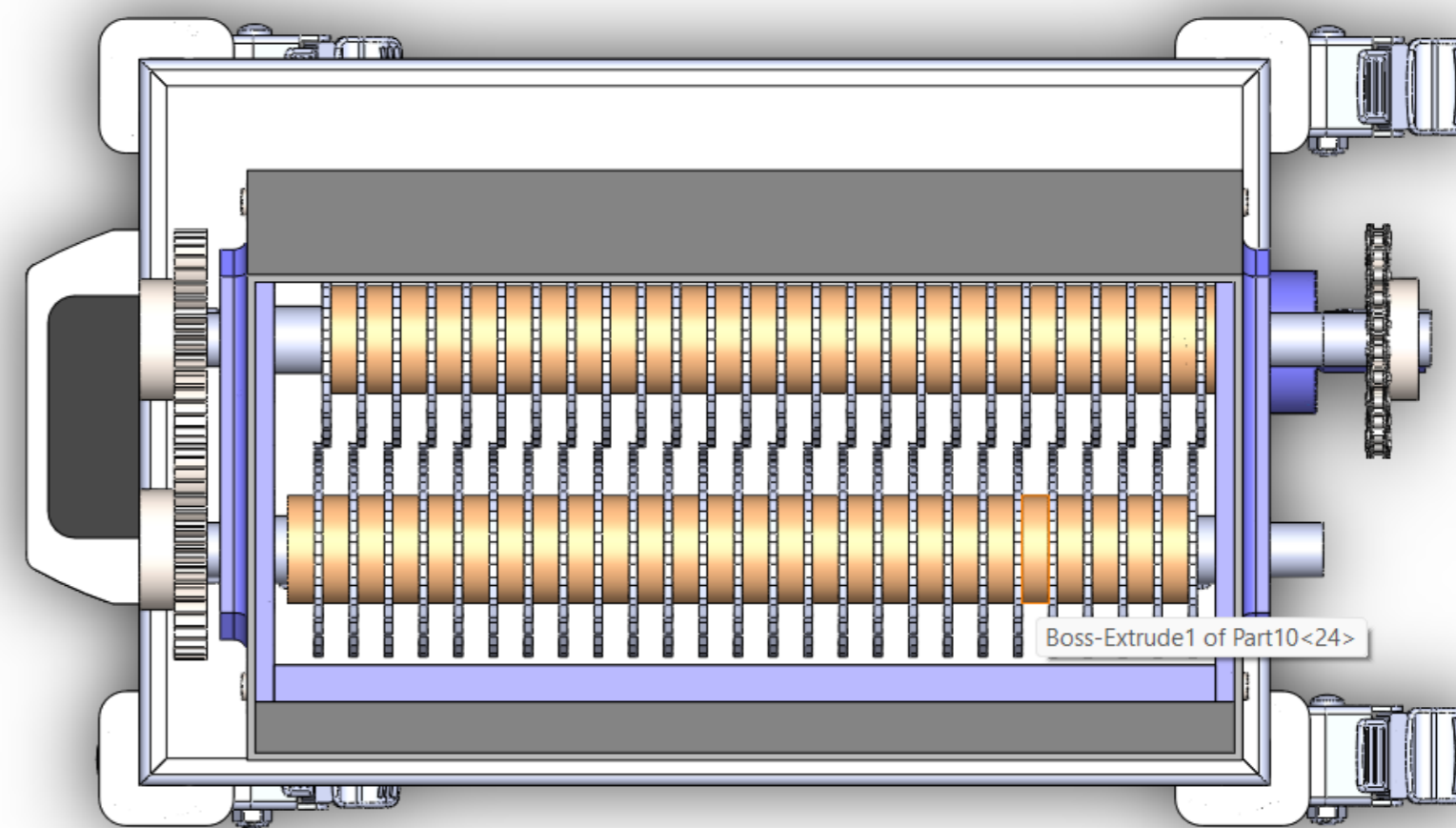


Рис 5.

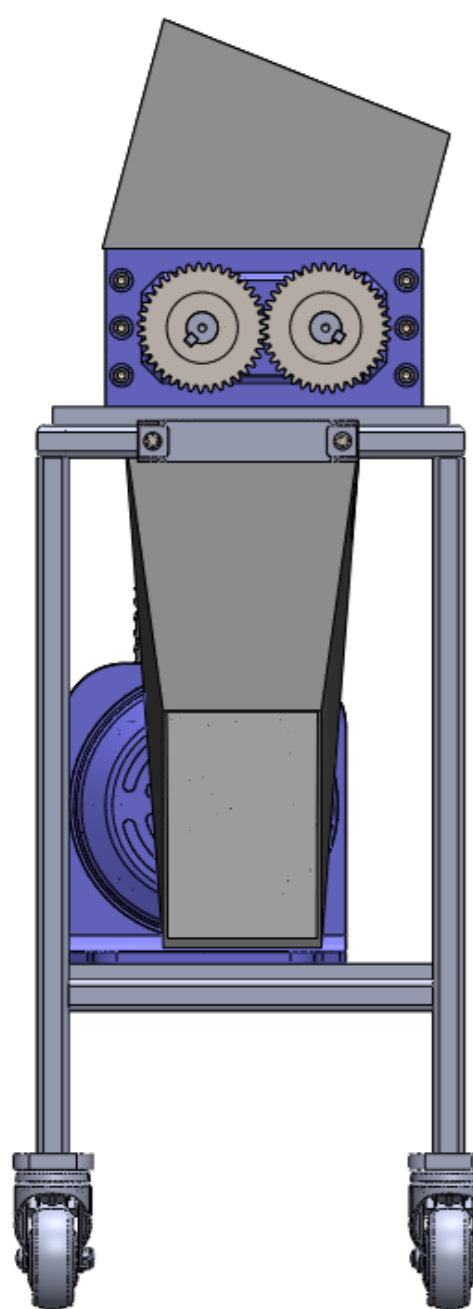


Рис 3.

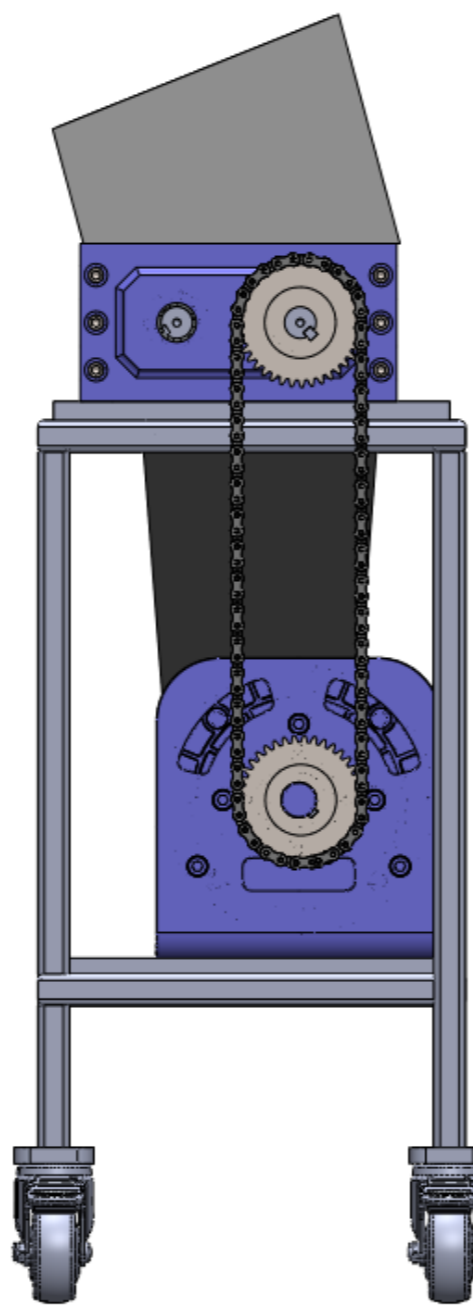


Рис 4.

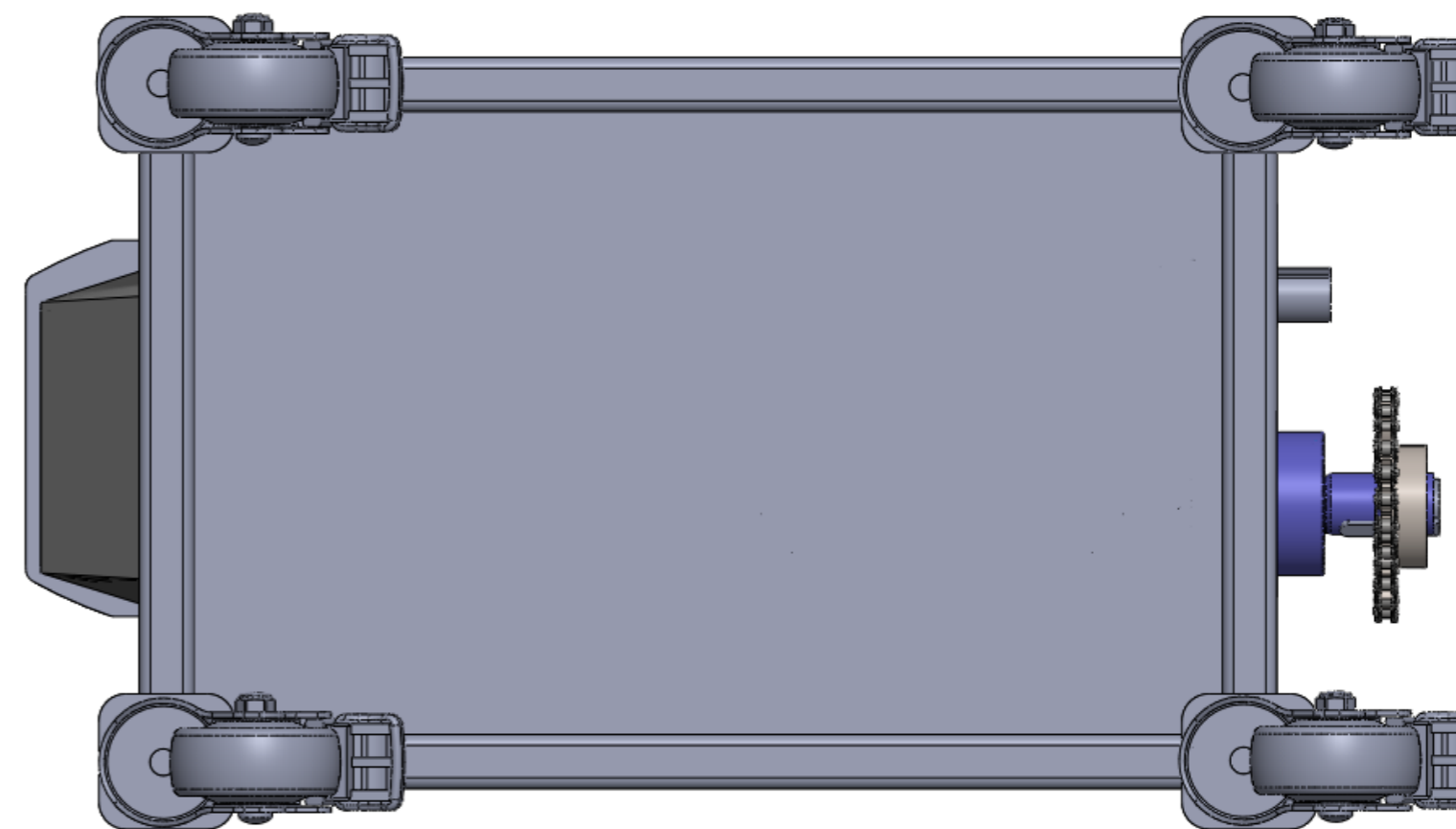
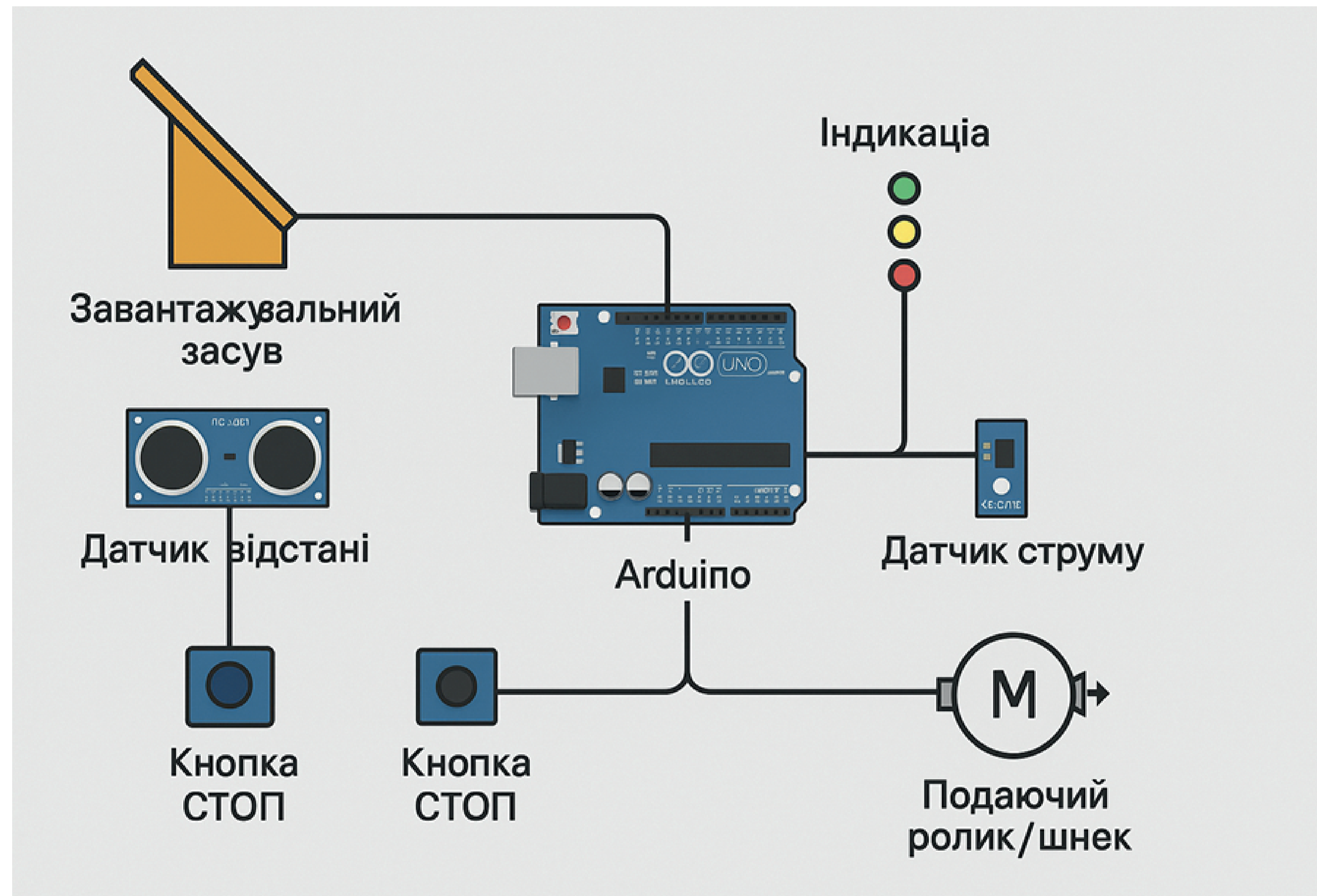


Рис 6.

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

				БР.ПМІ-66.00.012			
Изм./Лист	№ докум	Подп.	Дата	3D-модель	Лист	Масса	Масштаб
Разраб.	Рибчак О.М.						1:9
Проб.	Врюкало В.В.				Лист	Листов	
Т. Контр.							
Н. Контр.							
Утв.							
				ПМІ-21-1	ІФНТУНГ		



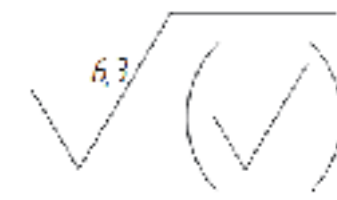
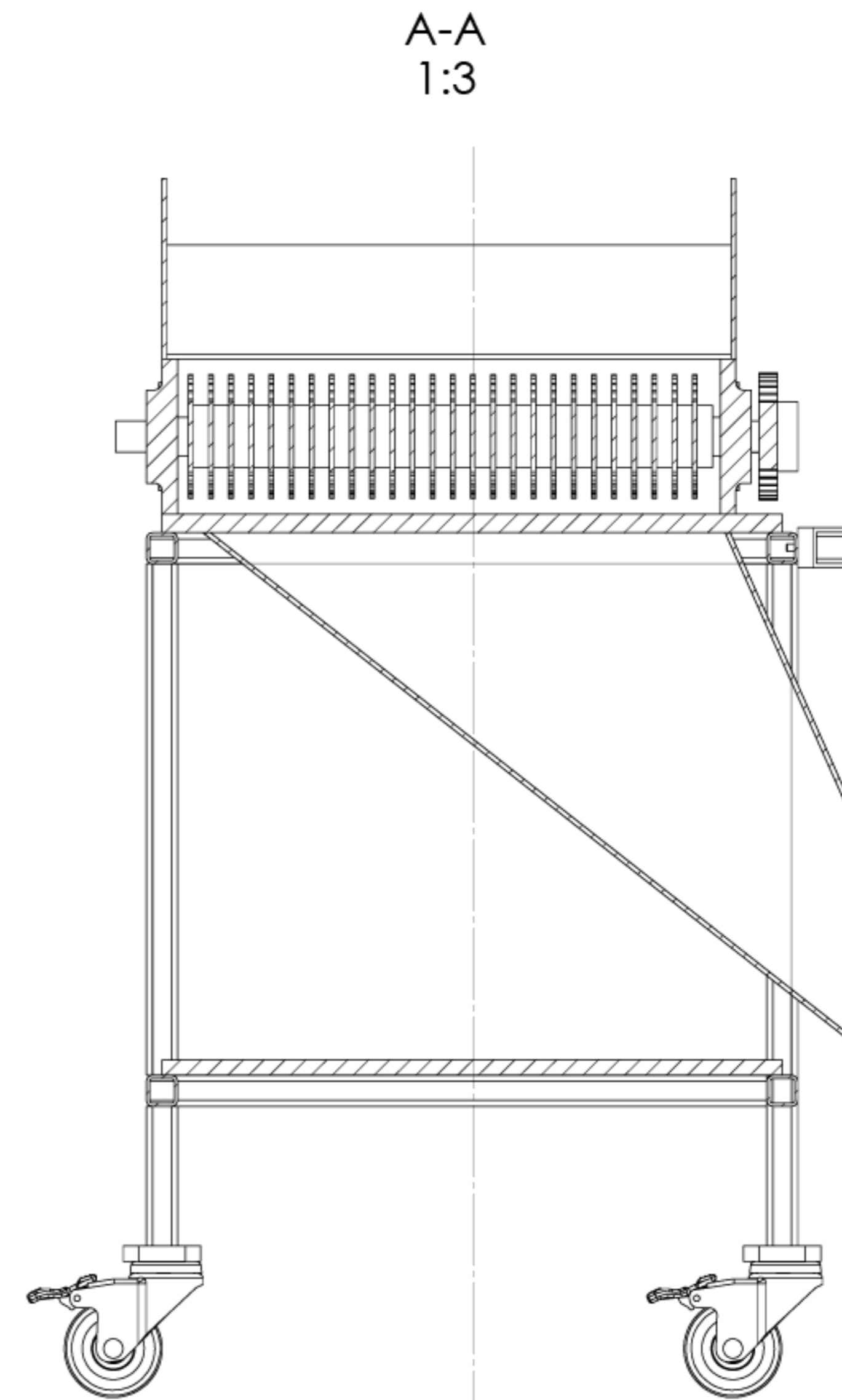
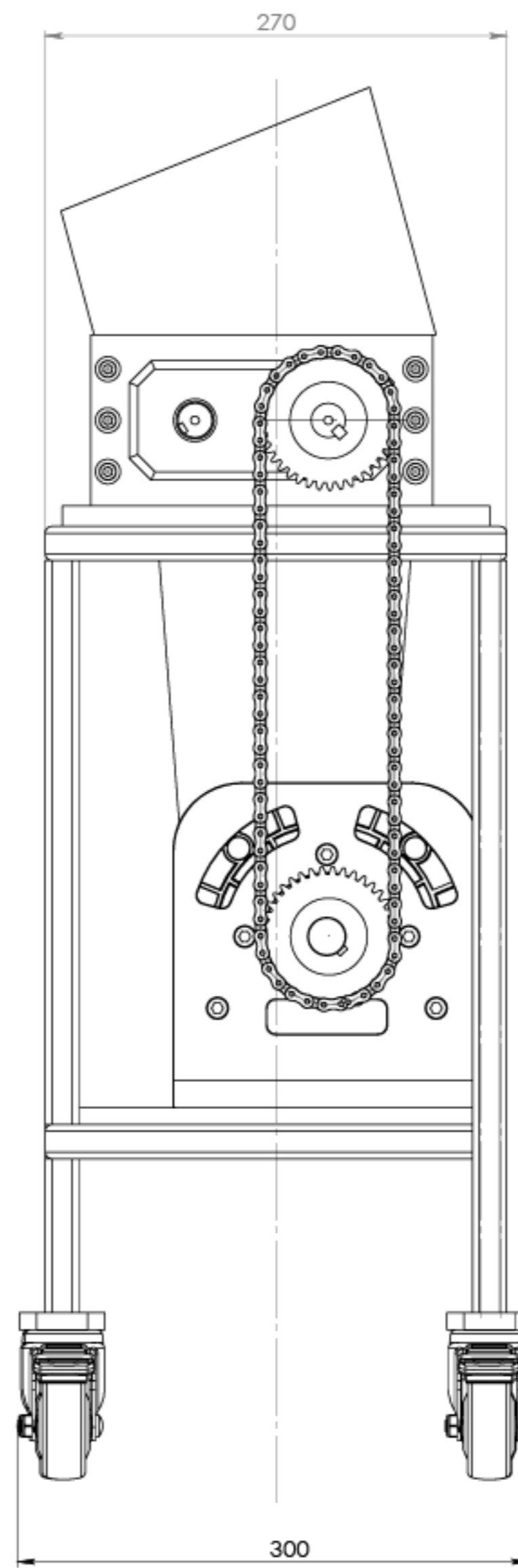
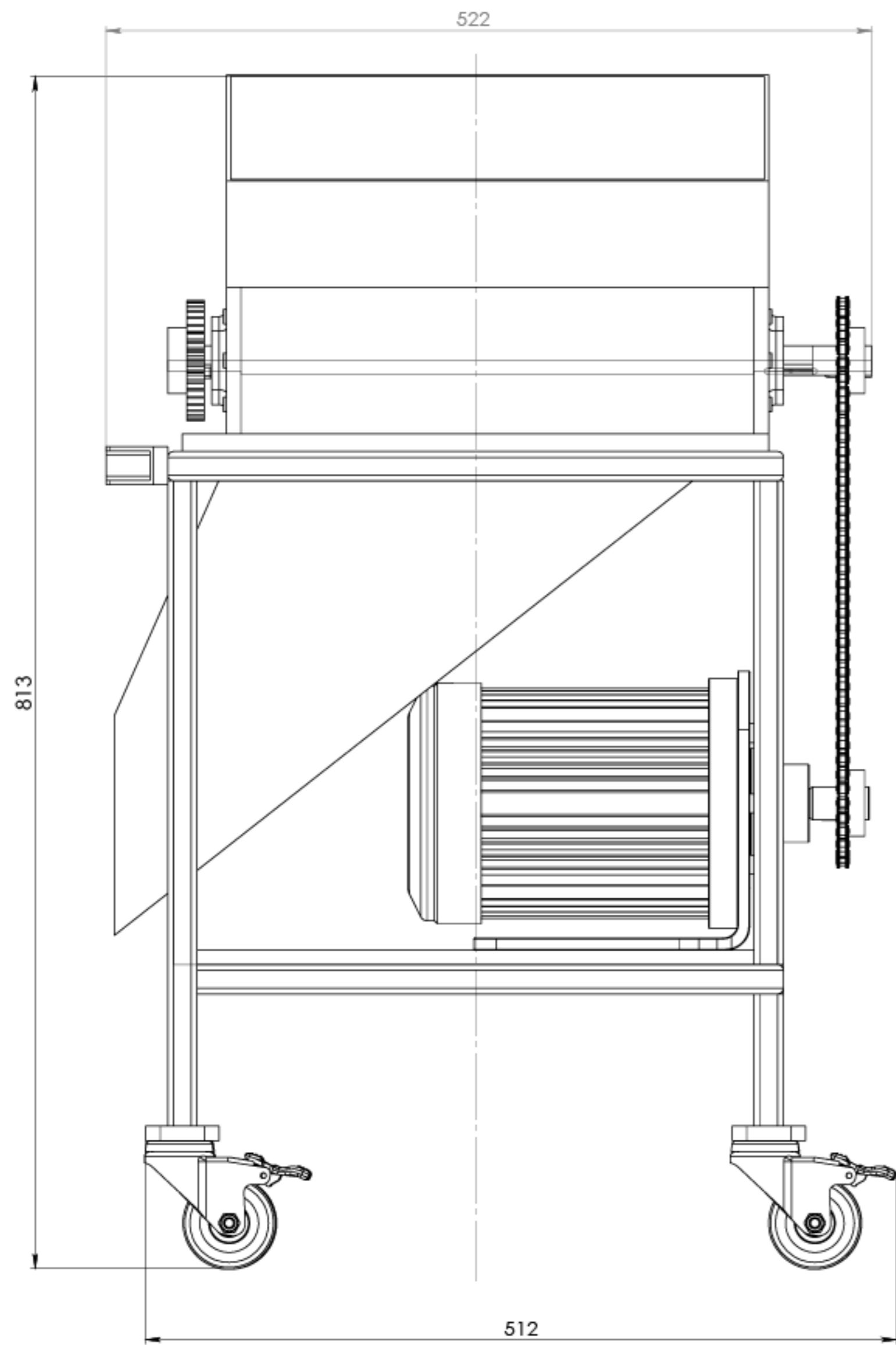
Arduino sketch.ino:

```
// ПІНИ
const int trigPin = 9;
const int echoPin = 10;
const int motorPin = 3;
const int ledGreen = 4;
const int ledYellow = 5;
const int ledRed = 6;
const int currentSensorPin = A0;
const int stopButtonPin = 7;

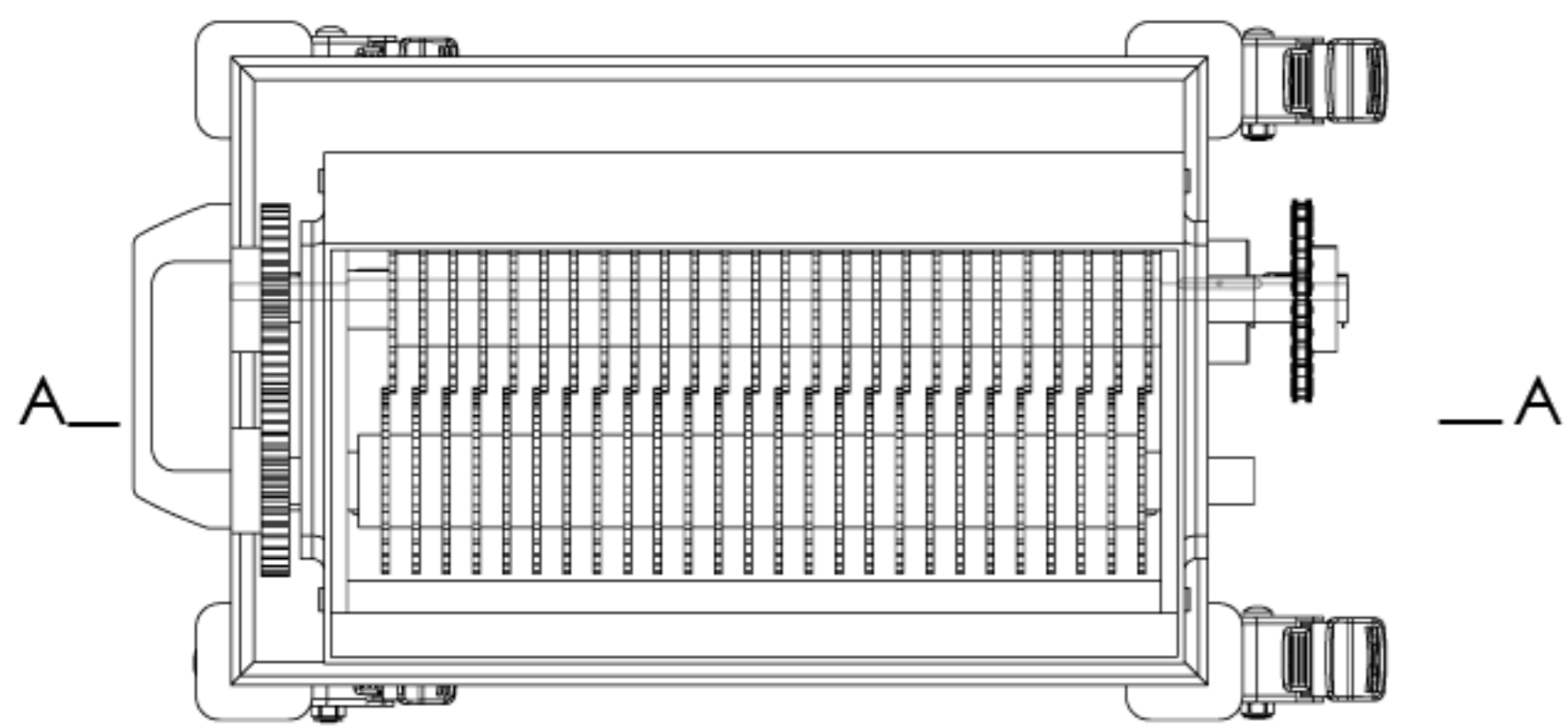
// Параметри
const int maxDistance = 15; // см - максимальна допустима відстань до матеріалу
const int currentLimit = 550; // межа перевантаження (залежить від ACS712)
```

```
bool stopped = false;
void setup() {
  pinMode(trigPin, OUTPUT);
  pinMode(echoPin, INPUT);
  pinMode(motorPin, OUTPUT);
  pinMode(ledGreen, OUTPUT);
  pinMode(ledYellow, OUTPUT);
  pinMode(ledRed, OUTPUT);
  pinMode(stopButtonPin, INPUT_PULLUP);
  Serial.begin(9600);
}
void loop() {
  // Зчитування кнопки СТОП
  if (digitalRead(stopButtonPin) == LOW) {
    stopped = true
  }
  // Вимірювання відстані
  long duration, distance;
  digitalWrite(trigPin, LOW); delayMicroseconds(2);
  digitalWrite(trigPin, HIGH); delayMicroseconds(10);
  digitalWrite(trigPin, LOW);
  duration = pulseIn(echoPin, HIGH);
  distance = duration * 0.034 / 2;
  // Зчитування струму
  int currentValue = analogRead(currentSensorPin);
  if (stopped) {
    // Повна зупинка
    digitalWrite(motorPin, LOW);
    digitalWrite(ledRed, HIGH);
    digitalWrite(ledGreen, LOW);
    digitalWrite(ledYellow, LOW);
  } else if (distance < maxDistance) {
    // Надто багато матеріалу — пауза
    digitalWrite(motorPin, LOW);
    digitalWrite(ledRed, LOW);
    digitalWrite(ledGreen, LOW);
    digitalWrite(ledYellow, HIGH);
  } else {
    // Робота у штатному режимі
    digitalWrite(motorPin, HIGH);
    digitalWrite(ledRed, LOW);
    digitalWrite(ledGreen, HIGH);
    digitalWrite(ledYellow, LOW);
  }
  delay(200);
}
} else if (currentValue > currentLimit) {
  // Перевантаження
  digitalWrite(motorPin, LOW);
  digitalWrite(ledRed, HIGH);
  digitalWrite(ledGreen, LOW);
  digitalWrite(ledYellow, LOW);
} else if (distance < maxDistance) {
  // Надто багато матеріалу — пауза
  digitalWrite(motorPin, LOW);
  digitalWrite(ledRed, LOW);
  digitalWrite(ledGreen, LOW);
  digitalWrite(ledYellow, HIGH);
} else {
  // Робота у штатному режимі
  digitalWrite(motorPin, HIGH);
  digitalWrite(ledRed, LOW);
  digitalWrite(ledGreen, HIGH);
  digitalWrite(ledYellow, LOW);
}
delay(200);
}
}
```

				БР.ПМІ-66.00.0014			
Ізм.	Лист	№ док.	Підп.	Дата	Розробка	Лист	Масштаб
Разр.					автоматизації		1:1
Проб.						Лист	Листів
Т. Контр.					ПМІ-21-1	ІФНТУНГ	
Н. Контр.							
Чтб.							



A-A
1:3



Перз. примен.

Страна. №

Подп. и дата

Вам. инв. №

Инд. № дубл.

Подп. и дата

БР.ПМІ-66.000.000СК

Садовий
подріднювач

ПМІ-21-1

Лит. Масса Масштаб

1:3

Лист Листов

ІФНТУНГ