

ВІННИЦЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ

Факультет машинобудування та транспорту

Кафедра галузевого машинобудування

**МАГІСТЕРСЬКА КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА**

на тему:

**Модернізація обладнання технологічної лінії подрібнення деревних відходів**

Виконав: студент 2-го курсу, групи 1ГМ-22м  
спеціальності 133 – Галузеве  
машинобудування

(шифр і назва напрямку підготовки)

13.549 Владислав КОРОБКА  
(прізвище та ініціали)

Керівник: д.т.н., професор, зав. каф. ГМ

А. Поліщук Леонід ПОЛІЩУК  
(прізвище та ініціали)

« 12 » грудня 2023 р.

Опонент: к.т.н., доцент кафедри АТМ

А. Галушак Олександр ГАЛУЩАК  
(прізвище та ініціали)

« 12 » грудня 2023 р.

Допущено до захисту

Завідувач кафедри ГМ

д.т.н., проф. Поліщук Л. К.

(прізвище та ініціали)

« 12 » грудня 2023 р.

Вінниця ВНТУ - 2023 рік

Вінницький національний технічний університет  
Факультет машинобудування та транспорту  
Кафедра галузевого машинобудування  
Рівень вищої освіти II-й (магістерський)  
Галузь знань – 13 Механічна інженерія  
Спеціальність – 133 Галузеве машинобудування  
Освітньо-професійна програма – Галузеве машинобудування  
(шифр і назва)

ЗАТВЕРДЖУЮ

завідувач кафедри ГМ

д.т.н., професор Поліщук Л.К.

Л.К. Поліщук

« 18 » вересня 2023р.

### З А В Д А Н Н Я НА МАГІСТЕРСЬКУ КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ СТУДЕНТУ

Коробці Владиславу Олеговичу

(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема магістерської кваліфікаційної роботи: «Модернізація обладнання технологічної лінії подрібнення деревних відходів», керівник магістерської кваліфікаційної роботи Поліщук Леонід Клавдійович д.т.н., професор

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

затверджені наказом вищого навчального закладу від «18» вересня 2023 року № 247

2. Строк подання студентом магістерської кваліфікаційної роботи: 12.12.2023.

3. Вихідні дані до магістерської кваліфікаційної роботи: частота обертання вихідної ланки, об/хв – 54,6; номінальна потужність на вихідній ланці, кВт – 22; навантаження – постійне; тиск в гідросистемі, МПа – 16; номінальна величина витрат, л/с – 1,6; габаритні розміри: діаметр барабана, мм – 350, міжопорна відстань, мм – 695.

4. Зміст текстової частини: постановка задачі та техніко-економічне обґрунтування теми роботи; аналіз відомих технологічних та технічних рішень; розрахунково-конструкторський розділ; розробка експериментального стенда для дослідження динамічних процесів подрібнювача деревини; економічний розділ; розділ охорони праці та безпеки у надзвичайних ситуаціях.

5. Перелік графічної та ілюстративної частини (з точним зазначенням обов'язкових креслень): 5.1 Подрібнювач базова модель (1 лист ф. А1).

5.2 Гідравлічний мотор-редуктор складальне креслення (2 листа ф. А1).

5.3 Складальне креслення дослідного зразка вузла подрібнення експериментального стенда (2 листа ф. А1).

5.4 Гідрокінематична схема експериментального стенда (1 листа ф. А1).

5.5 Аналіз відомих технологій і конструкцій подрібнювачів (3 листа ф. А1).

5.6 Аналіз відомих технічних рішень (1 лист ф. А1).

## 6. Консультанти розділів магістерської кваліфікаційної роботи

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	завдання прийняв
Спеціальна частина	Поліщук Леонід Клавдійович. д.т.н., професор	19.09.2023 <i>Л. Поліщук</i>	03.12.2023 <i>Л. Поліщук</i>
Економічна частина	Ратушняк Ольга Георгіївна к.т.н., доцент	16.10.2023 <i>О. Ратушняк</i>	04.12.2023 <i>О. Ратушняк</i>
Охорона праці та безпека життєдіяльності	Дембіцька Софія Віталіївна д.п.н., професор, Березюк Олег Володимирович, д.т.н., професор	04.09.2023 <i>С. Дембіцька</i>	04.12.2023 <i>О. Березюк</i>

7. Дата видачі завдання 15.09.23

## КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назви етапів магістерської кваліфікаційної роботи	Строк виконання етапів МКР	Примітка
1.	Вибір та узгодження теми МКР. Огляд літературних джерел.	04.09.2023-11.09.2023	
2	Аналіз літературних джерел. Попередня розробка основних розділів	12.09.2023-15.09.2023	
3.	Затвердження теми. Розробка технічного завдання	18.09.2023-25.09.2023	
4.	Техніко-економічне обґрунтування теми роботи. Аналіз вирішення поставленої задачі.	19.09.2023-06.10.2023	
5.	Розрахунково-конструкторський розділ	16.10.2022-06.11.2023	
6	Розробка експериментального стенда для дослідження робочих параметрів подрібнювачів	07.11.2023-24.11.2023	
7.	Економічний розділ.	16.10.2023-04.11.2023	
8.	Охорона праці і безпека у надзвичайних ситуаціях.	04.09.2023-13.10.2023	
9.	Оформлення пояснювальної записки та графічної частини роботи	02.12.2022	
10.	Нормоконтроль	11.12.2022	
11.	Попередній захист МКР, доопрацювання, рецензування МКР	12.12.2023	
12.	Захист МКР на ДЕК	20.12.2022-21.12.2023	

Студент *К. К.* (підпис) Коробка В.О. (прізвище та ініціали)Керівник роботи *Л. Поліщук* (підпис) Поліщук Л. К. (прізвище та ініціали)

## АНОТАЦІЯ

УДК 621.97.01

Коробка В.О. Модернізація обладнання технологічної лінії подрібнення деревинних відходів. Магістерська кваліфікаційна робота зі спеціальності 133 – галузеве машинобудування, освітня програма - галузеве машинобудування. Вінниця: ВНТУ, 2023. 117 с.

На укр. мові. Бібліогр.: 34 назв; рис.: 26; табл. 24.

У магістерській кваліфікаційній роботі обґрунтовано вибір методу подрібнення.

Здійснено вибір раціональної схеми привідного пристрою подрібнювача деревних відходів з покращеними показниками. Обґрунтовано заміну роздільного приводу в аналогу на вмонтований з використанням кульково-хвильової передачі та гідравлічних агрегатів.

Розроблено нову конструктивну схему подрібнювача деревини на рівні винаходу та виконано необхідний комплекс проєктних, перевірочних розрахунків всіх елементів передавального механізму робочого інструмента та гідрокінематичну схему експериментального стенда для проведення випробувальних досліджень, а також дослідний зразок подрібнювача.

Розроблено складальні креслення подрібнювача, його передавального механізму

У розділі охорони праці визначені заходи з безпеки життєдіяльності та цивільного захисту для робочого місця дослідника.

Графічна частина складається з 10 плакатів та складальних і робочих креслень із отриманими результатами досліджень та проєктування.

Ключові слова: подрібнювач, деревні відходи, гідравлічний привід, передавальний механізм, дослідний зразок.

## ABSTRACT

Korobka V.O. Modernization of the equipment of the technological line of wood waste shredding. Master's qualification thesis on specialty 133 - industrial mechanical engineering, educational program - industrial mechanical engineering. Vinnytsia: VNTU, 2023. 117 p.

In Ukrainian speech Bibliography:34 titles; Fig.: 26; table 24.

The choice of grinding method is substantiated in the master's qualification work.

A rational scheme of the drive device of the wood waste shredder with improved performance was selected. The replacement of a separate drive in the analog with a built-in one using a ball-and-wave transmission and hydraulic units is substantiated.

A new structural diagram of the wood chipper at the level of the invention was developed and the necessary set of design, verification calculations of all elements of the transmission mechanism of the working tool and a hydrokinematic diagram of the experimental stand for conducting test studies, as well as a test sample of the chipper, were performed.

Assembly drawings of the shredder and its transmission mechanism have been developed

In the occupational health and safety section, life safety and civil defense measures for the researcher's workplace are defined.

The graphic part consists of 10 posters and assembly and working drawings with the obtained research and design results.

Key words: shredder, wood waste, hydraulic drive, transmission mechanism, prototype.

## ЗМІСТ

<b>ВСТУП.....</b>	<b>8</b>
<b>1 ПОСТАНОВКА ЗАДАЧІ ТА ТЕХНІКО-ЕКОНОМІЧНЕ ОБҐРУНТУВАННЯ ТЕМИ РОБОТИ.....</b>	<b>11</b>
1.1 Суть та мета розділу.....	11
1.2 Технічні показники аналога та нового технічного рішення.....	11
1.3 Співставлення аналога новому технічному рішенню.....	13
1.4 Техніко економічне обґрунтування розробки нової конструкції.....	13
1.5 Економічна доцільність нової розробки.....	15
1.6 Висновки до першого розділу.....	19
<b>2 АНАЛІЗ ВІДОМИХ ТЕХНОЛОГІЧНИХ ТА ТЕХНІЧНИХ РІШЕНЬ .....</b>	<b>20</b>
2.1 Аналітичні дослідження технології подрібнення .....	20
2.2 Аналіз технології подрібнення сировини та виготовлення пелетів .....	27
2.3 Відомі технічні рішення для подрібнення деревинних відходів.....	45
2.4 Висновки до другого розділу.....	45
<b>3 РОЗРАХУНКОВО–КОНСТРУКТОРСЬКИЙ РОЗДІЛ .....</b>	<b>46</b>
3.1 Вибір раціональної схеми приводу подрібнювача за критеріальними оцінками.....	46
3.2 Розробка конструктивної схеми подрібнювача деревини з гідроприводом.....	52
3.3 Профільювання елементів зачеплення передавального механізму подрібнювача.....	58
3.4 Розрахунок нерухомих з'єднань.....	62
3.5 Висновки до третього розділу.....	71
<b>4 РОЗРОБКА ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНОГО СТЕНДА ДЛЯ ДОСЛІДЖЕННЯ ДИНАМІЧНИХ ПРОЦЕСІВ ПОДРІБНЮВАЧА ДЕРЕВИНИ.....</b>	<b>72</b>
4.1 Розробка експериментального стенду .....	72
4.2 Вузол подрібнення експериментального стенда .....	75
4.3 Моделювання корпусу барабана зі змінними різцями .....	76

4.4 Висновки до четвертого розділу.....	77
<b>5 ЕКОНОМІЧНИЙ РОЗДІЛ.....</b>	<b>78</b>
5.1 Проведення комерційного та технологічного аудиту науково-технічної розробки .....	79
5.2 Визначення рівня конкурентоспроможності розробки .....	83
5.3 Розрахунок витрат на проведення науково-дослідної роботи .....	86
5.4 Розрахунок економічної ефективності науково-технічної розробки при її можливій комерціалізації потенційним інвестором.....	95
5.5 Висновки до розділу.....	99
<b>6 ОХОРОНА ПРАЦІ І БЕЗПЕКА У НАДЗВИЧАЙНИХ СИТУАЦІЯХ.....</b>	<b>101</b>
6.1 Технічні рішення щодо безпечного виконання роботи .....	101
6.2 Технічні рішення з гігієни праці та виробничої санітарії .....	104
6.3 Безпека в надзвичайних ситуаціях. Дослідження безпеки роботи в умовах дії загрозливих факторів надзвичайних ситуацій .....	109
<b>ВИСНОВКИ.....</b>	<b>112</b>
<b>СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ.....</b>	<b>114</b>
Додаток А (обов'язковий). Технічне завдання.....	118
Додаток Б (обов'язковий). Графічна частина.....	123
Додаток В(обов'язковий). Специфікації .....	130
Додаток Г(обов'язковий). Ілюстративна частина.....	134
Додаток Д(обов'язковий). Протокол перевірки кваліфікаційної роботи на наявність текстових запозичень.....	139

## ВСТУП

Однією з основних проблем паливно-енергетичного комплексу України є забезпечення підприємств та житла в достатній кількості як енергоносіїв, так і обладнання для його виготовлення. Важливість цього положення підтверджуються прийнятими в нашій країні найважливішими документами, зокрема Національного плану дій з відновленої енергетики, Постанови Кабінету міністрів України «Про стимулювання заміщення природного газу під час виробництва теплової енергії для установ та організацій, що фінансуються з державного і місцевих бюджетів». Запроваджуються різні схеми державної підтримки населення для придбання опалювального обладнання в якому не передбачено використання природного газу як палива. Наразі, коли відбувається подорожчання основних паливних ресурсів, на перший план виходять альтернативні джерела енергії. Особливого значення набувають деревні відходи деревообробних підприємств, або утворених під час планових очисток лісів та лісосмуг у приміських районах. Їх спалювали або складували на відкритих територіях підприємств чи складів без подальшого використання. Хоча виготовлені із них пелети та брикети в європейських країнах широко використовуються як альтернативне джерело палива. Враховуючи досвід європейських країн, заборону на деякі види утилізації та зростання ціни на основні паливні ресурси підприємства різного технологічного призначення почали використовувати деревинні відходи. Останнім часом значна увага, переважно малих підприємств України, зосереджена на виготовленні пелетів не лише для власних потреб, але і на експорт до інших країн. Це створило відповідний попит на виробництво комплексів переробки біомас в пелети. Вітчизняні комплекси створюють конкуренцію закордонним аналогам через меншу вартість із збереженням технічних характеристик. Важливим етапом виготовлення пелет є технологічна підготовка, яка стосується процесу вторинного подрібнення, що впливає на якість кінцевого продукту. Аналіз процесу вторинного



подрібнення на ТОВ «МТС – АГРОМАШ» показав, що отримана сировина відрізняється за фракціями, що допустимо при виробництві брикетів, якщо розміри не виходять за межі 2...5 мм, але не допустимо при виготовленні пелет. Встановлено що однорідність величини фракції залежить від швидкості обертання ріжучих інструментів, закріплених на зовнішній поверхні барабана, а також від сили різання для різних пород дерев. Тому для вирішення цієї проблеми запропоновано модернізувати привід молотильного млина, використовуючи позитивні характеристики гідроприводу, та розробити нове технологічне обладнання існуючого комплексу.

Тому, розробка нової конструкції обладнання для вторинного подрібнення деревної сировини є **актуальною** науково-інженерною задачею.

**Метою роботи** є підвищення якості пелет за рахунок покращення параметрів вторинного подрібнення деревної сировини шляхом гідрофікації приводу та запровадження зміненого процесу подрібнення.

Для досягнення означеної мети в роботі необхідно розв'язати такі **задачі**:

- проаналізувати існуючий технологічний комплекс щодо якості виготовлення сировини та відомі технічні рішення і технологічні методи подрібнення деревних матеріалів;

- обґрунтувати вибір конструктивної схеми приводу для робочої ланки подрібнювача деревини за критеріальними оцінками;

- розробити конструктивну схему робочої ланки подрібнювача деревинних матеріалів і виконати відповідні проектні та перевірочні розрахунки редукційного механізму вмонтованого гідравлічного приводу;

- розробити гідрокінематичну схему експериментального стенда установки для вивчення процесу подрібнення деревинних матеріалів та досліджень параметрів вмонтованого гідроприводу і різальних інструментів розроблюваного пристрою;

- розробити складальне креслення робочого органу з гідроприводом подрібнювача деревних матеріалів;

- виконати необхідні економічні дослідження та розрахунки для підтвердження доцільності розроблення та впровадження у виробництво запропонованої конструкції подрібнювача;

- розробити заходи щодо забезпечення охорони праці та безпеки у надзвичайних ситуаціях.

**Об’єкт дослідження** – технологічний процес виготовлення сировини для виробництва пелет вторинним подрібненням деревних матеріалів.

**Предмет дослідження** – вмонтований гідропривід робочого органу обладнання технологічного комплексу виготовлення пелет.

**Методи дослідження:** Порівняльний аналіз технологій подрібнення, конструкцій та економічних показників робочого обладнання для вторинного подрібнення деревних матеріалів.

**Новизна одержаних результатів:**

- обґрунтовано вибір ефективної технології вторинного подрібнення деревних відходів для виготовлення пелетів;

- розроблено нову конструкцію подрібнювача деревних відходів з вмонтованим гідроприводом.

# 1 ПОСТАНОВКА ЗАДАЧІ ТА ТЕХНІКО-ЕКОНОМІЧНЕ ОБГРУНТУВАННЯ ТЕМИ РОБОТИ

## 1.1 Суть та мета розділу

Під час роботи деревообробних підприємств або проведення планових очисток лісопаркових зон накопичується велика кількість деревинних відходів які зазвичай не використовують. Враховуючи досвід європейських країн а також збільшення вартості на паливні ресурси, підприємства, почали переробляти ці відходи у пелети чи брикети із подальшою реалізацією або використанням для власних потреб. Це створило попит на виробничі комплекси, при придбанні яких виробники орієнтуються на ціну та простоту експлуатації, незважаючи на якість отриманої продукції. Вартість та якість продукції закордонних комплексів значно вища в порівнянні з тими, що виготовляють на території України.

Розв'язком даної проблеми може бути виготовлення нових конструкцій комплексів на території України, взявши за основу європейські зразки, які не будуть поступатися аналогам по своїх характеристиках.

## 1.2 Технічні показники аналога та нового технічного рішення

На рисунку 1.1 показана дробарка WEIMA WL 6 S, яка прийнята для порівняння з новою конструкцією. Недоліком такої конструкції є роздільний привід, який вимагає набагато більше енергії у порівнянні з запропонованою конструкцією вмонтованого приводу, що може використовуватись разом із стандартною гідростанцією аналогу.

Використання вмонтованого приводу для удосконалення конструкції дозволяє підвищити техніко-економічні показники, шляхом зменшення габаритних розмірів, підвищення продуктивності комплексу та можливості регулювання робочого органу подрібнювача.



Рисунок 1.1 – Дробарка WEIMA WL 6 S

В таблиці 1.1 порівняємо технічні показники аналогу та нової конструкції.

Таблиця 1.1 – Порівняння технічних характеристик аналога та нової конструкції привода

Показники (параметри)	Аналог	Експериментальна установки
Потужність, кВт	22	22
Число вузлі	32	24
Кількість постійно працюючих гідродвигунів	0	1
ККД	0,82	0,90
Режим роботи	безперервний	безперервний
Вага, кг	2000	1800

### 1.3 Співставлення аналога новому технічному рішенню

Як було зазначено раніше, використання роздільного приводу є недоцільним. Розробка нової конструкції є досить затратним процесом, але це набагато дешевше ніж купувати новий комплекс.

Наслідком розробки нової конструкції буде підвищення техніко-економічних показників комплексу, розширення асортименту матеріалів, що може переробляти комплекс без зниження продуктивності, зменшення ціни на одиницю виготовленої продукції. Також це дозволить зменшити суму витрат на обслуговування комплексу.

### 1.4 Техніко економічне обґрунтування розробки нової конструкції

#### 1.4.1 Собівартість одиниці нової розробки

Собівартість одиниці нової розробки може бути розрахована методом питомої ваги. Цей метод застосовується тоді, коли є можливість розрахувати одну з прямих витрат і установити питому вагу даної статі в собівартості аналога.

Собівартість одиниці нової розробки розраховується за формулою [1, 2]:

$$S = \frac{B_n \cdot K_n \cdot 100\%}{P\%} \quad (1.1)$$

де  $B_n$  – величина певної статті прямих витрат для нової розробки, яка вибрана за основу, грн/кг;  $P$  – питома вага цієї статті витрат в собівартості аналога, %;  $K_n$  – коефіцієнт, який ураховує конструктивні та технологічні особливості нової розробки,  $K_n = 1 \dots 1,2$ ;

$$S = \frac{7000 \cdot 1,1 \cdot 100}{46,6} = 10052, \text{ грн}$$

#### 1.4.2 Розрахунок величини капітальних вкладень

Величина капітальних вкладень  $K$  розраховується за формулою:

$$K = B \cdot A \cdot S = B \cdot C \text{ грн}, \quad (1.2)$$

де  $B$  – коефіцієнт, який ураховує витрати на розробку, придбання, транспортування, монтаж, налагодження нової розробки тощо,  $B = 1,2 \dots 2,0$ ;  $A$  – коефіцієнт, який ураховує прогнозований прибуток та податки, які повинен сплачувати виробник,  $A \sim 1,7 \dots 2,3$ ;  $S$  – собівартість нової розробки, розрахована спрощеним способом, грн.;  $C$  – ціна реалізації нової розробки, якщо вона була відома або визначена:

$$K = 1,6 \cdot 10052 = 16083 \text{ грн}$$

Отже, ціна реалізації становить

$$C = K/A = 16083/1,7 = 27341 \text{ грн}$$

#### 1.4.3 Розрахунок величин експлуатаційних витрат для одиниці нової розробки

Експлуатаційними витратами є такі витрати, які забезпечують нормальне функціонування певного технічного рішення в період його експлуатації в розрахунку за рік. Величина експлуатаційних витрат  $E$  за рік становить  $E = 45000$  грн/рік.

#### 1.4.4 Розрахунок питомих капітальних вкладень та питомих експлуатаційних витрат

Так, питомі капітальні вкладення складуть:

а) для аналога:

$$\frac{K_1}{Q_1} = \frac{14000}{22} = 636,36 \text{ грн/кВт}; \quad (1.3)$$

б) для нового варіанта:

$$\frac{K_1}{Q_1} = \frac{12000}{22} = 545,45 \text{ грн/кВт}; \quad (1.4)$$

Питомі експлуатаційні витрати складуть:

а) для аналога:

$$\frac{E_1}{Q_1} = \frac{45000}{22} = 2045,45 \text{ грн/рік} \cdot \%; \quad (1.5)$$

б) для нового варіанта:

$$\frac{E_1}{Q_1} = \frac{42000}{22} = 1909 \text{ грн/рік} \cdot \%. \quad (1.6)$$

Аналіз отриманих результатів дає змогу зробити висновок про те, що використання нової конструкції є вигідним.

## 1.5 Економічна доцільність нової розробки

### 1.5.1 Розрахунок економічної доцільності

Економічну доцільність нової розробки можна розрахувати шляхом порівняння капітальних та експлуатаційних витрат для неї та аналога.

Капітальні вкладення (К) та експлуатаційні затрати (Е) визначаються приблизно, спрощеним способом. Для аналога ці показники будемо розраховувати з індексом 1, а для нового пристрою – 2.

Собівартість одиниці нової розробки можна спрогнозувати методом питомої ваги. В цьому випадку собівартість одиниці нової продукції розраховується за формулою [3]:

$$S = \frac{B_B \cdot K_H \cdot 100\%}{П\%} \text{ [грн]}, \quad (1.7)$$

де  $B_{II}$  – величина певної статті прямих витрат для нової розробки, яка вибрана за основу, грн.;  $\Pi$  – питома вага цієї статті витрат в собівартості аналога, % (приймаємо 85%);  $K_H$  – коефіцієнт, який враховує конструктивні та технологічні особливості нової розробки  $K_H$  приймаємо рівним 1,3 [3].

Визначимо згідно формули собівартість одиниці нової продукції:

$$S_2 = \frac{44836,00 \cdot 1,3 \cdot 100 \%}{85 \%} = 68573,00 \text{ (грн).}$$

Величину капітальних вкладень можна спрогнозувати за формулою:

$$K = B \cdot A \cdot S = B \cdot Ц \text{ (грн)}, \quad (1.8)$$

де  $B$  – коефіцієнт, який враховує витрати на розробку, придбання, транспортування, монтаж нової розробки  $B=1,1$ ;  $A$  – коефіцієнт який враховує прогнозований дохід, податки, які повинен сплатити виробник,  $A = 1,4$ ;

$S$  – собівартість нової розробки, грн., яка визначається приблизним способом.

Капітальні вкладення для нового приводу дробарки:

$$K_2 = 1,1 \cdot 1,4 \cdot 68573,00 = 105602,00 \text{ (грн)}. \quad (1.9)$$

Оскільки нам відома приблизна ціна приводу аналога (10% вартості установки в цілому – 70000,00 грн, то розрахуємо за формулою капітальні вкладення аналога:

$$K_1 = 1,4 \cdot 70000,00 = 98000,00 \text{ (грн)}. \quad (1.10)$$

Експлуатаційними витратами є такі витрати, які забезпечують нормальне функціонування в період експлуатації.

В найбільш спрощеному вигляді величина експлуатаційних витрат в розрахунку за один рік може бути прогнозована за формулою [4]:

$$E = k \cdot A \cdot S + B_e, \quad (1.11)$$



де  $k$  – коефіцієнт, який ураховує витрати на амортизацію, обслуговування, ремонти тощо,  $k=0,20$ ;  $A$  – коефіцієнт, який ураховує прогнозований прибуток, податки, які повинен сплачувати виробник  $A=1,4$ ;  $S$  – собівартість, оцінена приблизним способом,  $S=68573,00$  грн;  $B_e$  – вартість спожитої пристроєм енергії,  $B_e = 105842,00$  грн.

Підставивши дані в формулу розрахуємо експлуатаційні витрати для аналога:

$$E_1 = 0,3 \cdot 70000,00 + 105842,00 = 126842,00 \text{ (грн/рік)}.$$

Аналогічно для нового приводу дробарки:

$$E_2 = 0,2 \cdot 1,4 \cdot 68573,00 + 105842,00 = 125042,00 \text{ (грн/рік)}.$$

Для наглядного відображення капітальних та експлуатаційних витрат аналога та нового приводу ці показники зведемо в таблицю 1.2.

Таблиця 1.2 - Показники аналогу та розроблюваного приладів

Показники	Одиниці виміру	Аналог	Нова розробка
Капітальні вкладення	Грн.	98000,00	105602,00
Експлуатаційні витрати	Грн./рік	126842,00	125042,00

### 1.5.2. Порівняння капітальних та експлуатаційних витрат

При розробці нових конструкторських рішень (удосконалення, розробка нового виробу або конструкції, машини чи механізму), обґрунтування доцільності здійснення розробки може бути проведене шляхом зіставлення капітальних та експлуатаційних витрат нової розробки з капітальними та експлуатаційними витратами аналога.

В якості основного технічного показника, який характеризує удосконалення приводу дробарки з максимальною ефективністю, прийmemo

число основних вузлів приводу. В конструкції аналогу це 32 од., а в новій розробці – 24 од.

Для випадку, коли аналог, який позначається цифрою «1», та запропоноване нове технічне рішення, яке позначається цифрою «2», мають різні значення основного технічного показника  $Q$ , причому його зменшення в новому продукті, відповідає пропорційному зростанню якості об'єкта розробки розраховуються питомі капітальні вкладення та питомі експлуатаційні витрати [3].

Так питомі капітальні вкладення складуть:

для аналога

$$\frac{K_1}{Q_2} = \frac{98000,00}{24} = 4083,00 \text{ грн./од}, \quad (1.12)$$

для нової розробки

$$\frac{K_2}{Q_1} = \frac{105602,00}{32} = 3300,00 \text{ грн./од}. \quad (1.13)$$

Питомі експлуатаційні витрати складуть:

для аналога –

$$\frac{E_1}{Q_2} = \frac{126842,00}{24} = 5285,00 \text{ грн./рік/од}, \quad (1.14)$$

для нової технічної розробки

$$\frac{E_2}{Q_1} = \frac{125042,00}{32} = 3907,00 \text{ грн./рік/од}. \quad (1.15)$$

Отже виникає ситуація, згідно з якою  $\frac{K_1}{Q_2} > \frac{K_2}{Q_1}$  та  $\frac{E_1}{Q_2} > \frac{E_2}{Q_1}$ , що свідчить

про переваги нової розробки над аналогом. Додатково необхідно розрахувати

абсолютну економію на питомих капітальних вкладеннях та питомих експлуатаційних витратах:

$$K_{ek} = \frac{K_1}{Q_2} - \frac{K_2}{Q_1} = \frac{98000,00}{24} - \frac{105602,00}{32} = 783,00 \text{ грн./од.} \quad (1.16)$$

та

$$E_{ek} = \frac{E_1}{Q_2} - \frac{E_2}{Q_1} = \frac{126842,00}{24} - \frac{125042,00}{32} = 1378,00 \text{ грн./рік./од.} \quad (1.17)$$

## 1.6 Висновки до першого розділу

Проаналізувавши переваги та недоліки нової конструкції та аналогу, можна зробити висновки:

- витрати на обслуговування нової конструкції менші за аналог за рахунок покращення технічних характеристик;
- простота в експлуатації, безпека в користуванні надають можливість широко використовувати нову конструкцію;
- невелика собівартість порівняно з аналогами на ринку.

Отже, проведений порівняльний аналіз техніко-економічних показників базової та нової конструкції дозволяє зробити висновок про доцільність розробки нового обладнання для вторинного подрібнення деревинних відходів, яка швидко віднайде споживача завдяки сприятливій ціні та високим технічним та експлуатаційним показникам.

## 2 АНАЛІЗ ВІДОМИХ ТЕХНОЛОГІЧНИХ ТА ТЕХНІЧНИХ РІШЕНЬ

### 2.1 Аналітичні дослідження технології подрібнення

#### 2.1.1 Аналіз наукових робіт щодо процесів подрібнення матеріалів

В процесі виробництва паливних брикетів та пелетів встановлено, що процес технологічної підготовки, пов'язаний з подрібненням сировини є найбільш важливою та енергоємною операцією. Машина для подрібнення, що застосовуються в комплексах, які виготовляють на вітчизняних та зарубіжних виробництвах, наділені позитивними показниками та певними недоліками. Деякі виробничі комплекси характеризуються низькою виробничою потужністю і їм властиві проблеми з подрібненням деревних матеріалів, що впливає на якість продукції.

Доцільність проведення цілого комплексу науково-дослідних і дослідно-конструкторських робіт у цьому напрямку пояснюється низькою кількістю вітчизняних аналогів та завищеними цінами на закордонні зразки технологічних комплексів для подрібнення [5].

Подрібнення – це процес розділення твердого тіла на частини під дією зовнішніх сил, що перевищують силу молекулярного зчеплення [5]. Від переважної сукупності показників, зокрема якості подрібненої сировини, залежить і якість кінцевого продукту виробництва у вигляді брикерів чи пелет та його ефективне використання.

Значний внесок у теорії подрібнення зробили С. Е. Андреев, Ф. Бонд, І. Брах, Ф. Кік, Б. Л. Кіпрічев, В. У. Климович, Л. Б. Левенсон, , А. Н. Мярюта, С. В. Мельніков, П. Рітінгер, П. А. Ребіндерта та інші.

Виділено властивості матеріалів, які впливають на якість роботи дробарки, якими є абразивність, вологість, в'язкість, липкість, розміри структура, твердість, температура та форма.

Під час проектування подрібнювачів потрібно в першу чергу врахувати показники міцності, вологості та лінійні розміри сировини.

Подрібнення різних матеріалів проводять за допомогою сил, які прикладенаються у вигляді імпульсних або статичних навантажень. Ці сили можуть діяти нормально до поверхні подрібнювального матеріалу або дотично. Залежно від цього розрізняють різні способи подрібнення (рис. 2.1), основними з яких є злам, перетирання, розбивання (удар), роздавлювання, розколювання, розрізання. Переважно під час подрібнення застосовують декілька зазначених способів одночасно.

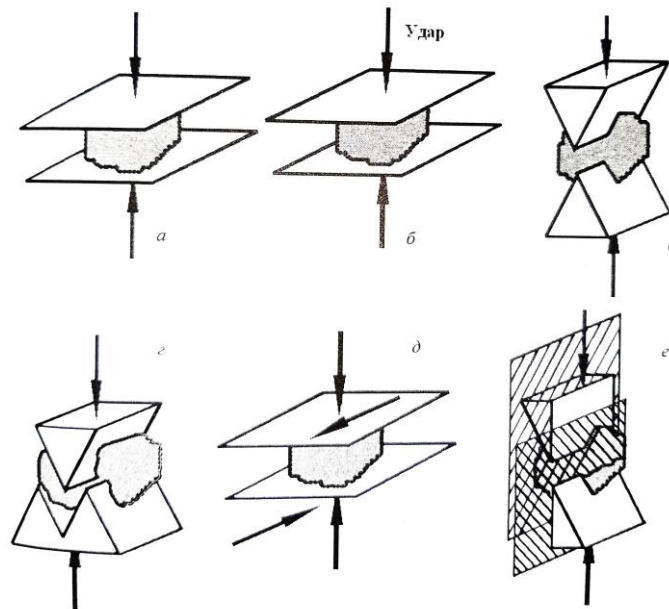


Рисунок 2.1 – Основні способи подрібнення матеріалу

Останнім часом науковцями та практиками запропоновано нові способи подрібнення матеріалів, такими як гравітаційний (спосіб використання швидкої зміни низьких та високих температур), електрогідралічний, ультразвуковий та подрібнення за допомогою світлового променя (промені формуються квантовим генератором).

Переважно енергетичний критерій є найбільш ефективним для оцінювання процесу подрібнення. Величина енергії, яка витрачається в процесі подрібнення матеріалу до потрібного розміру частинок, залежить від великої кількості факторів: взаємного розташування, оптимальної

продуктивності розмірів, кусків, форми, крихкості, міцності, однорідності вихідного матеріалу, його вологості, стану робочих поверхонь дробарки та інших. Саме така різноманітність факторів впливає на можливість лише в загальному вигляді встановити залежність між механічними властивостями сировини, витратою енергії на результати процесу подрібнення.

### 2.1.2 Основні технічні характеристики подрібнювачів.

Робота подрібнювачів відзначається такими основними показниками як продуктивність, ступінь подрібнення готового продукту, споживча потужність, питома витрата енергії тощо. Важливою є залежність між продуктивністю і споживчою потужністю за стабільною крупністю вихідного продукту. Вона має назву робоча характеристика подрібнювача, за якою визначають робочий інтервал продуктивності під час подрібнення сировини із необхідною величиною фракції подрібнення.

Другим важливим показником є залежність зміни питомої витрати енергії на процес подрібнення від її продуктивності.

Параметри, за якими встановлюють показники подрібнення, можна диференціювати за 2 групами:

- конструктивні параметри, які характеризують діаметр та довжину ротора; кількість різальних інструментів на роторі (для барабанного типу), колова швидкість обертання робочої ланки, тип сепаратора;

- параметри подрібнюваного матеріалу, які визначаються режимом роботи дробарки. До них відносяться крупність матеріалу перед подрібненням, а також після нього, вологість, коефіцієнт здатності матеріалу до подрібнення тощо.

Переважаючий вплив на роботу подрібнювачів мають параметри першої групи. Щодо параметрів другої групи переважне значення мають розміри подрібнених частинок матеріалу і здатність матеріалу до подрібнення.

Подрібнювач характеризується оптимальною продуктивністю за умови, коли питома витрати енергії процесу подрібнення є мінімальними. Зміна продуктивності від оптимальних значень сприяє зростанню питомої витрати

енергії на процес подрібнення. Загалом цей параметр визначається великою кількістю різного роду конструктивних та технологічних чинників.

Збільшення ефективності роботи подрібнювачів неодноразово пов'язували з можливістю об'єднати кілька фізичних явищ в машині.

Наприклад, процеси перетирання, розколювання, плющення матеріалу в певних конусних та щоккових дробарках суміщають з вібрацією.

Вібрація корпусу подрібнювачів спроможна допомогти додатковому руйнуванню подрібнювального матеріалу. Крім того, за рахунок підбору пружності опор корпусу, пружності закріплення біла роторної дробарки, можна підвищити амплітудні значення коливань, що вплине на ефективність відведення подрібненого матеріалу з робочої зони комплексу.

### 2.1.3 Вплив кінематики руху частинок сировини на процес подрібнення

Якість подрібнення сировини суттєво залежить від швидкості, за якою відбувається процес подрібнення.

Академік В. П. Горячкін запропонував залежність для критичної швидкості, на яку впливає швидкість звуку в матеріалі, фізико-механічні характеристики щодо модуля пружності та міцності матеріалу на розтяг.

Як вважав І. Г Капельзон [6], колова швидкість залежить не тільки від міцності матеріалів, але й від необхідного ступеня подрібнення частинок.

За дослідженнями В.П. Барабашкіна [7], колова швидкість інструменту, що відповідає межі руйнування матеріалів невеликої пружності становить 10...30 м/с, а для пружних 30...70 м/с. Під час цього процесу витрати енергії знаходяться в межах від 0,6...0,2 кВт год/т.

Експериментально встановлено для молоткових дробарок залежність між швидкістю і кількістю ударів інструменту, які необхідно створити для руйнування подрібнювального матеріалу (рис. 2.2).

Показано, що чим менша швидкість удару, тим більше потрібно ударів для руйнування матеріалу. Багатократні удари матеріалу об жорстку перешкоду знижують її міцність до руйнування. Найбільше зниження міцності відбувається при перших 2...5 ударах і збільшується у міру збільшення

швидкості удару. В результаті зниження міцності матеріал може бути зруйнований при швидкостях удару значно меншими. Варто зазначити, що властивості подрібнення деревини досліджували багато вітчизняних та закордонних вчених, однак неоднорідність структури, вологість та міцність у межах однієї породи не дали змогу отримати точні результати у цьому напрямкові.

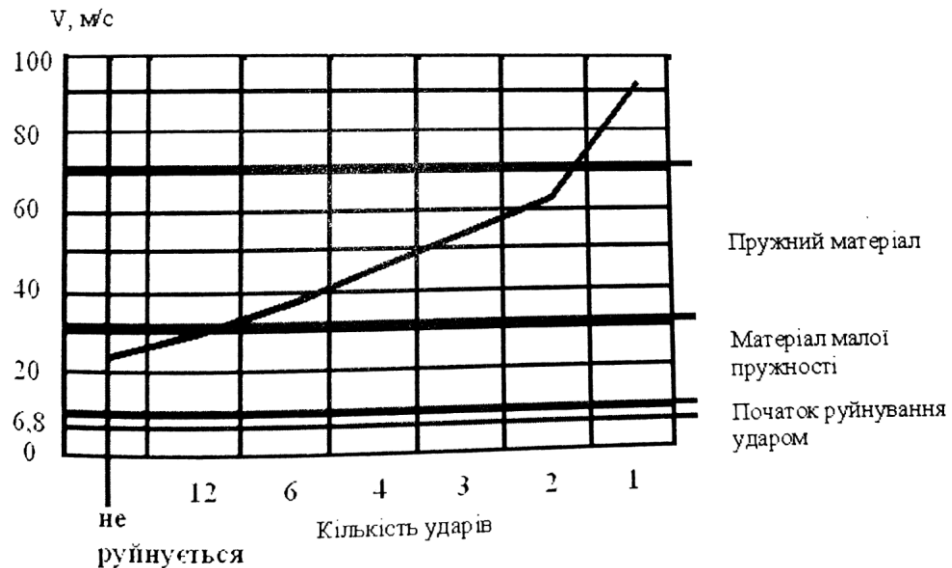


Рисунок 2.2 – Критичні швидкості початку подрібнення для різних матеріалів

Однак через відносні швидкості руху визначається швидкість удару подрібнюваного матеріалу і ротора. Тому задану швидкість удару можна отримати за рахунок збільшення швидкості подачі матеріалу на зустріч рухомій ударній поверхні. Не менш ефективним для процесу подрібнення є забезпечення кута удару подрібнювального матеріалу. Найбільш ефективним є кут удар, який наближений до 90 градусів, що сприяє ефективнішому процесу подрібнення. Очевидно, що найефективнішим вважається прямий центральний удар, нанесений на деревину. Зважаючи на це, В. М. Безкровний [8] пропонує профіль деки розраховувати так, щоб лобова поверхня її була циліндричною, що дає у перерізі площиною, перпендикулярною твірній, відрізок евольвенти кола, центр якого збігається з центром обертання ротора. Кут зустрічі тіла і контр тіла під час удару у



переважно залежить від місця і напрямку завантаження деревинного матеріалу в подрібнювач.

Із наведеного аналізу слідує, що питання розташування і кута подачі матеріалу в молоткову дробарку остаточно ще не вирішені та вимагають подальших більш ретельних досліджень.

Для забезпечення стабільних показників роботи молоткової дробарки необхідно узгоджувати пропускну здатність усіх її технологічних елементів (рис. 2.3) [9]. З технологічних міркувань часто виникають потреби, які стосуються заміни фракційних частинок подрібненого матеріалу, що крім того має нестабільні характеристики. Через ці та деякі інші фактори може істотно змінюватися продуктивність подрібнювач або тієї чи іншої ланки технологічного процесу і відповідного структурного елемента агрегату.

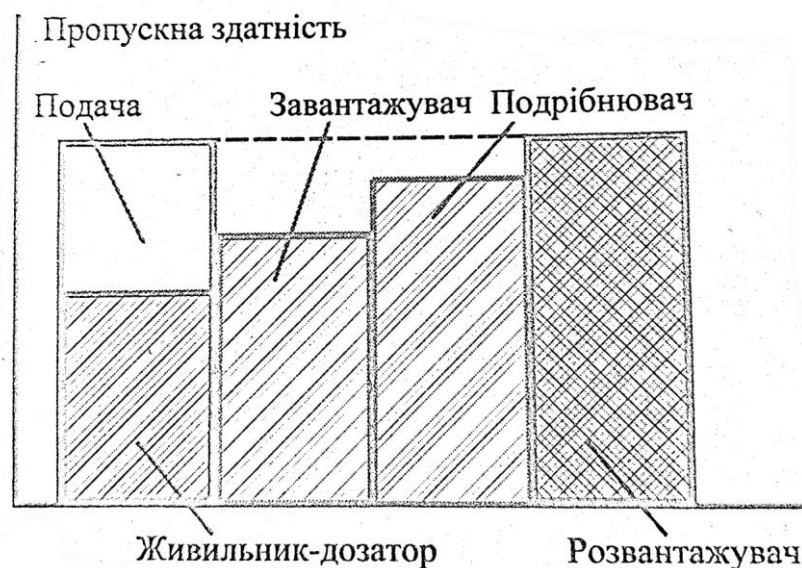


Рисунок 2.3 – Пропускна здатність технологічних ланок молоткової дробарки

#### 2.1.4 Технологічні аспекти під час подрібнення матеріалів.

При виході із завантажувача можлива пульсація матеріалу [9]. Це викликано процесами, які пов'язано з тим, що канал завантажувача періодично суміщається з каналом обертового ротора, при цьому у самому молотковому подрібнювачі створюється зона турбулентності.

У високошвидкісних молоткових дробарках за суттєвого підвищення швидкості руху матеріалу порівняно із швидкістю руху роторів можливе створення «паразитної» циркуляції подрібнюваного матеріалу. Якщо вологість сировини не буде відповідати визначеній стандартом, продуктивність дробарки може зменшуватись на 10...20%, від розрахункової.

Вібраційне поле дозволяє інтенсифікувати відносну швидкість подрібнювальних частинок в машині до 5%, а порівняльний аналіз існуючих схем подрібнювачів показав, що найбільшою ефективністю відрізняються дробарки на пружній основі [10]. Вібраційні процеси в корпусі подрібнювача покращує фракційний склад виготовленого продукту внаслідок зменшення переподрібнення, а також сприяє до 3 % збільшенню продуктивності машини.

Проведений аналіз конструкцій дробильних машин і вивчення способів їх функціонування дозволив класифікувати дробильне обладнання (рис. 2.4).

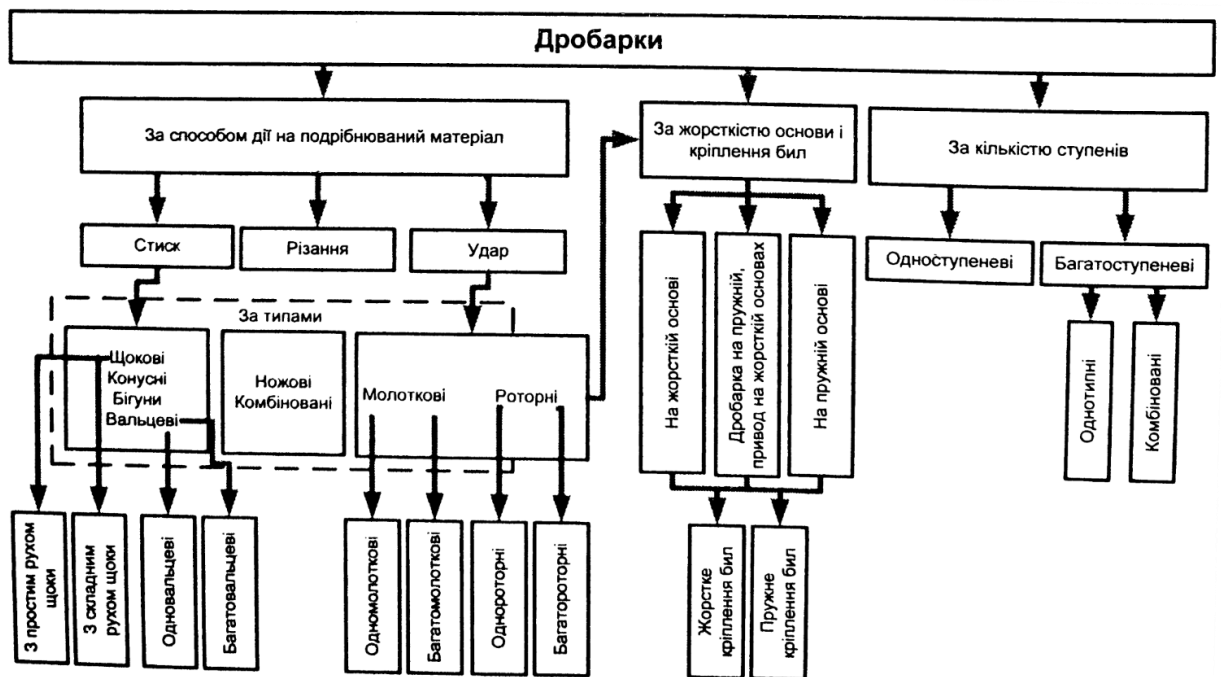


Рисунок 2.4 – Класифікація подрібнювальних машин

Особливістю такої класифікації полягає у врахуванні способу впливу різних способів подрібнення матеріалів, але і відзначити ефективність

подрібнення різанням, а також ефективністю впливу вібраційних дій на процес подрібнення. Ці тенденції мають важливе значення особливо під час проведення науково-дослідних та дослідно-конструкторських робіт, спрямованих на створення нових подрібнювачів.

Особливо актуальним є визначення вібраційних впливів на роботу подрібнювальних машин і проходження процесів подрібнення за різних конструктивних схем дробарок. Застосування пружної основи доцільно для роторних та молоткових дробарок, оскільки затрати на вдосконалення їх конструкцій менші від ефекту їх використання.

## 2.2 Аналіз технології подрібнення сировини та виготовлення пелетів

Упродовж останніх років виробництвом деревних пелет в Україні було зайнято 313 підприємств, з яких 254 безпосередньо спеціалізуються на виробництві тільки пелет з деревини, а інші задіяні у комбінованому виробництві з інших видів сировини (солома, лушпиння, торф, рис). Завантаженість цих підприємств не перевищує 27%. Це відбувається переважно через проблеми, що характерно, через брак вільного ресурсу сировини. В табл. 2.1 наведено середній хімічний склад видів деревини та теплоти згоряння найбільш поширених видів деревини для виробництва пелет на території України.

Таблиця 2.1 – Типовий хімічний склад різних видів деревини та теплота згоряння

Найменування	Одиниці вимірювання	Види деревини						
		Береза	Бук	Верба	Дуб	Ялина	Сосна	Тополя
Зольність	%	1,4	0,6	2,1	1,19	0,96	0,6	1,22
Вуглець, С	%	50,19	49,5	49,3	49,89	51,09	51,8	49,42
Водень, Н	%	7,49	6,26	6,6	6,01	5,54	6,1	6,0
Продовження таблиці 2.1								
Азот, N	%	0,49	0,1	1,1	0,17	0,12	0,3	0,23
Сірка, S	%	0,49	0,1	0,1	0,05	0,01	0,01	0,05

Кисень, O	%	39,93	43,7	40,77	42,68	42,27	41,19	43,07
Нижча теплота згоряння, $Q_i^d$	МДж/кг	18,45	16,22	18,72	18,7	18,85	19,56	18,19
Вища теплота згоряння, $Q_s^d$	МДж/кг	22,18	19,93	20,49	19,8	19,64	20,74	19,57

Також використовується для виробництва пелет кору дерев (табл. 2.2). Це найдешевший вид відходів процесів деревообробки.

Таблиця 2.2 – Типові середні значення хімічного складу кори та теплота згоряння

Найменування	Одиниці вимірювання	Види кори	
		Хвойні породи	Листяні породи
Зольність	%	2,9	5,3
Вуглець, C	%	53,4	49,7
Водень, H	%	5,6	5,4
Азот, N	%	0,1	0,2
Сірка, S	%	0,1	0,1
Кисень, O	%	37,89	39,29
Нижча теплота згоряння, $Q_i^d$	МДж/кг	19,78	18,29
Вища теплота згоряння, $Q_s^d$	МДж/кг	21,02	19,28

На сьогодні пелети з деревини міцно посідають друге місце за обсягом виробництва в Україні і перше місце за обсягом споживання у світі. Схеми переробки біомаси в пелети мають істотні відмінності залежно від типу та характеристик сировини. На організацію виробничого процесу впливають початковий стан біомаси, а саме крупність часток, попереднє подрібнення, наявність сторонніх включень тощо.

На підприємстві ТОВ «МТС – АГРОМАШ» застосовується схема виробництва пелет з вологих матеріалів з крупних кусків деревини та поліні (рис. 2.5).

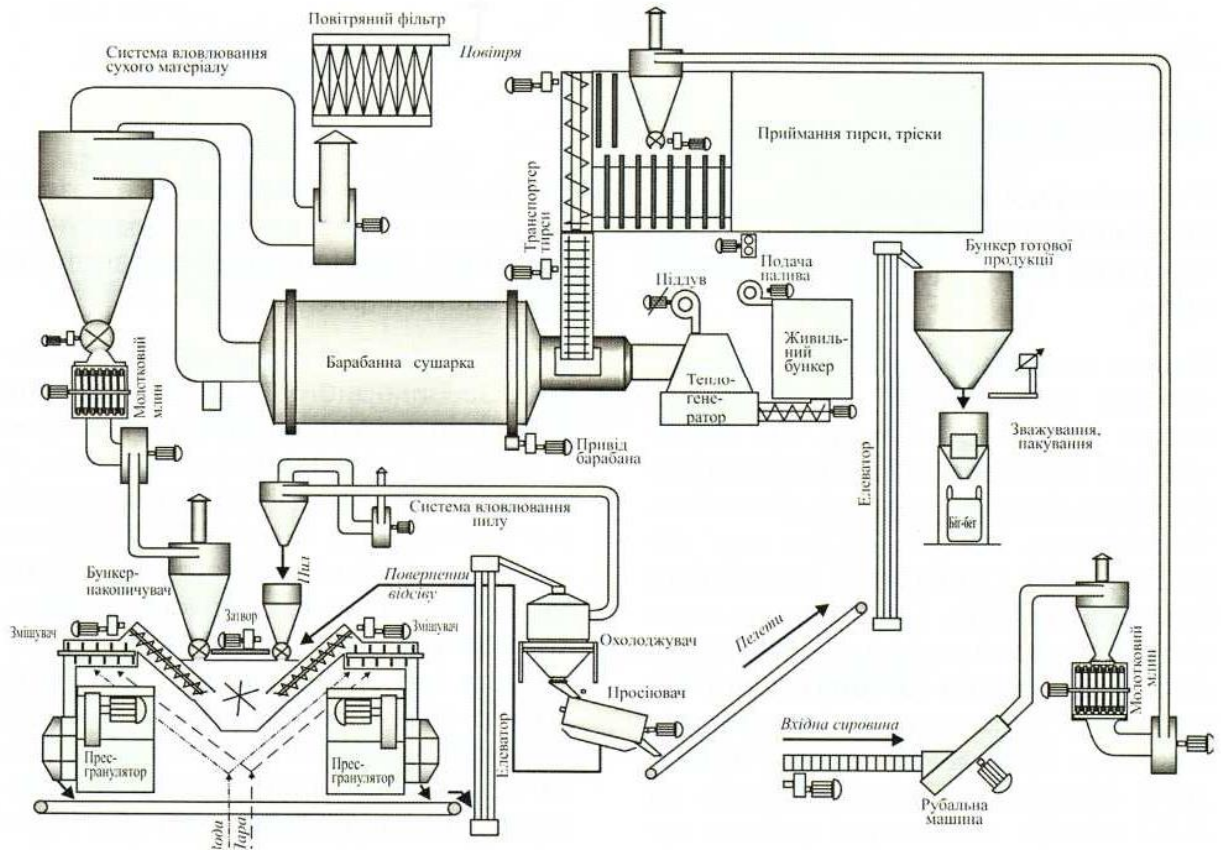


Рисунок 2.5 – Схема виробництва деревних пелет на ТОВ «МТС – АГРОМАШ»

Згідно схеми сировина після подрібнення рубальною машиною поступає в перший молотковий млин грубого первинного подрібнення, звідки направляється в накопичувач. Далі за допомогою транспортера потрапляє в барабан для сушіння. В цей час відбувається не лише сушка, але вловлювання сухих домішок та його фільтрації. Після вторинного подрібнення підготовлена сировина поступає в бункерний накопичувач. З бункеру сировина завантажується в прес-гранулятор для виготовлення пелет. Виготовлені пелети за допомогою елеватора завантажуються у бункер-охолоджувач гранул, з якого пил, що утворюється під час вивантажування,

потрапляє в систему вловлювання типу «Циклон» і далі у накопичувач пилу. Очищені гранули просіваються і елеватором доставляються в бункер готової продукції. Останнім етапом виготовлення брикетів є фасування готових виробів, яке проводиться у вільному вигляді – насипом, розфасовкою в біг-беги та дрібною розфасовкою (рис. 2.6).

*a**б**в*

Рисунок 2.6 – Розфасовка пелет насипом *a*, у біг-беги *б* та дрібно *в*

Для виготовлення пелетів застосовується різне обладнання, зокрема прес з круглою та плоскою матрицею (рис.2.7).

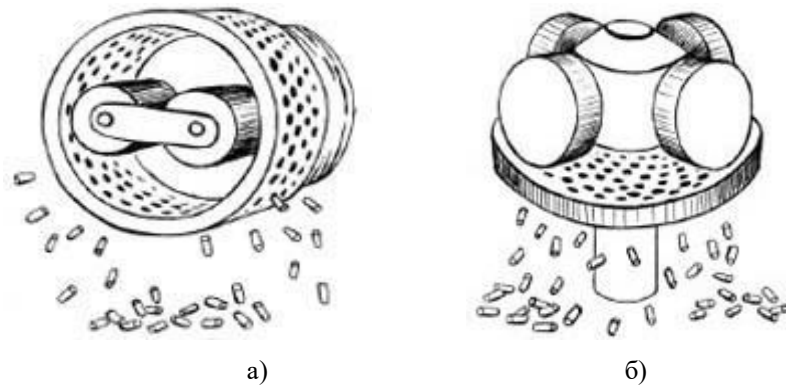


Рисунок 2.7 – Прес з круглою а) та плоскою б) матрицею для виготовлення пелет

Пресове обладнання для брикетування має широкий спектр фірм виробників, а саме: CFNielsen (Данія), UPM (Литва), Vogma (Швеція), Pawert-SPM AG (Швейцарія), DI-PIU (Італія), а також вітчизняного виробництва. Це дозволяє підібрати кожному виробникові відповідне обладнання індивідуально до потреб і фінансових можливостей, з врахуванням форми, розмірів та зовнішнього вигляду брикетів чи пелет [12].

Сфера виробництва пелет в Україні ще досить нова та недосконала, а тому їй притаманні всі типові та специфічні проблеми щодо логістики, доступності сировини, збуту продукції, ефективності виробництва. Це пов'язано з основними аспектами, що стосуються з кожної із зазначених проблем:

- сезонність збору агровідходів, простоювання техніки;
- потреба у великій кількості техніки;
- нестача вітчизняних виробників спеціалізованої техніки; На виробництво пелет
- непристосована агротехнологія;
- складність зберігання сировини;
- складність зберігання готової продукції;
- брак спеціалізованих автотранспортних засобів для перевезення пелет;
- стагнація річкового транспорту;

- недосконалість ринку перевезень;
- брак біржі біомаси;
- проблеми збуту.

На якість виробництва пелет суттєво впливає досконалість обладнання, яке використовується. Зокрема, обладнання низької якості менш надійне, у зв'язку з чим більшає кількість поломок протягом усієї роботи, що знижує загальну продуктивність виробництва та збільшує витрати на ремонт. Обладнання прес-грануляторів низької якості не забезпечує потрібних якісних характеристик пелет. Це може позначитись на низькій міцності пелет, збільшення частки негранульованого палива та частки відсіву і хоча відсів повертається у виробничий процес, загальна продуктивність виробництва щодо готового продукту зменшується, зростають питомі витрати електроенергії та інші складники собівартості. Доволі поширеною практикою на невеликих підприємствах в Україні є застосування вживаного обладнання, а також обладнання, що раніше використовувалося для виробництва комбікормів, тобто не пристосованого спеціально для виробництва пелет. Таке обладнання має нижчу встановлену електропотужність приводів, недостатню для формування якісної гранули.

Масштабний чинник тобто потужність підприємств, істотно впливає на собівартість виробництва пелет. Дослідження стосовно діючих підприємств, які проведенні в Німеччині [4], показують, що особливу роль масштабний чинник відіграє для підприємств, чия річна продуктивність не перевищує 50 тис.т/рік пелет (рис. 2.8).



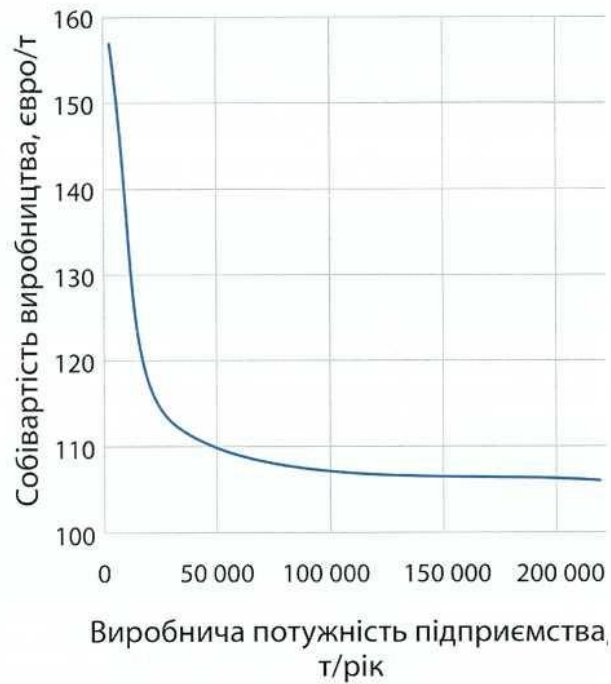


Рисунок 2.8 – Залежність собівартості продукції від виробничої потужності

Виробнича потужність 50 тис. т./рік відповідає встановленій потужності обладнання 6,25 т/год (за умови роботи 8 тис. год/рік). Більшість Українських підприємств, що виробляють пелети з деревної та аграрної сировини, мають меншу встановлену потужність і значно менший коефіцієнт завантаження. Іншим можливим чинником є ступінь використання встановленої потужності щодо випуску пелет, тобто річна тривалість роботи підприємства за номінальною потужністю скорочення річної тривалості роботи може бути пов'язано з різними чинниками:

- зменшення тривалості роботи через зниження попиту продукції;
- зменшення через проблеми з постачанням сировини;
- низька надійність обладнання (часті поломки, простої через ремонт);
- слабка організація позмінної роботи через брак персоналу.

Як правило, вище зазначені чинники, які вже є великою проблемою, призводять до зростання собівартості виробництва пелет і збільшення строку окупності інвестицій.

Характер впливу зниження річної тривалості роботи на собівартість, за даними європейських підприємств, зображено на рис. 2.9.

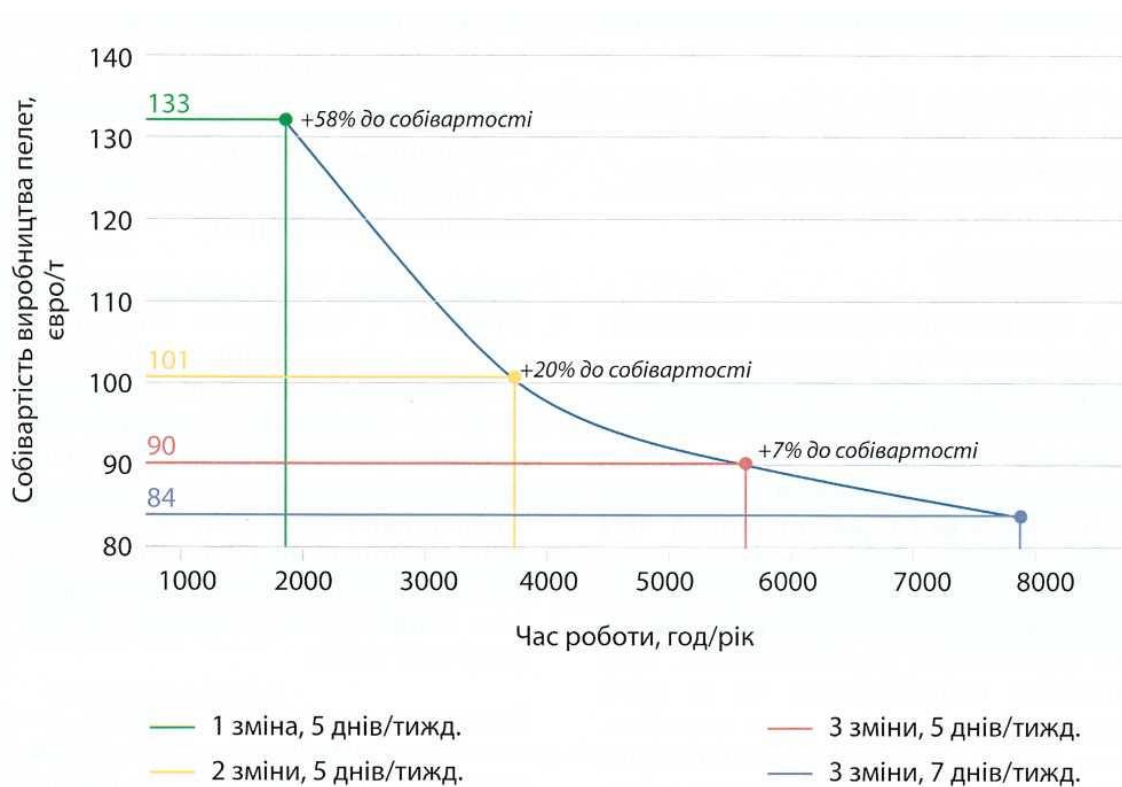


Рисунок 2.9 – Залежність собівартості продукції від завантаженості виробництва

Таким чином, основними чинниками зниження собівартості продукції на існуючих підприємствах можна вважати ритмічну стабільну роботу підприємства в цілодобовому режимі з номінальною продуктивністю. Також збільшення масштабу підприємств, тобто збільшення встановленої потужності із збереженням стабільної роботи для його використання, є істотним перспективним чинником зниження собівартості виробництва пелет.

Однією з найбільших витрат пелетного виробництва є витрати електроенергії. Орієнтовні витрати електроенергії для процесів пелетного виробництва, за різними опублікованими даними, показано в табл. 2.3.

Таблиця 2.3 – Питомі витрати електроенергії, кВт·год/т пелет

Виробничі процеси, обладнання	Витрати еє/кВт·год/т	Тип сировини
Первинне подрібнення (дробарки різні)	15	Деревна стружка
	20	Солома зернових
	25	Деревна тріска
Остаточне подрібнення (дробарки молоткові)	15-45	Стружка, тріска
	45	Солома зернових
Кондиціювання (підготовка до гранулювання)	5	Стружка, тріска, солома зернових

На рис. 2.10 показано залежність в діапазоні 3...15 т/год зміна питомого енергоспоживання за умови збільшення годинної виробничої потужності на кожну тону пелет, яка вказує на зменшення питомих показників.

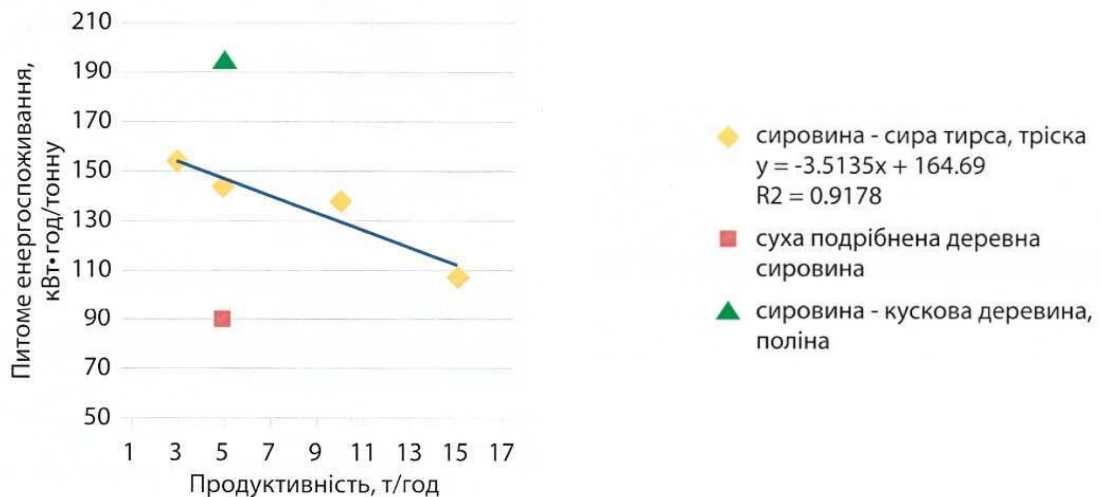


Рисунок 2.10 – Питоме електроспоживання залежно від масштабу виробництва

Поza тим, теплотворна здатність пелети напpямy залежить від її вологості, зольності та елементарного складу. Для деревної пелети з вологістю 10% і зольністю 1% (стандарт EN Plus A1) теплотворна здатність становить 17 МДж/кг.

Елементарний склад сировини впливає на міцність сформованих пелет і суттєво впливає на міцність готового продукту. Через це під час здійснення операцій укладання, фасування, зберігання, вантаження та перевезення деяка частка пелет через незначну міцність матеріалу та специфічну форму розпадається та розсипається, до того ж втрачається однорідний фракційний склад палива, що може впливати на якість спалювання стандартна величина частки бракованої фракції деревної пелети знаходиться у межах 0,2...0,4 % від загальної маси пелети за використання комбікормової технології гранулювання (стандарт EN Plus A1). Вимоги до властивостей сировини наведені в табл. 2.4.

Таблиця 2.4 – Вимоги до властивостей сировини для виготовлення пелет

Властивість	Деревні пелети	Пелети із соломи	Пелети з лушпиння
Вологість	За стандартом (EN plus, DIN, NTA 8080), 8-12%	Нестандартизована, 5-15%	Нестандартизована, 5-15%
Зольність	Менш як 1 %	3...6%	3...12 %
Теплотворна здатність	15-18 МДж/кг (17 МДж-за стандартом)	12-16 МДж/кг	14-18 МДж/кг
Насипна щільність	500-700 кг/м <sup>3</sup> , 1100-1300 кг/м <sup>3</sup>	450-750 кг/м <sup>3</sup> , 1000-1400 кг/м <sup>3</sup>	400-800 кг/м <sup>3</sup> , 1100-1400 кг/м <sup>3</sup>
Міцність, брак фракції	Висока, брак фракції до 0,4 % від маси	Середня, брак фракції 0,4-0,6 %	Низька, брак фракції 0,5-1 %

Окрім нерівномірного прогріву або охолодження та вологості подрібненої маси сировини на міцність пелет впливає однорідність фракції. Тому для подрібнювачів деревних відходів використовується ціла гама конструкцій з метою забезпечення заданих вимог. Переважно на підприємствах, які виготовляють деревні пелети, застосовуються молоткові дробарки. Основною технологічною вимогою щодо підготовленої сировини для виготовлення пелет є забезпечення розміру часток їх подрібнених частинок деревини, яка становить 1...2 мм за умови забезпечення необхідної вологості.

На рис. 2.11 наведено приклади молоткових дробарок, які використовуються в технологічних лініях виготовлення пелет.

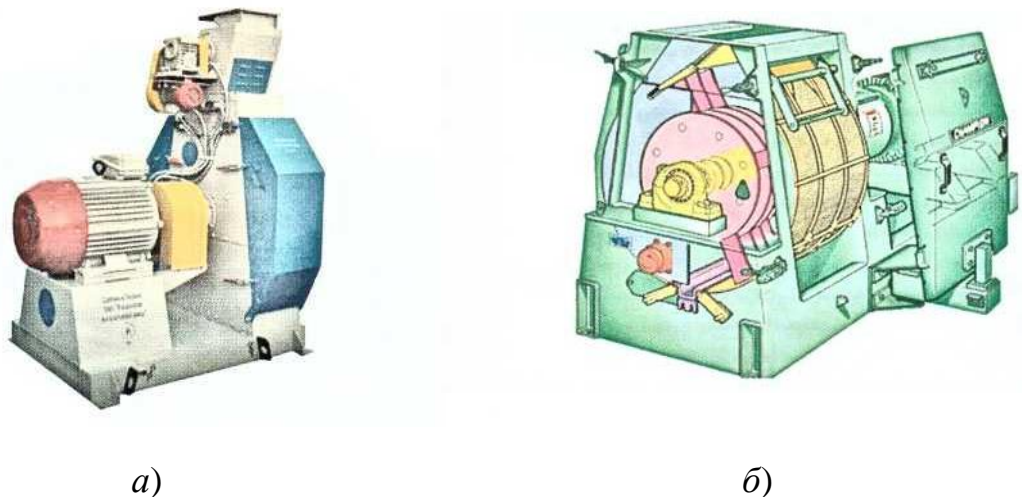


Рисунок 2.11 – Молоткові дробарки: *а)* – типу ДМ-2Р продуктивністю до 10 т/год; *б)* типу Champion (СРМ)

Досвід експлуатації молоткових дробарок показав, що для різних видів деревних матеріалів не завжди можна досягнути заданої згідно вимог фракції частинок. Тому в багатьох країнах Європи для забезпечення заданих розмірів фракції під час виготовлення пелет застосовують подрібнювачі барабанного типу з улаштованими на зовнішній поверхні барабана різцями.

Конструкція барабанного подрібнювача складніша і дорожча за конструкцію подрібнювача молоткового типу. Основною перевагою є здатність утворення однорідної фракції деревини, що позитивно відображається в кінцевому результаті.

Найбільш ефективними та поширеними подрібнювачем барабанного типу у технологічному обладнанні виготовлення пелет є конструкції V-Rotor і F-Rotor (рис. 2.12 та 2.13).



Рисунок 2.12 – Подрібнювач типу V-Rotor компанії Weima

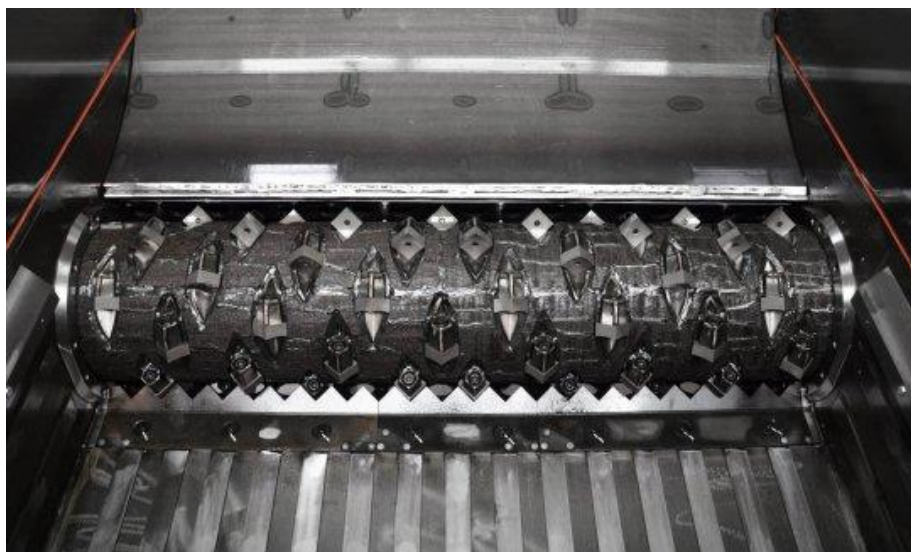


Рисунок 2.13 – Подрібнювач типу F-Rotor компанії Weima

Основною відмінністю F-Rotor від V-Rotor є наявність постійної подачі. Різці закріплено за гвинтовою твірною на зовнішній поверхні барабана. Це дозволяє збільшити питому силу різання під час вторинного подрібнення деревинних відходів. Різці закріплюються на спеціальних суппортах, розміщених на зовнішній поверхні барабана.. В компанії Weima існує 6 видів різців, які використовують для різання різних матеріалів (рис. 2.14) [10]. Відрізняються різці між собою складу матеріала, з якого їх виготовляють, та формою ріжучої кромки. Кріпляться різці на опорних поверхнях за допомогою гвинта.

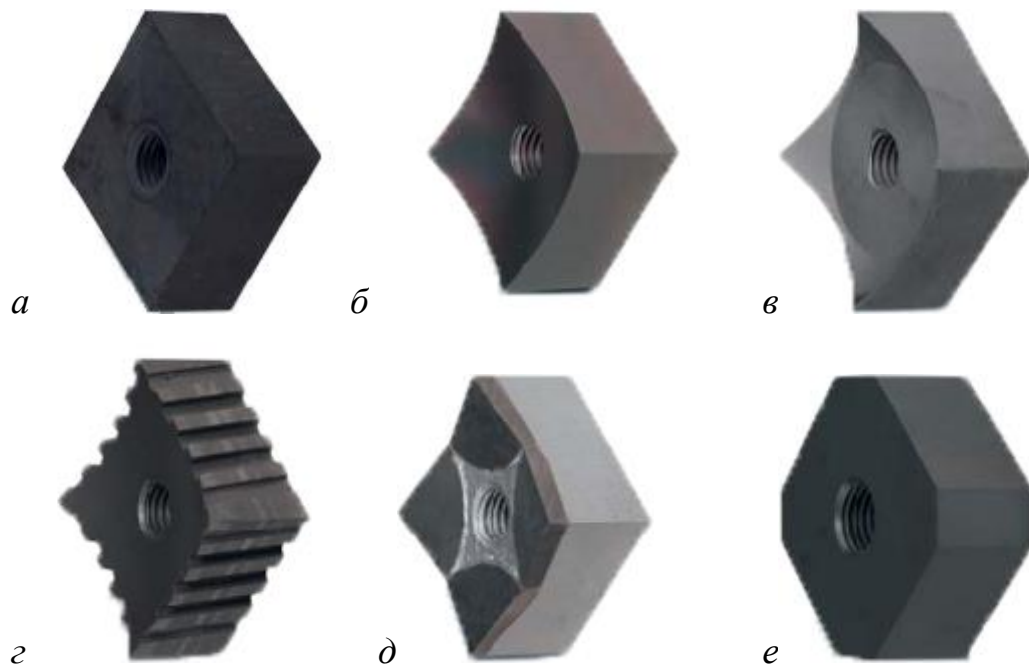


Рисунок 2.14 – Види різців, що використовуються у подрібнювачах барабанного типу, де: *a* – гладкі ріжучі; *б* – увігнуті; *в* – додаткові увігнуті; *г* – з додатковими ріжучими кромками; *д* – карбідні; *е* – трапецеїдальні.

Гладкі ріжучі різці мають надзвичайно стійкі до зносу і характеризуються тривалим терміном експлуатації навіть з агресивними матеріалами. Ідеально підходять для шорстких додатків, таких як ДСП, а також використовуються як змішана конфігурація. Виготовляють різці з матеріалу РГК, аналогів якого не існує.

Увігнуті різці використовуються для забезпечення хорошої подачі матеріалів, внаслідок чого це призводить до значно меншої потужності, необхідної при різанні деревини. Даний тип різців виготовляють з матеріалу D2 (аналог X12MФ). X12MФ – вітчизняна інструментальна легована хромиста сталь, яка є технологічною, корозійностійкою та легко полірується.

Додаткові увігнуті різці істотно покращують подачу матеріалу, що додатково оптимізує руйнування та запобігає простому подрібненню матеріалу.

Типові приклади застосування - це нитки та плівки.

Новаторські різці з додатковими ріжучими кромками CrossCut виготовляють з матеріалу СВ1 та допомагають: значно знизити споживання енергії, отримувати матеріал з меншою фракцією, знизити шум при роботі, забезпечити вищу матеріальну пропускну здатність.

Карбідні різці використовуються для підвищення зносостійкості, тому їм потрібне мінімальне технічне обслуговування. Використання барабанів з твердосплавних матеріалів гарантує максимальний термін служби. Цей варіант ножів доступний як у вигляді твердої карбідної версії, так і з паяними карбідними плитами. Типовими застосуваннями є абразивні матеріали, такі як скловолокно та сільськогосподарська плівка, забруднена піском.

Трапецеїдальні різці (Trapezoidal) WEIMA забезпечують максимальну стійкість до забруднюючих речовин. Завдяки стабільній ріжучій кромці та послідовно хорошему різанню, вони допомагають уникнути утворення грудок. Зокрема, у випадку з плівками, плоска секція є вигідною для отримання максимально можливого розчиненого вихідного матеріалу.

### 2.3 Відомі технічні рішення для подрібнення деревинних відходів

Як відомо, на першому етапі, після щорічного прорідження або обрізки лісових, паркових, придорожніх насаджень, потрібно провести їх первинне подрібнення до фракції 10...20 мм безпосередньо на місцях



зачистки, що полегшить їх транспортування до місць, де відбуватиметься подальша переробка. Це дозволить зменшити витрати на транспортування, оскільки об'єм попередньо подрібненої сировини займатиме значно менше місця. Для первинної переробки на підприємствах частіше всього застосовують мобільні пересувні машини (рис. 2.15, рис. 2.16), що оснащені навісним обладнанням. Дане обладнання приводиться в рух від обертання вала відбору потужності та гідравлічної системи трактора чи від індивідуального джерела живлення. Іншим варіантом є стаціонарне обладнання у вигляді технологічної лінії деревообробного виробництва. Це обладнання значно потужніше за навісне, але й дороге в обслуговуванні.



Рисунок 2.15 – Зовнішній вигляд подрібнювача RM 800.5 приєднаного до трактора



Рисунок 2.16 – Зовнішній вигляд мобільного молоткового подрібнювача

Навісне обладнання не вибагливе і значно дешевше в експлуатації, тому це ідеальний варіант для подрібнення гілок діаметром до 15 см в межах міста, паркових та придорожних зонах.

Після подрібнення мобільним або стаціонарним обладнанням деревини на щепу, сировина ще не готова для подальшої (вторинної) переробки. Щепа має різну вологість, що не дозволяє проводити процес брикетування та отримання пелет. Тому наступний етап – висушування щепи до вологості 6...8 %. Існують різні види сушарок, які діляться на два основні типи – барабанні та стрічкові. Найбільш поширені барабанні сушарки, в яких в якості агента сушіння використовується суміш топкових газів з повітрям. Сушарки стрічкового типу дорожчі, але безпечніші.

За типом сушильного реагенту вони поділяються на сушарки, що працюють на топкових газах, гарячому повітрі і водяній парі, а за типом виду палива – на газові і на деревинних відходах. Спеціальні сушильні машини забезпечують інтенсифікацію процесу. В іншому випадку, враховуючи той факт, що вирубка проводиться весною, а використання брикетів та пелет, в основному, припадає на зиму, то проводити сушку щепи можливо природнім шляхом на відкритому повітрі, що зменшить економічні витрати, але збільшить об'єм площ для складування та зберігання щепи. Два варіанти сушки щепи мають свої переваги та недоліки, тому ефективність їх використання потрібно оцінювати відповідними економічними розрахунками.

Після проведення сушки, третім етапом є остаточне подрібнення щепи до розмірів фракції 2...5 мм. Дана величина подрібнення і вологість 6...8 % забезпечує найбільш якісне брикетування. При невиконанні заданих умов теплотворна здатність палива зменшиться, а зовнішній вигляд вплине на їх реалізацію. Це пов'язано з тим, що при вологості щепи більше 10...15 % під час пресування брикетів вони будуть «розірвані» внутрішнім тиском, створеним рідиною, яка виникає при стисненні подрібненої маси. Вторинна переробка деревини виконується подрібнювачами молоткового та

барабанного типу (рис. 2.13). Конструкція молоткового типу є більш проста, а обслуговування дешевше. Але основним недоліком є неоднорідність фракції деревини на виході, що впливає на якість брикетів. Одним із молоткових подрібнювачів є Хеммель RM 71, який на виході видає щепу 1...8 мм (рис. 2.17,б) [2].



*a*



*б*

Рисунок 2.17 – Барабанний подрібнювач WLH фірми Weima (Німеччина) (*a*) та молотковий подрібнювач Хеммель (Україна) RM 71

Виготовленням навісних мобільних подрібнювачів займаються закордонні та вітчизняні виробники, конструктивні та технологічні особливості яких майже однакові і різняться лише назвами їх маркувань (табл. 2.5). До найбільш поширених належать Wallenstein VX102 (Швеція), Cirro 25 Caravaggi, (Італія), RM 800.5 Хеммель-Україна (Україна), HJ-260G Junkkari (Фінляндія), Weima WL 6 S (Німеччина), Weima WL 13 (Німеччина). Четвертим етапом виготовлення брикетів та пелет є їх пресування. Процес брикетування – це процес ущільнення матеріалу під високим тиском, з виділенням температури від сили тертя. За рахунок цього в деревині відбувається виділення лігніну, який є сполучною речовиною для формування брикету. Чим вище зусилля пресування і вище температура

Таблиця 2.5 – Коротка характеристика подрібнювачів деревини

Марка деревоподрібно вача	Виробник	Тип подрібнювально го присторою	Товщина подрібнювальної деревини, см	Потужність, кВт	Продуктивність, т/год	Маса, кг
1	2	3	4	5	6	7
TV 28-40	Vandaeie (Німеччина)	Дисковий	до 28	68	56	2850
Cippo 25	Caravaggi, (Італія)	Дисковий	до 25	59	3,5	1860
DP660T	Олнова (Україна)	Дисковий	до 16	24	2-4	760
PZ210	Rezzolato (Італія)	Дисковий	до 21	38	45	1180
HJ-260G	Junkkari (Фінляндія)	Дисковий	до 25	30- 75	1,7-5	740
NHS 840	EIFO Forsttechnic	Дисковий	до 21,5	36	3-5	900
RM 8005	Хеммель- Україна (Україна)	Дисковий	до 15	50	4-5	665
RM 8005	Хеммель- Україна (Україна)	Дисковий	до 15	50	4-5	665
WL 6 S	Weima (Німеччина)	Барабанний	до 30	22	0,5	2100
WLK 13	Weima (Німеччин)	Барабанний	до 30	55	1	3400
HH520/3 0D	BGU Maschinen (Німеччина)	Барабанний	до 30	52	4-7	3500

сировини, тим краще гранули за якістю. При збільшенні температури пресування понад 120°C відбуваються незворотні процеси, які призводять до погіршення якості продукції. Тому для найбільшого ефекту температура в зоні пресування повинна знаходитись в межах 100 °C. Для брикетів не з

деревної сировини, можуть застосовуватися екологічно чисті добавки (не більше 2%). Об'єм готового брикету складає 1/10 від об'єму затраченої на його виробництво сировини, що дає значну економію під час їх транспортування та зберігання.

#### 2.4 Висновки до другого розділу

На основі аналізу методів та способів подрібнення сировини, технології виготовлення та відомих технічних рішень можна зробити такі висновки:

- різні способи подрібнення доцільно суміщати з вібраційними коливаннями;
- завдяки використанню явища резонансу можна значно зменшити використання енергії при процесі подрібнення;
- швидкість та кут подачі матеріалу у робочу зону дробарки впливає на затрати енергії на подрібнення та на однорідність фракції матеріалу після подрібнення.

### 3 РОЗРАХУНКОВО–КОНСТРУКТОРСЬКИЙ РОЗДІЛ

#### 3.1 Вибір раціональної схеми приводу подрібнювача за критеріальними оцінками

Одним з основних вузлів подрібнювачів є привід, який переважно визначає їх досконалість, надійність, функціональні можливості, вартість та інші техніко-економічні показники. Критеріями вибору приводу подрібнювача, зазвичай, є його доступність виготовлення чи придбання, ККД, габаритні розміри, вага, вартість затрат на виготовлення за відповідності основних робочих характеристик (потужність, частота обертання робочого вала) вимогам експлуатації. Однак дослідження, які проведені вітчизняними і закордонними вченими щодо удосконалення приводів машин, показали необхідність врахування додаткових вимог, таких як підвищена питома потужність, можливість регулювання швидкості робочої ланки і крутного моменту, реалізація необхідного закону керування.

Тому під час розробки нової чи модернізації існуючої машини необхідно значну увагу приділити вибору раціональної схеми її приводу за допомогою критеріальних оцінок, що дозволить забезпечити покращенні техніко-економічні показники.

Приводи загальнопромислового призначення можна поділити на роздільний привод (РП), який складається з електродвигуна, нормалізованого редуктора, з'єднувальних муфт, механічних передач (зубчастих, пасових, ланцюгових), і комплектних приводів, до яких належать мотор-редуктор (МР), редукторні електродвигуни (РЕД), вмонтовані приводи (ВП).

МР, які відносяться до комплектних приводів, відрізняються наявністю електродвигуна фланцевого виконання, що закріплений на корпусі редуктора, а у РЕД електродвигун і редуктор змонтовані в одному загальному корпусі або на одній корпусній деталі.

До ВП належать мотор-барабани (МБ) конвеєрів, приводи лебідок та подрібнювачів, що розміщені всередині барабанів, тельфери, силові головки і шпинделі агрегатних верстатів тощо.

Під час вибору визначених параметрів приводу (потужність, швидкість вихідного вала) завжди бажано мати пристрій з найбільш високим ККД, малим габаритом, низькою вагою та вартістю.

Узагальненим критерієм, який визначає економічну доцільність вибраного типу приймаємо мінімум суми витрат на виготовлення і експлуатацію.

Наближено вважаємо вартість витрат на виготовлення приводу такою, що відповідає оптовим цінам  $C_{omm}$  на його складові вузли. Витрати на обслуговування, амортизацію, ремонт приймаємо рівними, відповідно, для нової та базової розробок через їх невеликі значення порівняно із витратами на електроенергію, яка споживається приводом, а тому не враховується.

Тоді економічно ефективним буде тип приводу, у якого меншим є мінімум суми витрат  $E$ .

$$E = C_{omm} + t_0 k (1 - \eta) \frac{P}{\eta}, \quad (3.1)$$

де  $t_0$  – час роботи приводу на протязі року;  $k$  – вартість 1 кВт·год;  $\eta$  – ККД приводу;  $P$  – потужність на веденому валу.

Потужність  $P$  визначається за формулою:

$$P = \frac{1}{T} \int_0^T P' dt, \quad (3.2)$$

де  $T$  – тривалість роботи приводу;  $P' = P(t)$  – закон зміни потужності в функції часу.

Аналіз виразу (3.1) показує, що за однакової потужності, що передається приводом, мінімальна величина суми витрат залежить від витрат на виготовлення приводу  $C_{omm}$  і величини ККД.

Друга складова цього виразу значно залежить від вибору схеми приводу, так як величина ККД визначається втратами енергії у механічних передачах, муфтах, підшипниках тощо. Переважний вплив на втрати енергії приводу має ККД механічних передач, використаних в ньому.

Оскільки у РЕД, МР, МБ механічні передачі, така як пасова, ланцюгова тощо, як правило, не застосовуються, то для вибору найбільш раціонального виду механічної передачі приводів, що порівнюються за величиною ККД, доцільно скористатися графіками для зубчастих передач, що показані на рис. 3.1.

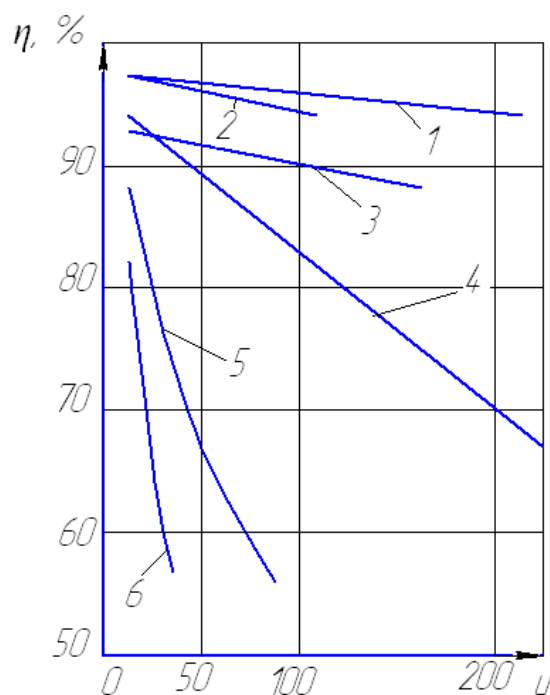


Рисунок 3.1 – Залежність ККД основних типів передач від передаточних чисел: 1 – планетарних типів I, II, III; 2 – рядових; 3 – планетарних типу VI з цівковим зачепленням; 4 – планетарних типів IV і V; 5 – черв'ячних глобоїдних; 6 – черв'ячних циліндричних

Найбільш високі значення ККД має планетарна типів I, II, III, рядова передачі, а також планетарна цівкова передача. Як видно з графіків, для значень передаточного числа  $u < 20$  величини ККД передач суттєво не відрізняються. Тому за рівних умов необхідно надавати перевагу рядовій



передачі як найбільш простій конструктивними та технологічними показниками.

Наступним важливим критерієм є габарит привода. На рис. 3.2 показано розміри РП, МР, РЕД і МБ (в одній проекції) однакової потужності та частоти обертання приводного барабана. Необхідно зазначити, що представлено найпростішу схему РП, так як між електродвигуном і редуктором, чи редуктором і приводним барабаном можуть бути встановлені різні типи передач, що призведе до збільшення його габаритних розмірів.

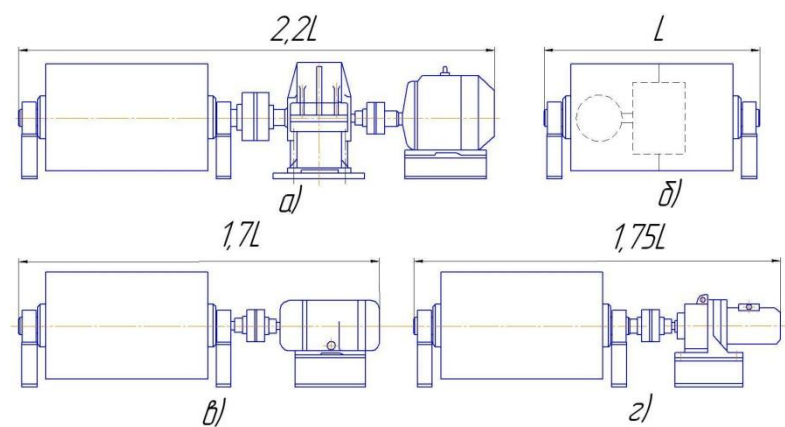


Рисунок 3.2 – Габарити РП(а), МБ(б), РЕД(в) та МР(г) однакових параметрів

Порівняльний аналіз габаритних розмірів приводів показує, що найменшим він є у МБ, який в 1,7 разів менше ніж у РЕД, в 1,75 разів – ніж у МР і в 2,2 разів – ніж у РП.

Третій критерій це вага приводу, яку на стадії проектного пошуку технічного рішення можливо визначити наближено в залежності від габаритного об'єму. Для цього використовується коефіцієнт заповнення габаритного об'єму  $k_3$ , що дозволяє визначити вагу  $G$  за формулою:

$$G = V\gamma k_3, \quad (3.3)$$

де  $V$  – об'єм механічної частини приводу;  $\gamma$  – усереднена питома вага матеріалів передач;  $k_3$  – коефіцієнт заповнення габаритного об'єму.

Для РП, електричного і гідравлічних МБ визначено коефіцієнти заповнення габаритного розміру  $k_v$ , значення яких наведені в табл. 3.1.

На рис. 3.3 наведено графічну залежність маси чотирьох типів приводів (в РП враховано масу рами, а в МБ – масу барабана) від потужності для різних швидкостей веденої ланки.

Крім зазначених критеріїв важливим є показник питомої потужності приводу, який визначає ефективність витрат підведеної до приводу енергії. Значення цього показника, що наведені в табл. 3.1 свідчать про найбільш ефективне використання споживаної потужності у вмонтованому приводі.

Таблиця 3.1 – Коефіцієнт заповнення габаритного об'єму  $k_v$  та питома потужність  $k_n$  для різних типів приводів.

Тип привода		$k_n$ , Вт/кг
Роздільний привод:		
КЛГ НДГРІ	720	14,5
КЛГМ НДГРІ	68	21,9
Мотор-барабан електричний МБ14/80-1,25	54	27,2
Мотор-барабан гідравлічний:		
з рядовою двохпотоковою передачею	2	55,1
з спеціальним гідродвигуном	5	32,2
з одноступінчастими рядовими передачами	45	35,6
з хвильовими передачами	4	–
з двоступінчастою співвісною передачею(чотирипоточна на другому ступеню)	3	53,7
з триступінчастою цівково-циліндричною співвісною передачею	38	–
з триступінчастою циліндрично-цівковою співвісною передачею	35	29,9
з двома рядовими двохпоточними передачами	35	67,6

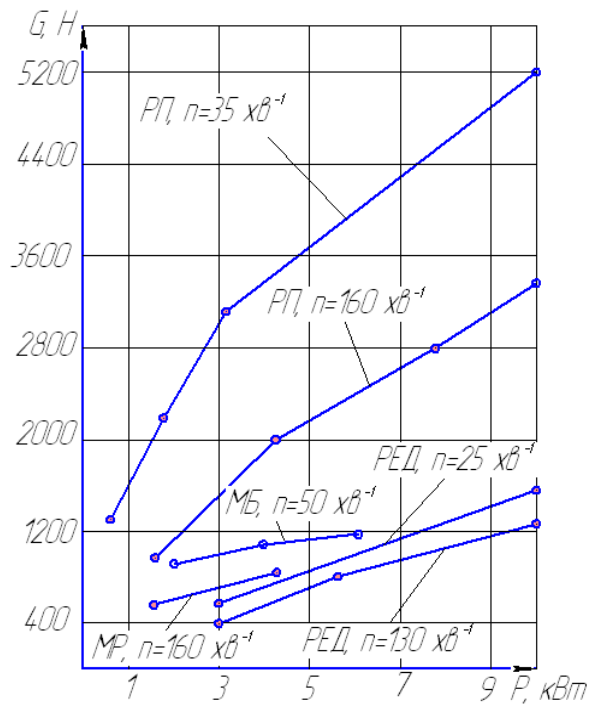


Рисунок 3.3 – Залежність ваги роздільного привода РП, мотор-редуктора МР, редукторного електродвигуна РЕД і мотор-барабана від потужності для різних швидкостей тихохідного валу

Наведений аналіз за критеріальними оцінками зазначених типів приводів показав доцільність заміни РП на вмонтований привід (ВП), серед яких перевагу слід надавати гідропривідним пристроям. Головний фактор, що обумовлює перевагу гідрооб'ємних приводів обертального руху над електроприводними, є фізичний принцип дії. Гідродвигун працює з питомим силовим напруженням (тобто тиском) 6,3...25 МПа і вище, а в магнітному зазорі електродвигуна питоме силове напруження складає тільки 0,7 МПа.

Специфіка конструкції ВП полягає в обмеженні габаритних розмірів передавального механізму внутрішнім простором корпусу барабана і потребує поєднання габаритних розмірів механічних передач з їх передатними відношеннями. Порівняльний аналіз габаритних розмірів різних типів передач для відповідних діапазонів передатних чисел дозволяє оцінити

область їх застосування з метою забезпечення оптимальної компоновки вмонтованого приводу.

Пошуки засобів зниження динамічних навантажень в приводі під час нестационарних режимів, а також забезпечення його надійного функціонування в умовах змінних режимів роботи, спонукали до формування додаткових вимог до привідних пристроїв щодо можливості регулювання швидкості робочої ланки, крутного моменту, заданого закону керування роботою приводу. Поставлені задачі в гідравлічному ВП успішно розв'язуються за допомогою засобів гідроавтоматики.

### 3.2 Розробка конструктивної схеми подрібнювача деревини з гідроприводом

Розробкою подрібнювачів з деревних відходів займаються провідні фірми як Європи так і на інших континентах.

Зокрема, відомий подрібнювач виробництва США для подрібнення відходів [8] містить рамну конструкцію, яка має ротор дробарки, опущений в каркасну конструкцію, яка включає в себе безліч ріжучих інструментів, вмонтоване лезо, що утримується рамною конструкцією і взаємодіє з подрібнювальним ротором, і містить елемент подачі відходів на подрібнювальному роторі, в якому елемент подачі містить нижній конвеєр подачі і верхній конвеєр подачі, які вирівняні по вертикалі, і кожен з яких містить нескінченний транспортуючий елемент, що працює на двох розведених роликах, які повертаються, нижній робочий хід верхнього конвеєра і верхній робочий хід нижнього, таким чином конвеєр утворює канал подачі рухомої стінки для матеріалу, що подрібнюється, причому нескінченний транспортуючий елемент містить пластинчастий ланцюг, який містить елементи пластинчастого ланцюга, кожен з яких має пластинчасту ділянку, а також передню і задню шарнірні ділянки, так що постійно

взаємодіючі шарнірні ділянки елементів сусідніх пластинчастих ланцюгів утворюють шарнірне ребро постійного поперечного перерізу.

Недоліком пристрою є збільшені габаритні розміри подрібнювача через зовнішнє розташування двигуна, редуктора та з'єднувальної муфти, підвищена металоємкість, а також понижені показники питомої потужності пристрою.

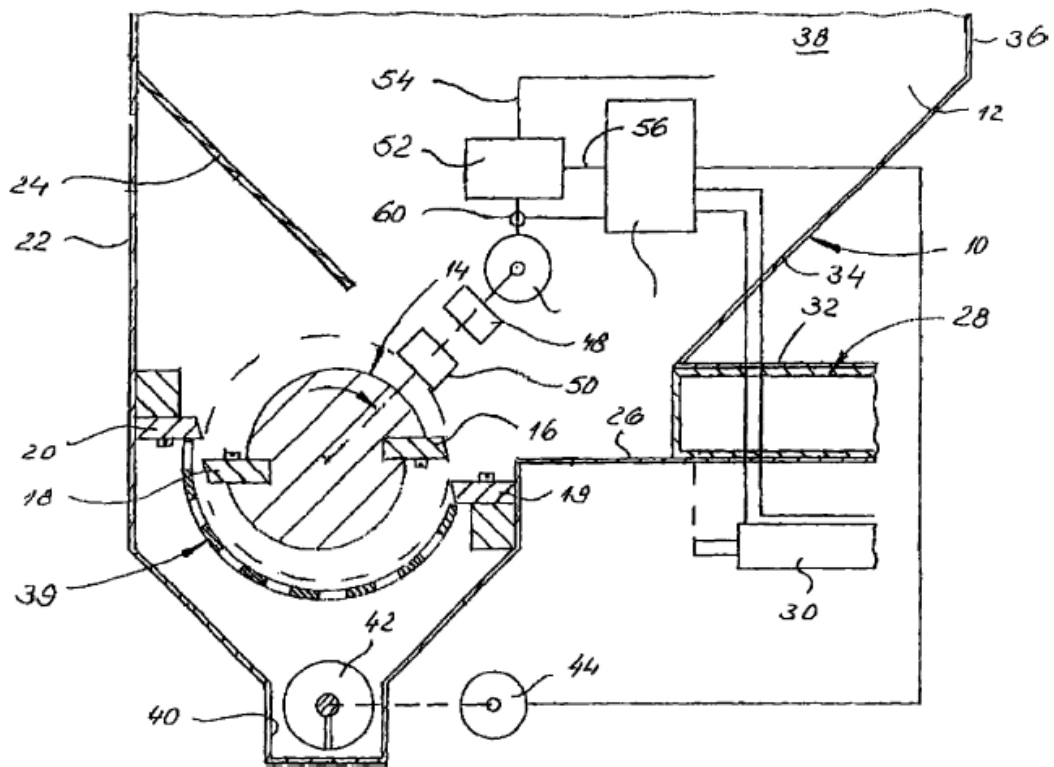


Рисунок 3.1 – Подрібнювач для подрібнення відходів  
(Patent No.: US 7,575,186 B2, Int. Cl. B2C 8/24, Aug. 18, 2009)

Користуючись наведеними критеріальними оцінками, у ВНТУ створено гідравлічний ВП для вторинного подрібнення деревинних відходів на заміну існуючого приводу, який працює від роздільного приводу з електричним двигуном.

У новій конструкції подрібнювача, розробленого на кафедрі ГМ ВНТУ поставлена задача створення подрібнювача деревинних відходів, в якому за

рахунок введення у вмонтований гідравлічний привід модуля передавального механізму у вигляді кульково-хвильової передачі збільшується жорсткість конструкції, за менших габаритів передавального механізму збільшуються діапазон передатних чисел та показники питомої потужності приводу і, таким чином, підвищується довговічність роботи та покращуються його функціональні можливості.

Поставлена задача вирішується тим, що подрібнювач деревинних відходів, який містить закріплений у корпусі подрібнювача барабан, з улаштованими на його поверхні за гвинтовою лінією різцями, та встановлений в середині корпусу барабана вмонтований гідравлічний привід, що складається з гідромотора розміщеного у внутрішній порожнині першої піввісі, вал якого з'єднаний з втулкою модуля передавального механізму, виконаного у вигляді кульково-хвильової передачі, що складається з чотирьох секцій генератора хвиль, які встановлені попарно з додатним та від'ємним ексцентриситетом, на вихідному валу модуля передавального механізму закріплений привідний диск, який нерухомо з'єднаний кільцем жорстко скріпленим з внутрішньою поверхнею корпусу барабана, при цьому вихідний вал передавального механізму розміщено в підшипниковому вузлі другої піввісі, яка разом із першою піввіссю, корпусом модуля передавального механізму та його вихідним валом утворює з'єднану вісь барабана. Крім того, всередині цільної частини першої вісі виконані осьові та радіальні канали для підведення напірної та зливної магістралі, що під'єднані до робочої камери гідромотора.

За базову модель обрано подрібнювач деревинних відходів [9] (рис.3.2), який містить закріплений у корпусі подрібнювача барабан з улаштованими на його поверхні за гвинтовою лінією різцями, та привід, всередині корпусу барабана встановлено вмонтований гідравлічний привід, який складається з гідромотора, розміщеного в порожнині складеної піввісі, вал якого жорстко з'єднаний з шестірнею передавального механізму, яка через проміжні зубчасті колеса, що зафіксовані в корпусі передавального

механізму, кінематично зв'язана з коронним зубчастим колесом, жорстко скріпленим на внутрішній поверхні корпусу барабана, крім того, у суцільній частині складеної піввісі та правій піввісі виконані гідроканали, які через трубопроводи з'єднані з робочою камерою гідромотора.

Недоліком прототипу є недостатня довговічність роботи пристрою, обумовлена наявністю у передавальному механізмі приводу одноступінчатої багато поточної циліндричної передачі, яка має невисокі передатні числа, що накладає обмеження на діапазон частот обертання та діаметральні розміри корпусу барабана, а також наявністю зазорів в елементах передавального механізму, що зменшує жорсткість конструкції.

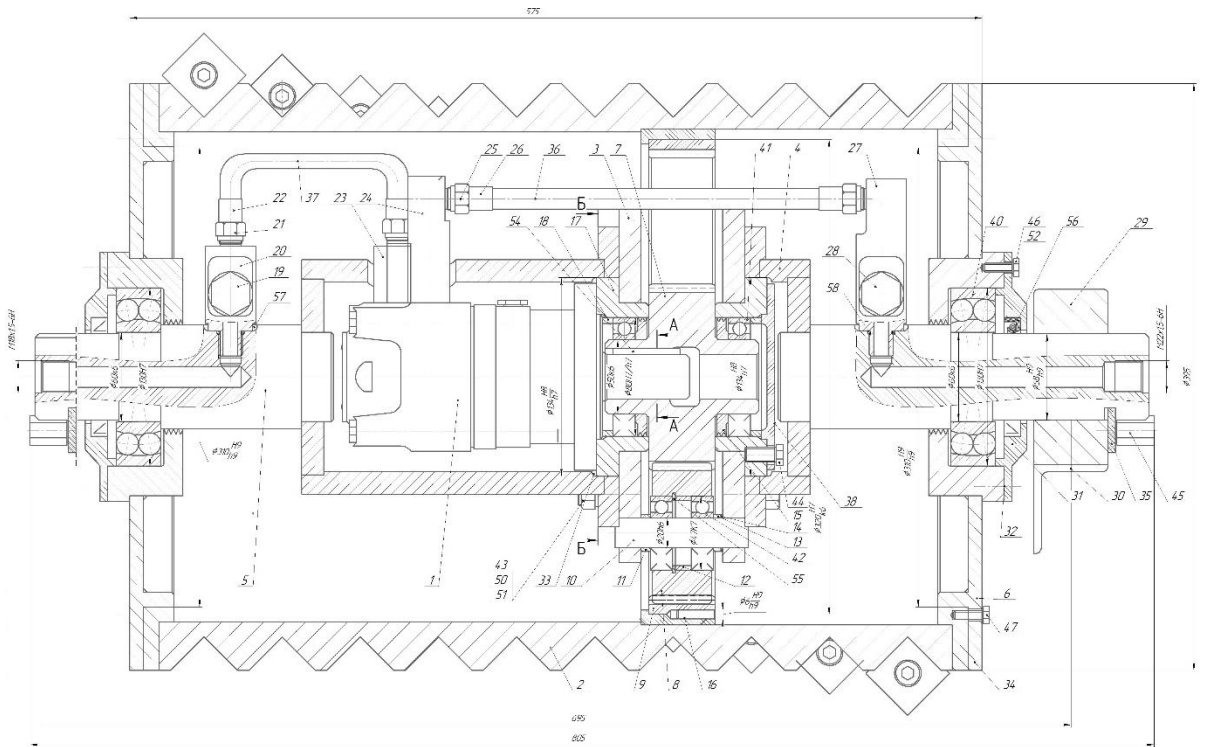


Рисунок 3.2 – Подрібнювач базова модель

На рис. 3.3 зображено подрібнювач деревних відходів конструкції кафедри ГМ ВНТУ.

Подрібнювач деревинних відходів, який містить барабан 1, з улаштованими на його поверхні за гвинтовою лінією різцями 2, всередині корпусу барабана 1 встановлено вмонтований гідравлічний привід, який

складається з гідромотора 3, що встановлений в середині першої піввісі 4, закріпленій на торцевій поверхні нерухомого корпусу 5 передавального механізму, жорстко з'єднаний з втулкою 6, на якій попарно за додатним і від'ємним ексцентриситетом встановлений генератор хвиль 7 у вигляді циліндричних кілець чотирьох секцій хвильових передач. Це дозволяє урівноважити зміщені відносно осі обертання вала гідромотора маси.

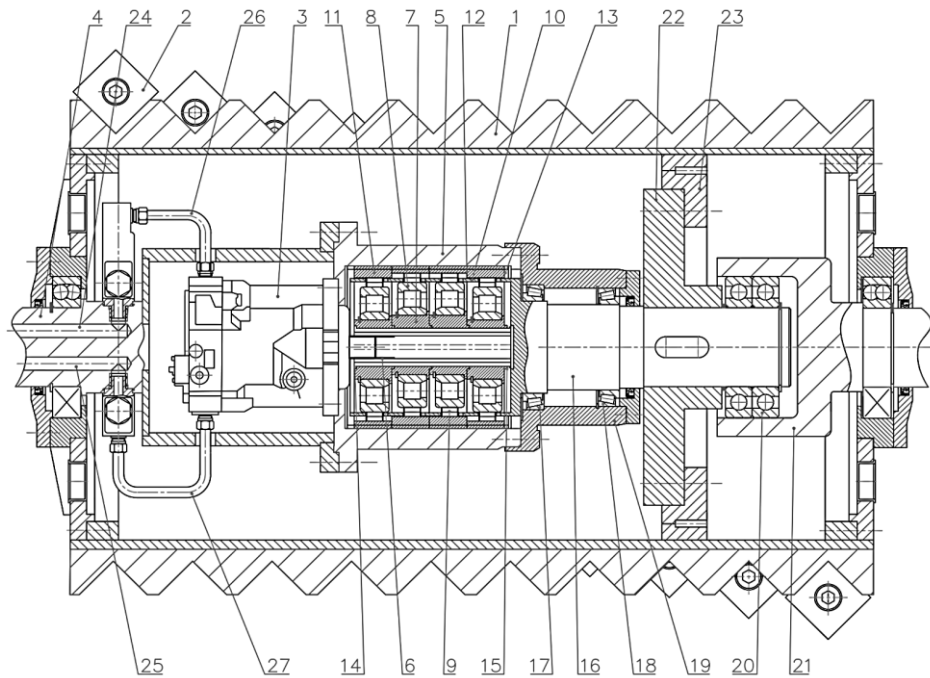


Рисунок 3.3 – Подрібнювач деревних відходів конструкції кафедри ГМ ВНТУ

На зовнішній поверхні генератора хвиль 7 посаджено підшипник 8, зовнішнє кільце якого кінематично зв'язане з циліндричними роликками 9, що розміщені в пазах сепаратора 10, і мають можливість контактувати з зубцями жорсткого колеса 11, виконаними на його внутрішній поверхні. На зовнішній поверхні жорсткого колеса 11 передбачено поверхні, що забезпечують його жорстке з'єднання з нерухомим корпусом 5. На одній із торцевих поверхонь сепаратора 10 виконані пази 12, а на протилежній - виступи 13, за допомогою яких чотири секції хвильових передач з'єднуються між собою, утворюючи таким чином чотирирядну компоновку модуля передавального механізму.



На втулці 6 відносно бічних поверхонь крайніх секцій генератора хвиль 7 встановлено стопорні кільця 14 і 15, що служать для обмеження осьового переміщення секцій хвильових передач. Пази сепаратора 10 крайньої відносно гідромотора 3 секції хвильової передачі служать для зчеплення з виступами, що виконані на кільцевій поверхні вихідного вала 16 передавального механізму, який встановлено на підшипниках 17 і 18, розміщених в корпусі підшипників 19, що з'єднаний з корпусом 5 передавального механізму, та на підшипниках 20, розміщених на внутрішній поверхні другої піввісі 21. На вихідному валу 16 між його опорами закріплено приводний диск 22, який нерухомо з'єднано з кільцем 23, що жорстко скріплене з внутрішньою поверхнею корпусу барабана 1.

Перша піввісь 4, друга піввісь 21 і нерухомий корпус 5 передавального механізму утворюють зіставну вісь барабана.

В середині першої піввісі 4 виконано два осьових канали 24 і 25, один з яких через напірний трубопровід 26 під'єднаний до робочої камери гідромотора, а інший, через зливний трубопровід 27 – до зливної камери гідромотора.

Подрібнювач деревинних відходів працює таким чином. Робоча рідина під тиском через осьовий канал 24, напірний трубопровід 26 подається в робочу камеру гідромотора 3, який встановлений всередині першої піввісі 4, закріпленій на торцевій поверхні нерухомого корпусу 5 передавального механізму. Вал гідромотора 3 приводить в рух втулку 6, на котрій розміщені ексцентрикові генератори 7, осьові переміщення якої обмежені стопорними кільцями 14 і 15. Під час обертання ексцентрикового генератора хвиль 7 встановлені на ньому підшипники 8 викликають радіальні переміщення циліндричних роликів 9 в пазах сепаратора 10. Циліндричні ролики 9, обкочуючись по профілю зубчастого вінця жорсткого колеса 11, спричиняють обертання чотирьох секцій сепаратора 10, які з'єднані між собою за допомогою пазів 12 та виступів 13 на спряжених торцевих поверхнях сепаратора. За кожний оберт ексцентрикового вала сепаратор

повертається на кут, що дорівнює  $3600/u$ , де  $u$  – число зубців жорсткого колеса 11. Сепаратор 10 через пази, які виконані в крайній його секції, що спряженні з виступами на торці кільцевої поверхні вихідного вала 16 модуля передавального механізму, надають йому обертальний рух. Вихідний вал 16, що встановлений на підшипниках 17 і 18, які розміщені в корпусі підшипників 19, з'єднаного з корпусом 5 передавального механізму, та на підшипниках 20, розміщених на внутрішній поверхні другої піввісі 21, передає обертальний рух приводному диску 22, кільцю 23. Від кільця 23 корпус барабана 1, з улаштованими на ньому різцями 2, отримує обертальний рух для здійснення процесу подрібнення. Робоча рідина, що втратила енергію, через зливний трубопровід 27, осьовий канал 25 поступає на злив.

### 3.3 Профілювання елементів зачеплення передавального механізму подрібнювача

Для виконання профілювання елементів зачеплення передавального механізму подрібнювача необхідно визначити кінематичні параметри привода. За заданими в індивідуальному завданні швидкістю транспортування вантажу, а також діаметром барабана, визначимо число обертів барабана

$$n_6 = \frac{1000 \cdot 60 \cdot v}{\pi \cdot D_6} = \frac{1000 \cdot 60 \cdot 1}{3,14 \cdot 350} = 54,6 \text{ об/хв} \quad (3.23)$$

Для вибору гідравлічного двигуна необхідно врахувати швидкість обертання його вихідного вала, що впливатиме на передаточне відношення передавального механізму. Діапазон передаточних відношень вибраної передачі становить  $u=10\dots40$ . Тому частота обертання вала гідромотора визначиться за співвідношенням

$$n_d = (10 \dots 40) \cdot n_c = (10 \dots 40) \cdot 54.6 = 546 \dots 2184 \text{ об/хв} \quad (3.24)$$

Визначений діапазон частот обертання вала гідромотора дозволяє використати як високооборотний, так і високомоментний гідродвигун. Керуючись вимогами забезпечення високої питомої потужності привода, надаємо перевагу високомоментному гідродвигуну.

Приймаємо гідравлічний двигун ГПР-Ф-160, виробництва «Гидропривод» (м. Сороки, Молдова), основні параметри якого наведені в табл. 3.1.

Таблиця 3.1 – Основні показники гідромотора типу ГПР-Ф-160

Параметр	Показник
Номінальний робочий об'єм, см <sup>3</sup>	160±4,8
Частота обертання, хв <sup>-1</sup>	
номінальна	600±60
максимальна	780
мінімальна	10
Номінальні витрати рідини, дм <sup>3</sup> ·с <sup>-1</sup>	1,6±0,16
Тиск, МПа	
на вході	
номінальний	16
максимальний	20
на виході	
максимальний	8
мінімальний	0
Номінальний перепад тиску, МПа	16
Крутний момент, Н·м, не менше:	
номінальний	365
зрушування	300
Гідромеханічний ККД, не менше	0,9
Коефіцієнт корисної дії, не менше	0,85
Ефективна номінальна потужність, кВт	22-2
Маса (без робочої рідини), кг, не більше	20
Робоча рідина літом взимку	Масло М-10В <sub>2</sub> , М-10Г <sub>2</sub> ГОСТ 8581-78 Масло М-8В <sub>2</sub> , М-8Г <sub>2</sub> ГОСТ 8581-78

Визначаємо орієнтоване значення передатного відношення хвильової передачі з проміжними тілами кочення (ХППТК):

$$u = \frac{n_l}{n} = \frac{600}{54.6} = 10.99. \quad (3.25)$$

Приймаємо  $u = 11$ .

Визначаємо число кульок зачеплення ХППТК з співвідношення:

$$u = Z + 1, \quad (3.26)$$

де  $u$  – число зубців вінця і передаточне відношення;

$Z$  – кількість кульок.

$$Z = u - 1 = 11 - 1 = 10 \quad (3.27)$$

Розраховуємо зведений радіус генератора  $R_\Sigma$  (позначення на рис. 3.1):

$$a_\omega = 3,5 \text{ мм}$$

$$D_r = 140 \text{ мм}$$

$$D_k = 14 \text{ мм}$$

$$R_\Sigma = 0,5(D_r + D_k)$$

$$R_\Sigma = 0,5(140 + 14) = 77 \text{ мм}$$

Використаємо співвідношення 3.1 для визначення відстані  $Y$  від центра кульки  $O_{ш}$  до центра зубчастого вінця жорсткого колеса  $O_B$ :

$$Y = a_\omega \cos \varphi + \sqrt{R_\Sigma^2 - a_\omega^2 \sin^2 \varphi}$$

де  $\varphi = 30^\circ$  – поточний кут повороту вхідної ланки.

Для поточних значень кута повороту, які кратні  $30^\circ$  отримані такі значення  $Y$ :

$$\varphi = 0^\circ = 360^\circ; Y = 80,50 \text{ мм};$$

$$\varphi = 36^\circ; Y = 79,78 \text{ мм};$$

$$\varphi = 72^\circ; Y = 78,01 \text{ мм};$$

$$\varphi = 108^\circ; Y = 75,84 \text{ мм};$$

$$\varphi = 144^\circ; Y = 74,12 \text{ мм};$$

$$\varphi = 180^\circ; Y = 73,5 \text{ мм};$$

$$\varphi = 216^\circ; Y = 74,22 \text{ мм};$$

$$\varphi = 252^\circ; Y = 75,99 \text{ мм};$$

$$\varphi = 288^\circ; Y = 78,16 \text{ мм};$$

$$\varphi = 324^\circ; Y = 79,88 \text{ мм};$$

Розраховуємо кут передачі руху профілю  $\alpha$  для кожного із значень поточного кута повороту ведучої ланки:

$$\operatorname{tg} \alpha = \frac{V^R}{V^\tau} = \frac{ua_\omega \cdot \sin \varphi}{\sqrt{R_\Sigma^2 - a_\omega^2 \sin^2 \varphi}} \quad (3.28)$$

$$\varphi = 0^\circ = 360^\circ; \operatorname{tg} \alpha = 0; \alpha = 0^\circ;$$

$$\varphi = 36^\circ; \operatorname{tg} \alpha = \frac{20,57}{76,9725} = 0,2672; \alpha = 14,96^\circ;$$

$$\varphi = 72^\circ; \operatorname{tg} \alpha = \frac{33,287}{76,928} = 0,4327; \alpha = 23,4^\circ;$$

$$\varphi = 108^\circ; \operatorname{tg} \alpha = \frac{33,287}{76,928} = 0,4327 \alpha = 23,4^\circ;$$

$$\varphi = 144^\circ; \operatorname{tg} \alpha = \frac{20,57}{76,9725} = 0,2672; \alpha = 14,96^\circ;$$

$$\varphi = 180^\circ; \operatorname{tg} \alpha = 0; \alpha = 0^\circ;$$

$$\varphi = 216^\circ; \operatorname{tg} \alpha = -\frac{20,57}{76,9725} = -0,2672; \alpha = 14,96^\circ;$$

$$\varphi = 252^\circ; \operatorname{tg} \alpha = -\frac{33,287}{76,928} = -0,4327; \alpha = 23,4^\circ;$$

$$\varphi = 288^\circ; \operatorname{tg} \alpha = -\frac{33,287}{76,928} = -0,4327; \alpha = 23,4^\circ;$$

$$\varphi = 324^\circ; \operatorname{tg} \alpha = -\frac{20,57}{76,9725} = -0,2672; \alpha = 14,96^\circ;$$

Отримані значення поточних координат профіля зуба ХПШТК дозволяють виконати її проектування.

### 3.4 Розрахунок нерухомих з'єднань

#### 3.4.1 Розрахунок шліцьового з'єднання

Визначимо крутний момент на валу гідромотора за величиною номінальної потужності.

Розміри шліцьового з'єднання вала гідромотора з хвильовим генератором D-8×36×42h7×7d9.

Момент, який передається від двигуна, Н·м,

$$T_1 = 9550 \cdot \frac{P}{n} = 9550 \cdot \frac{22}{620} = 338,98 \text{ Н·м.}$$

Розміри шліцьового з'єднання втулки з валом генератора

D-8×52×60h7×10d9.

Розміри евольвентного шліцьового з'єднання втулки секції із жорстким колесом  $200 \times \frac{H7}{g6} \times 5$  ГОСТ 6033-80.

Момент, який передається від жорсткого колеса до секційних втулок, Н·м,

$$T_{2\Sigma} = T_1 \cdot \eta \cdot u = 338,98 \cdot 0,9 \cdot 13 = 1954,3 \text{ Н·м,}$$

а на одну втулку –

$$T_2 = \frac{T_{2\Sigma}}{k} = \frac{1954,3}{4} = 488,575 \text{ Н·м.}$$

Довговічність  $t = 1000$  год.

Матеріал робочих поверхонь 40Х.

Термообробка – покращення, твердість 270 НВ.

Умова змащення – середня.

Проведемо розрахунок шліцьового з'єднання вала гідромотора з хвильовим генератором D–8×36×42h7×7d9.

Знаходимо  $d_{cp}$

$$d_{cp} = \frac{D+d}{2} = \frac{36+42}{2} = 39 \text{ мм.} \quad (3.29)$$

Питомий підсумований статичний момент

$$S_F = 0,5 \cdot d_{cp} \cdot h \cdot Z = 0,5 \cdot 39 \cdot 2,2 \cdot 8 = 343 \text{ мм}^3/\text{мм.} \quad (3.30)$$

Середня напруга

$$G_m = \frac{T}{S_F \cdot l} = \frac{338,98 \cdot 10^3}{343 \cdot 48,5} = 20,37 \text{ МПа.} \quad (3.31)$$

Визначаємо співвідношення розмірів

$$\frac{l}{D} = \frac{48,5}{42} = 1,15; \quad \psi = \frac{d_{cp}}{d_\omega \cdot \cos \alpha_\omega} = \frac{39}{160 \cdot \cos 15,25^\circ} = 0,25; \quad (3.32)$$

$$E = \frac{e}{l} + 0,5 \cdot d_\omega \cdot \operatorname{tg} \beta^\circ \cdot \cos \frac{\alpha^\circ}{l} = \frac{0}{48,5} + \frac{0,5 \cdot 160 \cdot \operatorname{tg} 0 \cdot \cos 15,25^\circ}{48,5} = 0. \quad (3.33)$$

Знаходимо значення коефіцієнтів концентрації навантаження цього з'єднання

$$K_{kp} = 1,2; \quad K_e = 1 \text{ (оскільки } \psi = 0,25; \varepsilon = 0); \quad K_z = 1,6;$$

$$K'_z = 1,1; \quad K_{np} = K_{kp} + K_e - 1 = 1,2 + 1 - 1 = 1,2; \quad K_n = 1.$$

Розраховуємо загальний коефіцієнт концентрації за формулою

$$K_{zm} = K_z \cdot K_{np} \cdot K_n = 1,6 \cdot 1,2 \cdot 1 = 1,92; \quad (3.34)$$

$$K_{zn} = K'_z \cdot K_{np} = 1,1 \cdot 1,2 = 1,32. \quad (3.35)$$

Розрахунок на зминання.

Приймаємо  $S = 1,25$ ;  $K_D = 2$  та визначаємо допустиму середню напругу при зминанні за формулою

$$[G_{32}] = \frac{G_T}{S \cdot K_{зм} \cdot K_D} = \frac{550}{1,25 \cdot 1,92 \cdot 2} = 114,5 \text{ МПа.} \quad (3.36)$$

Таким чином, умова  $G_m = \frac{T}{S_F \cdot l} \leq [G_{32}]$  виконується

$$G_m = 20,37 \text{ МПа} < [G_{32}] = 114,5 \text{ МПа.} \quad (3.37)$$

Допускається значна різниця між  $G_{mi}$  і  $[G_{32}]$  в зв'язку з тим, що розміри з'єднання часто визначають міцністю і жорсткістю валів і конструктивними припущеннями.

Розрахунок на зношування.

Визначимо число циклів навантаження

$$N = 60 \cdot t \cdot n_{об} = 60 \cdot 10^4 \cdot 620 = 3,72 \cdot 10^8. \quad (3.38)$$

Знайдемо коефіцієнт числа циклів

$$K_{ц} = \sqrt[3]{\frac{N}{10^8}} = \sqrt[3]{\frac{3,72 \cdot 10^8}{10^8}} \approx 0,8; \quad K_H = 1; \quad (3.39)$$

$$K_{довг} = K_{ц} \cdot K_H = 0,8 \cdot 1 = 0,8. \quad (3.40)$$

Знайдемо коефіцієнт змачення і коефіцієнт, що враховує осьове закріплення ступиці на валу

$$K_c = 1,4; \quad K_{oc} = 1,25;$$

$$K_p = K_c \cdot K_{oc} = 1,4 \cdot 1,25 = 1,75. \quad (3.41)$$

Так, як твердість 270 НВ, знаходимо  $[G_{ум}] = 110 \text{ МПа}$ .

Допустимо середню напругу з розрахунку на зносостійкість по формулі



$$[G_{зн}] = \frac{[G_{ум}]}{K_{зн} \cdot K_{довг} \cdot K_p} = \frac{110}{1,32 \cdot 0,8 \cdot 1,75} = 59,52 \text{ МПа.} \quad (3.42)$$

$$20,37 \text{ МПа} \leq 59,52 \text{ МПа} .$$

Отже, умова  $G_m = \frac{T}{S_F \cdot l} \leq [G_{зн}]$  виконується.

Допустима найбільша напруга за умови роботи без зносу для покращення зубів  $[G_{\sigma}] = 0,032 \text{ НВ} = 0,032 \cdot 270 = 8,64 \text{ МПа} .$

Умови роботи з'єднання без зносу

$$G_{np} = \frac{[G_{\sigma.n}]}{K_{зн} \cdot K_n \cdot K_p} = \frac{8,64}{1,32 \cdot 1 \cdot 1,75} = 3,74 \text{ МПа} . \quad (3.43)$$

$$3,74 \text{ МПа} < 20,37 \text{ МПа} .$$

Отже, умова  $G_m = \frac{T}{S_F \cdot l} \leq G_{np}$  виконується. Шліцьове з'єднання вала

гідромотора з хвильовим генератором вибрано правильно.

Проведемо розрахунок шліцьового з'єднання втулки з валом генератора D-8×52×60h7×10d9.

Знаходимо  $d_{cp}$

$$d_{cp} = \frac{D+d}{2} = \frac{52+60}{2} = 56 \text{ мм.}$$

Питомий підсумований статичний момент

$$S_F = 0,5 \cdot d_{cp} \cdot h \cdot Z = 0,5 \cdot 56 \cdot 3 \cdot 8 = 672 \text{ мм}^3/\text{мм.}$$

Середня напруга

$$G_m = \frac{T}{S_F \cdot l} = \frac{338,98 \cdot 10^3}{672 \cdot 156} = 3,23 \text{ МПа.}$$

Визначаємо співвідношення розмірів

$$\frac{l}{D} = \frac{156}{60} = 2,6; \quad \psi = \frac{d_{cp}}{d_{\omega} \cdot \cos \alpha_{\omega}} = \frac{56}{160 \cdot \cos 15,25^{\circ}} = 0,36;$$

$$E = \frac{e}{l} + 0,5 \cdot d_{\omega} \cdot \operatorname{tg} \beta^{\circ} \cdot \cos \frac{\alpha^{\circ}}{l} = \frac{0}{156} + \frac{0,5 \cdot 160 \cdot \operatorname{tg} 0 \cdot \cos 15,25^{\circ}}{156} = 0.$$

Знаходимо значення коефіцієнтів концентрації навантаження цього з'єднання

$$K_{кр} = 3,3; \quad K_e = 1 \text{ (оскільки } \psi = 0,36; \varepsilon = 0); \quad K_3 = 1,7;$$

$$K_3' = 1,2; \quad K_{np} = K_{кр} + K_e - 1 = 3,3 + 1 - 1 = 3,3; \quad K_n = 1.$$

Розраховуємо загальний коефіцієнт концентрації за формулою

$$K_{зм} = K_3 \cdot K_{np} \cdot K_n = 1,7 \cdot 3,3 \cdot 1 = 5,61;$$

$$K_{zn} = K_3' \cdot K_{np} = 1,2 \cdot 3,3 = 3,96.$$

Розрахунок на зминання.

Приймаємо  $S = 1,7$ ;  $K_D = 2$  та визначаємо допустиму середню напругу при зминанні за формулою

$$[G_{32}] = \frac{G_T}{S \cdot K_{зм} \cdot K_D} = \frac{550}{1,7 \cdot 5,61 \cdot 2} = 28,8 \text{ МПа.}$$

Таким чином, умова  $G_m = \frac{T}{S_F \cdot l} \leq [G_{32}]$  виконується

$$G_m = 3,23 \text{ МПа} < [G_{32}] = 28,8 \text{ МПа.}$$

Допускається значна різниця між  $G_m$  і  $[G_{32}]$  в зв'язку з тим, що розміри з'єднання часто визначають міцністю і жорсткістю валів і конструктивними припущеннями.

Розрахунок на зношування.

Визначимо число циклів навантаження

$$N = 60 \cdot t \cdot n_{o\sigma} = 60 \cdot 10^4 \cdot 620 = 3,72 \cdot 10^8 .$$

Знайдемо коефіцієнт числа циклів

$$K_u = \sqrt[3]{\frac{N}{10^8}} = \sqrt[3]{\frac{3,72 \cdot 10^8}{10^8}} \approx 0,8; K_n = 1;$$

$$K_{\text{довг}} = K_u \cdot K_n = 0,8 \cdot 1 = 0,8 .$$

Знайдемо коефіцієнт змещення і коефіцієнт, що враховує осьове закріплення ступиці на валу

$$K_c = 1,4; K_{oc} = 1,25;$$

$$K_p = K_c \cdot K_{oc} = 1,4 \cdot 1,25 = 1,75 .$$

Так, як твердість 270 НВ, знаходимо  $[G_{ум}] = 110$  МПа.

Допустимо середню напругу з розрахунку на зносостійкість по формулі

$$[G_{зн}] = \frac{[G_{ум}]}{K_{зн} \cdot K_{\text{довг}} \cdot K_p} = \frac{110}{3,96 \cdot 0,8 \cdot 1,75} = 19,85 \text{ МПа} .$$

$$3,23 \text{ МПа} \leq 19,85 \text{ МПа} .$$

Отже, умова  $G_m = \frac{T}{S_F \cdot l} \leq [G_{зн}]$  виконується.

Допустима найбільша напруга за умови роботи без зносу для покращення зубів  $[G_{\sigma}] = 0,032 \text{ НВ} = 0,032 \cdot 270 = 8,64$  МПа .

Умови роботи з'єднання без зносу

$$G_{np} = \frac{[G_{\sigma.H}]}{K_{зн} \cdot K_n \cdot K_p} = \frac{8,64}{3,96 \cdot 1 \cdot 1,75} = 1,25 \text{ МПа} .$$

$$1,74 \text{ МПа} < 3,23 \text{ МПа} .$$

Отже, умова  $G_m = \frac{T}{S_F \cdot l} \leq G_{np}$  виконується. Шліцьове з'єднання втулки з валом генератора вибрано правильно.

Проведемо розрахунок евольвентного шліцьового з'єднання втулки секції із жорстким колесом  $200 \times \frac{H7}{g6} \times 5$  ГОСТ 6033-80.

Знаходимо  $d_{cp}$

$$d_{cp} = \frac{D+d}{2} = \frac{200+190}{2} = 195 \text{ мм.}$$

Питомий підсумований статичний момент

$$S_F = 0,5 \cdot d_{cp} \cdot h \cdot Z = 0,5 \cdot 195 \cdot 10 \cdot 38 = 37050 \text{ мм}^3/\text{мм.}$$

Середня напруга

$$G_m = \frac{T}{S_F \cdot l} = \frac{488,757 \cdot 10^3}{37050 \cdot 156} = 5,8 \text{ МПа.}$$

Визначаємо співвідношення розмірів

$$\frac{l}{D} = \frac{156}{200} = 0,78; \quad \psi = \frac{d_{cp}}{d_\omega \cdot \cos \alpha_\omega} = \frac{195}{225 \cdot \cos 15,25^\circ} = 0,9;$$

$$E = \frac{e}{l} + 0,5 \cdot d_\omega \cdot \operatorname{tg} \beta^\circ \cdot \cos \frac{\alpha^\circ}{l} = \frac{0}{156} + \frac{0,5 \cdot 225 \cdot \operatorname{tg} 0 \cdot \cos 15,25^\circ}{156} = 0.$$

Знаходимо значення коефіцієнтів концентрації навантаження цього з'єднання

$$K_{кр} = 2,8; \quad K_e = 1,9 \text{ (оскільки } \psi = 0,36; \varepsilon = 0); \quad K_s = 3;$$

$$K'_s = 4,5; \quad K_{np} = K_{кр} + K_e - 1 = 2,8 + 1,9 - 1 = 3,7; \quad K_n = 1.$$

Розраховуємо загальний коефіцієнт концентрації за формулою

$$K_{зм} = K_s \cdot K_{np} \cdot K_n = 3 \cdot 3,7 \cdot 1 = 11,1;$$

$$K_{zn} = K_3' \cdot K_{np} = 4,5 \cdot 2,8 = 16,65.$$

Розрахунок на зминання.

Приймаємо  $S = 1,4$ ;  $K_D = 2$  та визначаємо допустиму середню напругу при зминанні за формулою

$$[G_{32}] = \frac{G_T}{S \cdot K_{zm} \cdot K_D} = \frac{550}{1,4 \cdot 11,1 \cdot 2} = 17,7 \text{ МПа.}$$

Таким чином, умова  $G_m = \frac{T}{S_F \cdot l} \leq [G_{32}]$  виконується

$$G_m = 5,8 \text{ МПа} < [G_{32}] = 17,7 \text{ МПа}.$$

Допускається значна різниця між  $G_m$  і  $[G_{32}]$  в зв'язку з тим, що розміри з'єднання часто визначають міцністю і жорсткістю валів і конструктивними припущеннями.

Розрахунок на зношування.

Визначимо число циклів навантаження

$$N = 60 \cdot t \cdot n_{об} = 60 \cdot 10^4 \cdot 620 = 3,72 \cdot 10^8.$$

Знайдемо коефіцієнт числа циклів

$$K_u = \sqrt[3]{\frac{N}{10^8}} = \sqrt[3]{\frac{3,72 \cdot 10^8}{10^8}} \approx 0,8; K_H = 1;$$

$$K_{доогз} = K_u \cdot K_H = 0,8 \cdot 1 = 0,8.$$

Знайдемо коефіцієнт змащення і коефіцієнт, що враховує осьове закріплення ступиці на валу

$$K_c = 1,4; K_{oc} = 1,25;$$

$$K_p = K_c \cdot K_{oc} = 1,4 \cdot 1,25 = 1,75.$$

Так, як твердість 270 НВ, знаходимо  $[G_{ум}] = 110$  МПа.

Допустимо середню напругу з розрахунку на зносостійкість за формулою

$$[G_{зн}] = \frac{[G_{ум}]}{K_{зн} \cdot K_{довг} \cdot K_p} = \frac{110}{16,65 \cdot 0,8 \cdot 1,75} = 8,75 \text{ МПа.}$$

$$5,8 \text{ МПа} \leq 8,75 \text{ МПа.}$$

Отже, умова  $G_m = \frac{T}{S_F \cdot l} \leq [G_{зн}]$  виконується.

Допустима найбільша напруга за умови роботи без зносу для покращення зубів  $[G_{\sigma}] = 0,032 \text{ НВ} = 0,032 \cdot 270 = 8,64$  МПа.

Умови роботи з'єднання без зносу

$$G_{np} = \frac{[G_{\sigma,н}]}{K_{зн} \cdot K_n \cdot K_p} = \frac{8,64}{16,65 \cdot 1 \cdot 1,75} = 0,73 \text{ МПа.}$$

$$0,73 \text{ МПа} < 5,8 \text{ МПа.}$$

Отже, умова  $G_m = \frac{T}{S_F \cdot l} \leq G_{np}$  виконується. Евольвентне шліцьове

з'єднання втулки секції із жорстким вибрано правильно.

#### 3.4.2 Розрахунок шпонкового з'єднання

Крутний момент, який передається  $T_2 = 488,575$  Н·м;

Діаметр валу  $d = 60$  мм;

Ширина посадочного елемента 56 мм.

Приймаємо для заданого діаметру валу переріз призматичної шпонки  $b \times h = 20 \times 12$  мм,  $t_l = 6$  мм.

Приймаємо шпонку на 10 мм коротшу за ширину посадочного елемента, тобто розрахункова довжина шпонки:

$$l_p = l - b = 56 - 20 = 36 \text{ мм.} \quad (3.44)$$

Перевіримо шпонку на міцність:

$$\sigma_{зм} = \frac{2 \cdot T}{d \cdot l_p \cdot (h - t_1)} = \frac{2 \cdot 488,57 \cdot 10^3}{60 \cdot 36 \cdot (12 - 6)} = 75,4 \text{ МПа.} \quad (3.45)$$

Оскільки  $[\sigma_{зм}] = 200 \text{ МПа}$  (таке значення приймають виходячи з того, що твердість вала і посадочного елемента вище твердості шпонки), то умова  $\sigma_{зм} < [\sigma_{зм}]$  виконується. Шпонкове з'єднання вибрано правильно.

### 3.5 Висновки до третього розділу

Провівши пошук раціональної схеми приводу за критеріальними оцінками отримано результати, що свідчать про перевагу вмонтованого приводу над іншими конструкціями приводів.

Користуючись результатами пошуку раціональної схеми було створено гідравлічний ВП для вторинного подрібнення деревинних відходів на зміну існуючому. Враховуючи часткову гідрофікацію аналогу така зміна дозволяє провести його повну гідрофікацію, що суттєво спростить конструкцію, зменшить кількість вузлів та їх металомісткість та усунути існуючі вібрації в конструкції.

Розраховано основні елементи вмонтованого приводу подрібнювача.

## **4 РОЗРОБКА ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНОГО СТЕНДА ДЛЯ ДОСЛІДЖЕННЯ ДИНАМІЧНИХ ПРОЦЕСІВ ПОДРІБНЮВАЧА ДЕРЕВИНИ**

### 4.1. Розробка експериментального стенду

Експериментальні дослідження плануються виконати в науково-дослідній лабораторії кафедри «Галузеве машинобудування» Вінницького національного технічного університету на спеціально розробленій установці, що дозволяє проводити комплекс досліджень й отримати дані, достатні для визначення закономірностей роботи об'єкта, що вивчався.

Установка складається з експериментального стенду, що містить насосну станцію та встановлену на станині приводну частину досліджуваного об'єкта, а також комплекс вимірювальної й реєструючої апаратури.

Для розширення функціональних можливостей насосна станція, що створена на базі установки Г 48-22Н для живлення гідроприводів металорізальних верстатів, була модернізована шляхом оснащення її насосним агрегатом з вищими значенням номінального тиску робочої рідини й панеллю з гідроапаратурою, в якій додатково встановлені регулятор потоку й манометри контролю високого й низького тиску. Принципова гідрокінематична схема з встановленими на об'єкті дослідження давачами контролю основних параметрів показано на рис. 4.1.

Гідравлічна схема експериментальної установки містить насосну станцію з насосом 1 типу НШ-10-3, запобіжний клапан 2 типу Г-55-2, регулятор потоку 3 типу ПГ-55-24, фільтр високого тиску 4 типу Ф7М.

Для контролю величини робочого тиску вона забезпечена манометрами 5 – в напірній магістралі, і 6 – в зливній. Пружинний гідроакумулятор 7 встановлений перед входною гідролінією гідромотора 8 досліджуваного приводного пристрою 9. Для вимірювання втрати рідини, яка



споживається гідросистемою досліджуваного приводного пристрою, застосовувався витратомір 12, вбудований в зливну гідролінію, кран 13 при цьому закритий.

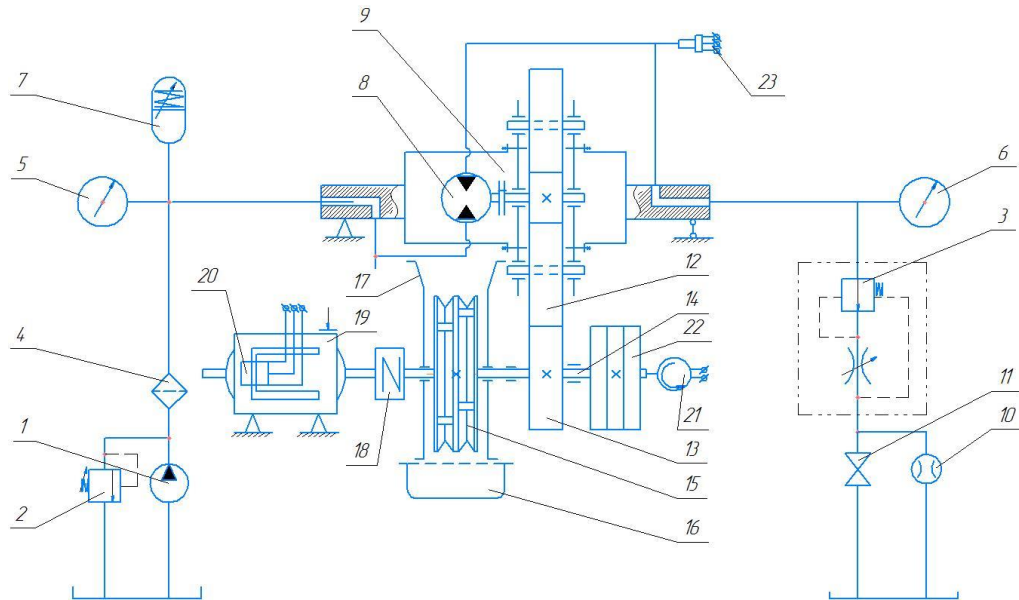


Рисунок 4.1 – Схема експериментального стану для дослідження вмонтованого гідравлічного приводу пристрою для подрібнення деревинних відходів

Конструкцію і принцип дії досліджуваного вмонтованого гідравлічного приводу стрічкового конвеєра, чутливого до навантаження, детально описано в розділі 2. В приводі, призначеному для експериментальних досліджень і встановленому на випробувальному станді, для зручності моделювання транспортуючої частини конвеєра і реєстрації параметрів корпус барабана знято.

Для моделювання крутильної жорсткості транспортуючої частини конвеєра на станді використана клинопасова передача з трьома змінними пасами 18, ведучий шків 17 якої встановлено на кінці проміжного валу, а ведений 19 – на валу навантажувального пристрою 20. Натяг пасів регулюється за допомогою рухомого ролика. Як навантажувальний пристрій використано порошкове гальмо ПТ-40, момент опору руху в якому створюється подачею напруги постійного струму на статор. Зміна

навантаження на гальмі здійснювалась зміною подачі струму за допомогою спеціального пристрою.

При моделюванні транспортуючої частини інерційне навантаження імітувалось набором дисків 21 різної маси, які встановлено або на проміжний вал для моделювання навантаження привода, або на втулку, посаджену на вільний кінець валу навантажувального пристрою [14].

Основні конструктивні параметри і технічна характеристика експериментальної установки наведені в таблиці 4.1.

Таблиця 4.1 – Технічна характеристика і конструктивні параметри експериментальної установки

Найменування параметра і його позначення	Одиниця вимірювання	Величина параметра
<b>Номинальна подача</b>	м <sup>3</sup> /с	0,23·10 <sup>-3</sup>
Номинальний тиск	МПа	14
Максимальний об'єм гідроаккумулятора	м <sup>3</sup>	5·10 <sup>-2</sup>
Передавальні відношення:		
- передавального механізму	-	2,75
- ланцюгової передачі	-	1
Маса:		
- малих дисків	кг	7
- великих дисків	кг	14
Діаметр:		
- малих дисків	м	0,3
- великих дисків	м	0,3
- шківів	м	0,19
Кількість:		
- малих дисків	шт.	4
- великих дисків	шт.	2
- ланцюгів	шт.	3

Для проведення експериментальних досліджень потрібно вимірювати такі параметри привода:

- тиск на вході і виході гідромотора;
- число обертів проміжного валу і валу навантажувального пристрою;
- момент опору руху, який створюється навантажувальним пристроєм;
- витрата робочої рідини, споживаної гідроприводним агрегатом;
- температура робочої рідини.

Для реєстрації і вимірювання зазначених параметрів в лабораторних умовах потрібно використати аналогоцифровий перетворювач; давачі тиску, переміщення, числа обертів та діючого моменту; витратомірна ємкість; манометри, термометр [15].

#### 4.2. Вузол подрібнення експериментального стенда

На листі 08-27.МКР.02.02.000 СК подано складальне креслення конструкції вузла подрібнення експериментального стенда. Конструкція містить: корпус 1, який складається з двох щокон, між якими розміщено опорний елемент у вигляді зрізаного циліндра з порожнинами для висипання подрібненого матеріалу і до якого кріпиться сітку 11. В середині корпусу 1 розміщено різальний інструмент 2, який імітує різальний інструмент барабанного типу, на бічних поверхнях якого за гвинтовою лінією розміщено три пари різців 6, які розміщені під кутом  $120^\circ$ , і які кріпляться до різального інструменту 2 гвинтами 17 з шайбами 22. В свою чергу різальний інструмент 2 кріпиться на валу 5 за допомогою шпонки 24. Для підвищення жорсткості корпусу 1 використано кутники, які також слугують опорними та приєднувальними елементами. Вал 5 фіксується у корпусі 1 за допомогою підшипників 19, які знаходяться у стакані 7, до якого кріпиться кришка підшипника 8 болтами 14 з шайбою 6, та в якій розташована манжета 18. В свою чергу підшипники 19 з середини корпусу захищені від попадання

подрібнювальної деревини кільцем 10. Стакан 7 кріпиться до корпусу 1 гвинтами 15 з шайбами 21. Для приєднання вузла подрібнення до інших елементів експериментального стенда використовується шпонка 23 на краях вала 5.

#### 4.3 Моделювання корпусу барабана зі змінними різцями

Для встановлення основних характеристик подрібнювачів деревинних відходів та їх конструктивних особливостей були розглянуті конструкції найбільш поширених барабанів [16]. При вторинному подрібненні потрібно враховувати різну твердість деревинних матеріалів. Тому, для забезпечення необхідної фракції доцільно використати різні конструкції барабанів. Аналізом існуючих конструкцій барабанів встановлено, що найбільш ефективними є використання двох типів інструментів, а саме V-Rotor і F-Rotor [17]. На основі цих даних покращено конструкцію барабана для вторинного подрібнення деревинних відходів, основними складовими якого є корпус барабана, на якому розташовані кріплення під різці, на яких закріплюються різці [18]. Різці закріплено за гвинтовою твірною на зовнішній поверхні барабана рис. 4.2 та V – подібною формою розташування різців. За необхідності їх легко можна замінити.

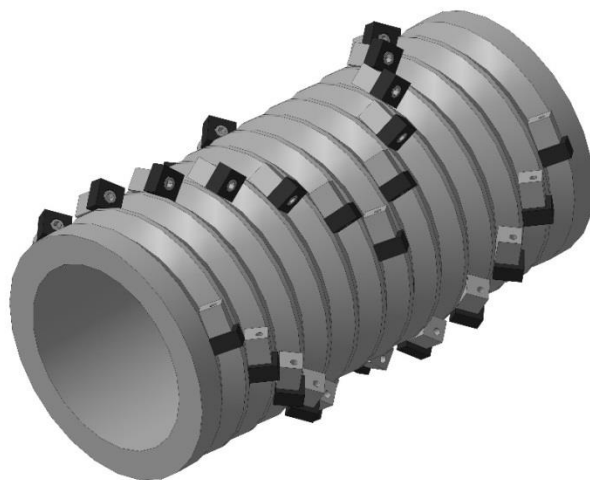


Рисунок 4.2 – 3D модель барабана V-Rotor з різальними пластинами

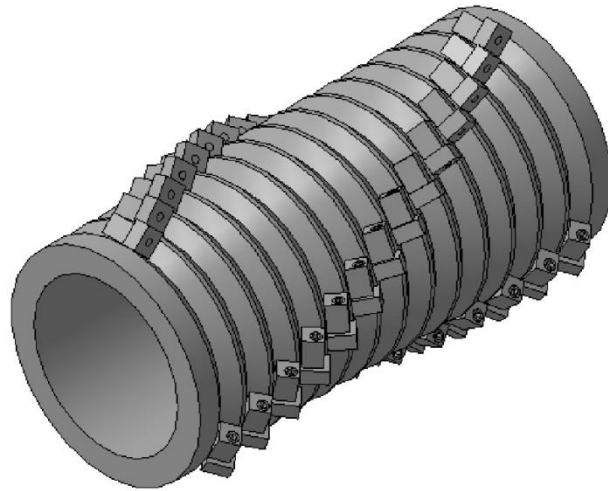


Рисунок 4.3 – 3D модель барабана F-Rotor з різальними пластинами

#### 4.4 Висновки до четвертого розділу

Для проведення експериментальних досліджень було розроблено експериментальний стенд

Для виконання експериментальних замірів було розроблено вузол подрібнення для експериментального стенду

Проведено моделювання корпусу барабана із змінними різцями на основі відомих аналогів.

## 5 ЕКОНОМІЧНИЙ РОЗДІЛ

Для успішного впровадження науково-технічної розробки надзвичайно важливо, щоб вона відповідала поточним вимогам науково-технічного прогресу і враховувала економічні аспекти. Оцінка економічної ефективності результатів науково-дослідної роботи є ключовою частиною цього процесу. Дослідження, яке представлено у магістерській роботі і присвячене розробці та вивченню "Модернізація обладнання технологічної лінії подрібнення деревних відходів", віднесено до науково-технічних проектів, спрямованих на введення на ринок. Рішення щодо комерціалізації розробки може бути прийняте протягом виконання самої роботи, відкриваючи можливості для подальшого введення на ринок. Цей напрямок визначається як пріоритетний, оскільки розроблені результати можуть бути корисними для різних зацікавлених сторін і приносити економічні вигоди. Однак для успішної реалізації цього процесу вирішальним є залучення зацікавленого інвестора, який виявить інтерес до втілення даного проекту, і переконання його у доцільності інвестування у цю розробку. З метою досягнення цього завдання були визначені такі етапи виконання робіт:

1. Проведення комерційного аудиту науково-технічної розробки, включаючи визначення науково-технічного рівня та комерційного потенціалу.

2. Розрахунок витрат на реалізацію науково-технічної розробки.

3. Проведення розрахунку економічної ефективності впровадження та комерціалізації науково-технічної розробки для потенційного інвестора, а також обґрунтування економічної доцільності комерціалізації з точки зору інвестора.

## 5.1 Проведення комерційного та технологічного аудиту науково-технічної розробки

Метою проведення комерційного і технологічного аудиту дослідження за темою "Модернізація обладнання технологічної лінії подрібнення деревних відходів" є підвищення якості пелет за рахунок покращення параметрів вторинного подрібнення деревної сировини шляхом гідрофікації приводу та запровадження зміненого процесу подрібнення.

Оцінювання науково-технічного рівня розробки та її комерційного потенціалу рекомендується здійснювати із застосуванням 5-ти бальної системи оцінювання за 12-ма критеріями, наведеними в табл. 5.1 [32].

Таблиця 5.1 – Рекомендовані критерії оцінювання науково-технічного рівня і комерційного потенціалу розробки та бальна оцінка

Бали (за 5-ти бальною шкалою)					
	0	1	2	3	4
Технічна здійсненність концепції					
1	Достовірність концепції не підтверджена	Концепція підтверджена експертними висновками	Концепція підтверджена розрахунками	Концепція перевірена на практиці	Перевірено працездатність продукту в реальних умовах
Ринкові переваги (недоліки)					
2	Багато аналогів на малому ринку	Мало аналогів на малому ринку	Кілька аналогів на великому ринку	Один аналог на великому ринку	Продукт не має аналогів на великому ринку
3	Ціна продукту значно вища за ціни аналогів	Ціна продукту дещо вища за ціни аналогів	Ціна продукту приблизно дорівнює цінам аналогів	Ціна продукту дещо нижче за ціни аналогів	Ціна продукту значно нижче за ціни аналогів
4	Технічні та споживчі властивості продукту значно гірші, ніж в	Технічні та споживчі властивості продукту трохи гірші, ніж в аналогів	Технічні та споживчі властивості продукту на рівні аналогів	Технічні та споживчі властивості продукту трохи кращі, ніж в	Технічні та споживчі властивості продукту значно кращі, ніж в
5	Експлуатаційні витрати значно вищі, ніж в аналогів	Експлуатаційні витрати дещо вищі, ніж в аналогів	Експлуатаційні витрати на рівні експлуатаційних витрат аналогів	Експлуатаційні витрати трохи нижчі, ніж в аналогів	Експлуатаційні витрати значно нижчі, ніж в аналогів

продовження таблиці 5.1

Ринкові перспективи					
6	Ринок малий і не має позитивної динаміки	Ринок малий, але має позитивну динаміку	Середній ринок з позитивною динамікою	Великий стабільний ринок	Великий ринок з позитивною динамікою
7	Активна конкуренція великих компаній на	Активна конкуренція	Помірна конкуренція	Незначна конкуренція	Конкуренція немає
Практична здійсненність					
8	Відсутні фахівці як з технічної, так і з комерційної реалізації ідеї	Необхідно наймати фахівців або витратити значні кошти та час на навчання наявних фахівців	Необхідне незначне навчання фахівців та збільшення їх штату	Необхідне незначне навчання фахівців	Є фахівці з питань як з технічної, так і з комерційної реалізації ідеї
9	Потрібні значні фінансові ресурси, які відсутні. Джерела фінансування ідеї відсутні	Потрібні незначні фінансові ресурси. Джерела фінансування відсутні	Потрібні значні фінансові ресурси. Джерела фінансування є	Потрібні незначні фінансові ресурси. Джерела фінансування є	Не потребує додаткового фінансування
10	Необхідна розробка нових матеріалів	Потрібні матеріали, що використовуються у військово-промисловому комплексі	Потрібні дорогі матеріали	Потрібні досяжні та дешеві матеріали	Всі матеріали для реалізації ідеї відомі та давно використовуються у виробництві
11	Термін реалізації ідеї більший за 10 років	Термін реалізації ідеї більший за 5 років. Термін окупності інвестицій більше 10-ти років	Термін реалізації ідеї від 3-х до 5-ти років. Термін окупності інвестицій більше 5-ти років	Термін реалізації ідеї менше 3-х років. Термін окупності інвестицій від 3-х до 5-ти років	Термін реалізації ідеї менше 3-х років. Термін окупності інвестицій менше 3-х років
12	Необхідна розробка регламентних документів та отримання великої кількості дозвільних документів на виробництво та реалізацію продукту	Необхідно отримання великої кількості дозвільних документів на виробництво та реалізацію продукту, що вимагає значних коштів та часу	Процедура отримання дозвільних документів для виробництва та реалізації продукту вимагає незначних коштів та часу	Необхідно тільки повідомлення відповідним органам про виробництво та реалізацію продукту	Відсутні будь-які регламентні обмеження на виробництво та реалізацію продукту



Результати оцінювання науково-технічного рівня та комерційного потенціалу науково-технічної розробки потрібно звести до таблиці. Для оцінки науково-технічного рівня і комерційного потенціалу розробки експертами було запрошено трьох незалежних експертів кафедри «Галузевого машинобудування» Вінницького національного технічного університету: Обертюх Роман Романович, професор; Слабкий Андрій Валентинович, доцент; Шенфельд Валерій Йосипович, доцент.

Таблиця 5.2 – Результати оцінювання науково-технічного рівня і комерційного потенціалу розробки експертами

Критерії	Експерт (ПІБ, посада)		
	Обертюх Р. Р.	Слабкий А. В.	Шенфельд В. Й.
	Бали, виставлені експертами:		
1. Технічна здійсненність концепції	2	2	2
2. Ринкові переваги (наявність аналогів)	4	3	3
3. Ринкові переваги (ціна продукту)	1	2	1
4. Ринкові переваги (технічні властивості)	4	4	4
5. Ринкові переваги (експлуатаційні витрати)	2	1	2
6. Ринкові перспективи (розмір ринку)	3	3	4
7. Ринкові перспективи (конкуренція)	1	0	1
8. Практична здійсненність (наявність фахівців)	3	3	4
9. Практична здійсненність (наявність фінансів)	3	3	3
10. Практична здійсненність (необхідність нових матеріалів)	4	4	3
11. Практична здійсненність (термін реалізації)	4	4	4
12. Практична здійсненність (розробка документів)	2	3	3
Сума балів	СБ <sub>1</sub> =31	СБ <sub>2</sub> =34	СБ <sub>3</sub> =34
Середньоарифметична сума балів $СБ_c$	$\overline{СБ} = \frac{\sum_1^3 СБ_i}{3} = \frac{33 + 32 + 34}{3} = 33$		

За результатами розрахунків, наведених в таблиці 5.2, зробимо висновок щодо науково-технічного рівня і рівня комерційного потенціалу розробки. При цьому використаємо рекомендації, наведені в табл. 5.3 [32].

Таблиця 5.3 – Науково-технічні рівні та комерційні потенціали розробки

Середньоарифметична сума балів СБ, розрахована на основі висновків експертів	Науково-технічний рівень та комерційний потенціал розробки
41...48	Високий
31...40	Вище середнього
21...30	Середній
11...20	Нижче середнього
0...10	Низький

Згідно проведених досліджень рівень комерційного потенціалу розробки за темою "Модернізація обладнання технологічної лінії подрібнення деревних відходів" становить 33 балів, що, відповідно до таблиці 4.3 рівень комерційного потенціалу розробки вище середнього, що свідчить про комерційну важливість проведення даних досліджень.

Магістерська кваліфікаційна робота "Модернізація обладнання технологічної лінії подрібнення деревних відходів" відноситься до науково-технічних робіт, які орієнтовані на виведення на ринок, тобто при цьому відбувається комерціалізація науково-технічної розробки. Цей напрямок є для нас пріоритетним, оскільки результатами розробки можуть користуватися не тільки самі розробники, а й інші споживачі, отримуючи при цьому суттєвий економічний ефект.

Результатом магістерської роботи є підвищення якості виготовленої продукції за рахунок якісного подрібнення сировини. Розробка може бути цікавою науковцям, науково-дослідним установам та виробникам, робота яких пов'язана з розробкою, дослідженням чи експлуатацією подрібнювачів біомаси.

## 5.2 Визначення рівня конкурентоспроможності розробки

В процесі визначення економічної ефективності науково-технічної розробки також доцільно провести прогноз рівня її конкурентоспроможності за сукупністю параметрів, що підлягають оцінюванню.

В якості аналога для розробки було обрано подрібнювач з вмонтованим гідроприводом, розроблений на кафедрі «Галузевого машинобудування» Вінницького національного технічного університету.

Основними недоліками аналога є недостатня довговічність роботи пристрою, обумовлена наявністю у передавальному механізмі приводу одноступінчатої багато поточної циліндричної передачі, яка має невисокі передатні числа, що накладає обмеження на діапазон частот обертання та діаметральні розміри корпусу барабана, а також наявністю зазорів в елементах передавального механізму, що зменшує жорсткість конструкції. Також до недоліків можна віднести зниження довговічності роботи вузлів передавального механізму.

У розробці дана проблема вирішується розробкою передавального механізму у вигляді чотирирядної хвильової передачі з проміжними тілами кочення. Також система випереджає аналог за такими параметрами як зменшена потужність приводу на 25%. Збільшена на 20% швидкість робочого інструмента.

Одиничний параметричний індекс розраховуємо за формулою [32]:

$$q_i = \frac{P_i}{P_{базі}} \quad (5.1)$$

де  $q_i$  – одиничний параметричний індекс, розрахований за  $i$ -м параметром;

$P_i$  – значення  $i$ -го параметра виробу;

$P_{базі}$  – аналогічний параметр базового виробу-аналога, з яким проводиться порівняння.

Загальні технічні та економічні характеристики розробки представлено в таблиці 5.4.

Таблиця 5.4 – Основні техніко-економічні показники аналога та розробки, що проектується

Показник	Варіанти		Відносний показник якості	Коефіцієнт вагомості параметра
	Базовий (товар-конкурент)	Новий (інноваційне рішення)		
1	2	3	4	5
Тип приводу	гідравлічний	гідравлічний	-	-
Число складальних одиниць, шт	4	3	1,33	35 %
Габаритні розміри, мм	395×575	395×575	1	30 %
Потужність, кВт	22	18	1,22	35 %
Режим оброблювання	позмінний	позмінний	-	-
Схема розміщення вузлів	вбудовані в корпус барабана	вбудовані в корпус барабана	-	-

Нормативні параметри оцінюємо показником, який отримує одне з двох значень: 1 – пристрій відповідає нормам і стандартам; 0 – не відповідає.

Груповий показник конкурентоспроможності за нормативними параметрами розраховуємо як добуток частинних показників за кожним параметром за формулою [32]:

$$I_{\text{ГП}} = \prod_{i=1}^n q_i, \quad (5.2)$$

де  $I_{\text{ГП}}$  – загальний показник конкурентоспроможності за нормативними параметрами;

$q_i$  – одиничний (частинний) показник за  $i$ -м нормативним параметром;

$n$  – кількість нормативних параметрів, які підлягають оцінюванню.

За нормативними параметрами розроблюваний пристрій відповідає вимогам ДСТУ, тому  $I_{\text{ГП}} = 1$ .

Значення групового параметричного індексу за технічними параметрами визначаємо з урахуванням вагомості (частки) кожного параметра [32]:

$$I_{ТП} = \sum_{i=1}^n q_i \cdot \alpha_i, \quad (5.3)$$

де  $I_{ТП}$  – груповий параметричний індекс за технічними показниками (порівняно з виробом-аналогом);

$q_i$  – одиничний параметричний показник  $i$ -го параметра;

$\alpha_i$  – вагомість  $i$ -го параметричного показника,  $\sum_{i=1}^n \alpha_i = 1$ ;

$n$  – кількість технічних параметрів, за якими оцінюється конкурентоспроможність.

Проведемо аналіз параметрів згідно даних таблиці 4.4.

$$I_{mn} = 1,33 \cdot 0,35 + 1 \cdot 0,3 + 1,22 \cdot 0,35 = 1,19.$$

Груповий параметричний індекс за економічними параметрами розраховуємо за формулою [32]:

$$I_{ЕП} = \sum_{i=1}^m q_i \cdot \beta_i, \quad (5.4)$$

де  $I_{ЕП}$  – груповий параметричний індекс за економічними показниками;

$q_i$  – економічний параметр  $i$ -го виду;

$\beta_i$  – частка  $i$ -го економічного параметра,  $\sum_{i=1}^m \beta_i = 1$ ;

$m$  – кількість економічних параметрів, за якими здійснюється оцінювання.

Проведемо аналіз параметрів згідно даних таблиці .

$$I_{ЕП} = 0,75 \cdot 0,5 + 0,86 \cdot 0,5 = 0,80.$$

На основі групових параметричних індексів за нормативними, технічними та економічними показниками розрахуємо інтегральний показник конкурентоспроможності за формулою [32]:

$$K_{INT} = I_{HP} \cdot \frac{I_{TP}}{I_{EP}}, \quad (5.5)$$

$$K_{INT} = 1 \cdot 1,19 / 0,80 = 1,5.$$

Інтегральний показник конкурентоспроможності  $K_{INT} > 1$ , отже розробка переважає відомі аналоги за своїми техніко-економічними показниками.

### 5.3 Розрахунок витрат на проведення науково-дослідної роботи

Витрати, пов'язані з проведенням науково-дослідної роботи на тему "Модернізація обладнання технологічної лінії подрібнення деревних відходів", під час планування, обліку і калькулювання собівартості науково-дослідної роботи групуємо за відповідними статтями.

#### 5.3.1 Витрати на оплату праці

До статті «Витрати на оплату праці» належать витрати на виплату основної та додаткової заробітної плати керівникам відділів, лабораторій, секторів і груп, науковим, інженерно-технічним працівникам, конструкторам, технологам, креслярам, копіювальникам, лаборантам, робітникам, студентам, аспірантам та іншим працівникам, безпосередньо зайнятим виконанням конкретної теми, обчисленої за посадовими окладами, відрядними розцінками, тарифними ставками згідно з чинними в організаціях системами оплати праці.

#### Основна заробітна плата дослідників

Витрати на основну заробітну плату дослідників ( $Z_0$ ) розраховуємо у відповідності до посадових окладів працівників, за формулою [32]:

$$Z_o = \sum_{i=1}^k \frac{M_{ni} \cdot t_i}{T_p}, \quad (5.6)$$

де  $k$  – кількість посад дослідників залучених до процесу досліджень;

$M_{ni}$  – місячний посадовий оклад конкретного дослідника, грн;

$t_i$  – число днів роботи конкретного дослідника, дн.;

$T_p$  – середнє число робочих днів в місяці,  $T_p=21$  дні.

$$Z_o = 20000 \cdot 5 / 21 = 4545 \text{ грн.}$$

Проведені розрахунки зведемо до таблиці.

Таблиця 5.5 – Витрати на заробітну плату дослідників

Найменування посади	Місячний посадовий оклад, грн	Оплата за робочий день, грн	Число днів роботи	Витрати на заробітну плату, грн
Керівник проекту	20000	909,1	5	4545
Інженер	8000	363,6	40	14545
Всього				19091

#### Основна заробітна плата робітників

Витрати на основну заробітну плату робітників ( $Z_p$ ) за відповідними найменуваннями робіт НДР на тему "Модернізація обладнання технологічної лінії подрібнення деревних відходів" розраховуємо за формулою:

$$Z_p = \sum_{i=1}^n C_i \cdot t_i, \quad (5.7)$$

де  $C_i$  – погодинна тарифна ставка робітника відповідного розряду, за виконану відповідну роботу, грн/год;

$t_i$  – час роботи робітника при виконанні визначеної роботи, год.

Погодинну тарифну ставку робітника відповідного розряду  $C_i$  можна визначити за формулою:

$$C_i = \frac{M_M \cdot K_i \cdot K_c}{T_p \cdot t_{зм}}, \quad (4.8)$$

де  $M_M$  – розмір прожиткового мінімуму працездатної особи, або мінімальної місячної заробітної плати (в залежності від діючого законодавства), приймемо  $M_M=6500$  грн;

$K_i$  – коефіцієнт міжкваліфікаційного співвідношення для встановлення тарифної ставки робітнику відповідного розряду (табл. Б.2, додаток Б [32]);

$K_c$  – мінімальний коефіцієнт співвідношень місячних тарифних ставок робітників першого розряду з нормальними умовами праці виробничих об'єднань і підприємств до законодавчо встановленого розміру мінімальної заробітної плати.

$T_p$  – середнє число робочих днів в місяці, приблизно  $T_p = 21$  дн;

$t_{зм}$  – тривалість зміни, год.

$$C_1 = 6700,00 \cdot 1 \cdot 1,65 / (21 \cdot 8) = 65,8 \text{ грн.}$$

$$З_{р1} = 65,8 \cdot 1 = 65,8 \text{ грн.}$$

Таблиця 5.6 – Величина витрат на основну заробітну плату робітників

Найменування робіт	Тривалість роботи, год	Розряд роботи	Погодинна тарифна ставка, грн	Величина оплати на робітника грн
1.Підготовчі	2	1	65,8	131,6
2.Монтажні	3	3	88,8	266,5
3.Складальні	2	5	111,9	223,7
4.Налагоджувальні	6	2	72,4	434,3
5.Випробувальні	3	4	59,8	179,5
Всього				1235,6

Додаткова заробітна плата дослідників та робітників

Додаткову заробітну плату розраховуємо як 10 ... 12% від суми основної заробітної плати дослідників та робітників за формулою:



$$Z_{\text{дод}} = (Z_o + Z_p) \cdot \frac{H_{\text{дод}}}{100\%}, \quad (5.9)$$

де  $H_{\text{дод}}$  – норма нарахування додаткової заробітної плати. Прийmemo 11%.

$$Z_{\text{дод}} = (19091 + 1235,6) \cdot 11 / 100\% = 2235,92 \text{ грн.}$$

### 5.3.2 Відрахування на соціальні заходи

Нарахування на заробітну плату дослідників та робітників розраховуємо як 22% від суми основної та додаткової заробітної плати дослідників і робітників за формулою:

$$Z_n = (Z_o + Z_p + Z_{\text{дод}}) \cdot \frac{H_{zn}}{100\%} \quad (5.10)$$

де  $H_{zn}$  – норма нарахування на заробітну плату. Приймаємо 22%.

$$Z_n = (19091 + 1235,6 + 2235,92) \cdot 22 / 100\% = 4963,74 \text{ грн.}$$

### 5.3.3 Сировина та матеріали

До статті «Сировина та матеріали» належать витрати на сировину, основні та допоміжні матеріали, інструменти, пристрої та інші засоби і предмети праці, які придбані у сторонніх підприємств, установ і організацій та витрачені на проведення досліджень за темою "Модернізація обладнання технологічної лінії подрібнення деревних відходів".

Витрати на матеріали ( $M$ ), у вартісному вираженні розраховуються окремо по кожному виду матеріалів за формулою:

$$M = \sum_{j=1}^n H_j \cdot C_j \cdot K_j - \sum_{j=1}^n B_j \cdot C_{\text{в}j}, \quad (5.11)$$

де  $H_j$  – норма витрат матеріалу  $j$ -го найменування, кг;

$n$  – кількість видів матеріалів;

$C_j$  – вартість матеріалу  $j$ -го найменування, грн/кг;

$K_j$  – коефіцієнт транспортних витрат, ( $K_j = 1,1 \dots 1,15$ );

$B_j$  – маса відходів  $j$ -го найменування, кг;

$C_{ej}$  – вартість відходів  $j$ -го найменування, грн/кг.

Проведені розрахунки зведемо до таблиці 5.7.

Таблиця 5.7 – Витрати на матеріали

Найменування матеріалу, марка, тип, сорт	Ціна за 1 кг, грн	Норма витрат, кг	Вартість витраченого матеріалу, грн
Лак ЕП-730	35	0,05	1,75
Припой ПОС-61	50	0,09	4,5
Флюс БС-2	15	0,023	0,345
Спиртобензин ВС-50	35	0,04	1,4
Дріт монтажний	70	0,04	2,8
Всього			10,79
З врахуванням коефіцієнта транспортування			11,88

#### 5.3.4 Розрахунок витрат на комплектуючі

Витрати на комплектуючі ( $K_e$ ), які використовують при проведенні НДР на тему "Модернізація обладнання технологічної лінії подрібнення деревних відходів".

Витрати на комплектуючі  $K$ , що були використані під час виконання даного етапу роботи, розраховуються за формулою:

$$K = \sum_1^n H_i \cdot C_i \cdot K_i \quad \text{грн.}, \quad (5.12)$$

де  $H_i$  – кількість комплектуючих  $i$ -го виду, шт.;

$C_i$  – ціна комплектуючих  $i$ -го виду, грн.;

$K_i$  – коефіцієнт транспортних витрат,  $K_i = (1,1 \dots 1,15)$ ;

$n$  – кількість видів комплектуючих.

Зроблені розрахунки бажано звести до таблиці 5.8.

Таблиця 5.8 – Витрати на комплектуючі

Найменування комплектувальних	Кількість	Ціна за штуку, грн.	Сума, грн.
Гідромотор	1	30000	30000
Додатковий гідромотор	1	25000	25000
Розподільник	1	5500	5500
Гідронасос	1	4000	4000
Трубопровід	4	1500	6000
Всього з врахування коефіцієнт транспортних витрат			77550,00

### 5.3.5 Амортизація обладнання, програмних засобів та приміщень

В спрощеному вигляді амортизаційні відрахування по кожному виду обладнання, приміщень та програмному забезпеченню тощо, розраховуємо з використанням прямолінійного методу амортизації за формулою:

$$A_{обл} = \frac{C_{б}}{T_{в}} \cdot \frac{t_{вик}}{12}, \quad (5.13)$$

де  $C_{б}$  – балансова вартість обладнання, програмних засобів, приміщень тощо, які використовувались для проведення досліджень, грн;

$t_{вик}$  – термін використання обладнання, програмних засобів, приміщень під час досліджень, місяців;

$T_{в}$  – строк корисного використання обладнання, програмних засобів, приміщень тощо, років.

$$A_{обл} = (40000 \cdot 1) / (2 \cdot 12) = 1666,67 \text{ грн.}$$

Проведені розрахунки зведемо до таблиці 5.9.

Таблиця 5.9 – Амортизаційні відрахування по кожному виду обладнання

Найменування обладнання	Балансова вартість, грн	Строк корисного використання, років	Термін використання обладнання, місяців	Амортизаційні відрахування, грн
Персональний комп'ютер	40000	2	1	1666,67
Приміщення	220000	20	2	1833,33
Всього				3500,00

### 5.3.6 Паливо та енергія для науково-виробничих цілей

Витрати на силову електроенергію ( $B_e$ ) розраховуємо за формулою:

$$B_e = \sum_{i=1}^n \frac{W_{yi} \cdot t_i \cdot C_e \cdot K_{eni}}{\eta_i}, \quad (5.14)$$

де  $W_{yi}$  – встановлена потужність обладнання на визначеному етапі розробки, кВт;

$t_i$  – тривалість роботи обладнання на етапі дослідження, год;

$C_e$  – вартість 1 кВт-години електроенергії, грн; (вартість електроенергії визначається за даними енергопостачальної компанії), прийmemo  $C_e = 7,5$  грн;

$K_{eni}$  – коефіцієнт, що враховує використання потужності,  $K_{eni} < 1$ ;

$\eta_i$  – коефіцієнт корисної дії обладнання,  $\eta_i < 1$ .

$$B_e = 0,25 \cdot 265,0 \cdot 7,5 \cdot 0,5 / 0,8 = 310,55 \text{ грн.}$$

### 5.3.7 Службові відрядження

До статті «Службові відрядження» дослідної роботи на тему "Модернізація обладнання технологічної лінії подрібнення деревних відходів" належать витрати на відрядження штатних працівників, працівників організацій, які працюють за договорами цивільно-правового характеру, аспірантів, зайнятих розробленням досліджень, відрядження, пов'язані з проведенням випробувань машин та приладів, а також витрати на

відрядження на наукові з'їзди, конференції, наради, пов'язані з виконанням конкретних досліджень.

Витрати за статтею «Службові відрядження» розраховуємо як 20...25% від суми основної заробітної плати дослідників та робітників за формулою:

$$B_{cv} = (Z_o + Z_p) \cdot \frac{H_{cv}}{100\%}, \quad (5.15)$$

де  $H_{cv}$  – норма нарахування за статтею «Службові відрядження», приймемо  $H_{cv} = 20\%$ .

$$B_{cv} = (19091 + 1235,6) \cdot 20 / 100\% = 4065,3 \text{ грн.}$$

### 5.3.8 Інші витрати

До статті «Інші витрати» належать витрати, які не знайшли відображення у зазначених статтях витрат і можуть бути віднесені безпосередньо на собівартість досліджень за прямими ознаками.

Витрати за статтею «Інші витрати» розраховуємо як 50...100% від суми основної заробітної плати дослідників та робітників за формулою:

$$I_e = (Z_o + Z_p) \cdot \frac{H_{ie}}{100\%}, \quad (5.16)$$

де  $H_{ie}$  – норма нарахування за статтею «Інші витрати», приймемо  $H_{ie} = 50\%$ .

$$I_e = (19091 + 1235,6) \cdot 50 / 100\% = 10163,26 \text{ грн.}$$

### 5.3.9 Накладні (загальновиробничі) витрати

До статті «Накладні (загальновиробничі) витрати» належать: витрати, пов'язані з управлінням організацією; витрати на винахідництво та раціоналізацію; витрати на підготовку (перепідготовку) та навчання кадрів;

витрати, пов'язані з набором робочої сили; витрати на оплату послуг банків; витрати, пов'язані з освоєнням виробництва продукції; витрати на науково-технічну інформацію та рекламу та ін.

Витрати за статтею «Накладні (загальновиробничі) витрати» розраховуємо як 100...150% від суми основної заробітної плати дослідників та робітників за формулою:

$$B_{нзв} = (Z_o + Z_p) \cdot \frac{H_{нзв}}{100\%}, \quad (5.17)$$

де  $H_{нзв}$  – норма нарахування за статтею «Накладні (загальновиробничі) витрати», прийmemo  $H_{нзв} = 100\%$ .

$$B_{нзв} = (19091 + 1235,6) \cdot 100 / 100\% = 20326,52 \text{ грн.}$$

Витрати на проведення науково-дослідної роботи на тему "Модернізація обладнання технологічної лінії подрібнення деревних відходів" розраховуємо як суму всіх попередніх статей витрат за формулою:

$$B_{заг} = Z_o + Z_p + Z_{доо} + Z_n + M + K_v + B_{спец} + B_{прз} + A_{обл} + B_e + B_{св} + B_{сп} + I_v + B_{нзв}. \quad (4.18)$$

$$B_{заг} = 19091 + 1235,6 + 2235,92 + 4963,74 + 11,88 + 77550,00 + 3500,00 + 310,55 + 4065,3 + 10163,26 + 20326,52 = 143453,68 \text{ грн.}$$

Загальні витрати  $ZB$  на завершення науково-дослідної (науково-технічної) роботи та оформлення її результатів розраховується за формулою:

$$ZB = \frac{B_{заг}}{\eta}, \quad (5.19)$$

де  $\eta$  - коефіцієнт, який характеризує етап (стадію) виконання науково-дослідної роботи, прийmemo  $\eta=0,5$ .

$$ЗВ = 143453,68 / 0,5 = 286907,36 \text{ грн.}$$

#### 5.4 Розрахунок економічної ефективності науково-технічної розробки при її можливій комерціалізації потенційним інвестором

В ринкових умовах узагальнюючим позитивним результатом, що його може отримати потенційний інвестор від можливого впровадження результатів цієї чи іншої науково-технічної розробки, є збільшення у потенційного інвестора величини чистого прибутку.

Результати дослідження проведені за темою "Модернізація обладнання технологічної лінії подрібнення деревних відходів" передбачають комерціалізацію протягом 3-х років реалізації на ринку.

В цьому випадку основу майбутнього економічного ефекту будуть формувати:

$\Delta N$  – збільшення кількості споживачів яким надається відповідна інформаційна послуга у періоди часу, що аналізуються;

$N$  – кількість споживачів яким надавалась відповідна інформаційна послуга у році до впровадження результатів нової науково-технічної розробки, прийmemo 1 особа

$Ц_0$  – вартість послуги у році до впровадження інформаційної системи, прийmemo 90000,00 грн;

$\pm \Delta Ц_0$  – зміна вартості послуги від впровадження результатів, прийmemo зростання на 1000,00 грн.

Можливе збільшення чистого прибутку у потенційного інвестора  $\Delta П_i$  для кожного із 3-х років, протягом яких очікується отримання позитивних результатів від можливого впровадження та комерціалізації науково-технічної розробки, розраховуємо за формулою [32]:

$$\Delta\Pi_i = (\pm\Delta C_o \cdot N + C_o \cdot \Delta N)_i \cdot \lambda \cdot \rho \cdot \left(1 - \frac{\mathcal{G}}{100}\right), \quad (5.20)$$

де  $\lambda$  – коефіцієнт, який враховує сплату потенційним інвестором податку на додану вартість. У 2021 році ставка податку на додану вартість складає 20%, а коефіцієнт  $\lambda = 0,8333$ ;

$\rho$  – коефіцієнт, який враховує рентабельність інноваційного продукту).

Прийmemo  $\rho = 40\%$ ;

$\mathcal{G}$  – ставка податку на прибуток, який має сплачувати потенційний інвестор, у 2023 році  $\mathcal{G} = 18\%$ ;

Збільшення чистого прибутку 1-го року:

$$\Delta\Pi_1 = (1 \cdot 1000 + 90000 \cdot 15) \cdot 0,83 \cdot 0,4 \cdot (1 - 0,18/100\%) = 233349 \text{ грн.}$$

Збільшення чистого прибутку 2-го року:

$$\Delta\Pi_2 = (1 \cdot 1000 + 90000 \cdot (15 + 30)) \cdot 0,83 \cdot 0,4 \cdot (1 - 0,18/100\%) = 700534,52 \text{ грн.}$$

Збільшення чистого прибутку 3-го року:

$$\Delta\Pi_3 = (1 \cdot 1000 + 90000 \cdot (15 + 30 + 20)) \cdot 0,83 \cdot 0,4 \cdot (1 - 0,18/100\%) = 1011438,7 \text{ грн.}$$

Приведена вартість збільшення всіх чистих прибутків  $ПП$ , що їх може отримати потенційний інвестор від можливого впровадження та комерціалізації науково-технічної розробки:

$$ПП = \sum_{i=1}^T \frac{\Delta\Pi_i}{(1 + \tau)^i}, \quad (5.21)$$

де  $\Delta\Pi_i$  – збільшення чистого прибутку у кожному з років, протягом яких виявляються результати впровадження науково-технічної розробки, грн;

$T$  – період часу, протягом якого очікується отримання позитивних результатів від впровадження та комерціалізації науково-технічної розробки, роки;



$\tau$  – ставка дисконтування, за яку можна взяти щорічний прогнозований рівень інфляції в країні,  $\tau = 18\%$ ;

$t$  – період часу (в роках) від моменту початку впровадження науково-технічної розробки до моменту отримання потенційним інвестором додаткових чистих прибутків у цьому році.

$$\begin{aligned} ПП &= 233349 / (1+0,18)^1 + 700534,52 / (1+0,18)^2 + 1011438,7 / (1+0,18)^3 = \\ &= 1268985,59 \text{ грн.} \end{aligned}$$

Величина початкових інвестицій  $PV$ , які потенційний інвестор має вкласти для впровадження і комерціалізації науково-технічної розробки:

$$PV = k_{инв} \cdot 3B, \quad (5.22)$$

де  $k_{инв}$  – коефіцієнт, що враховує витрати інвестора на впровадження науково-технічної розробки та її комерціалізацію, приймаємо  $k_{инв} = 2$ ;

$3B$  – загальні витрати на проведення науково-технічної розробки та оформлення її результатів, приймаємо 286907,36 грн.

$$PV = k_{инв} \cdot 3B = 2 \cdot 286907,36 = 573814,72 \text{ грн.}$$

Абсолютний економічний ефект  $E_{абс}$  для потенційного інвестора від можливого впровадження та комерціалізації науково-технічної розробки становитиме:

$$E_{абс} = ПП - PV \quad (5.23)$$

де  $ПП$  – приведена вартість зростання всіх чистих прибутків від можливого впровадження та комерціалізації науково-технічної розробки, 1268985,59 грн;

$PV$  – теперішня вартість початкових інвестицій, 573814,72 грн.

$$E_{abc} = PPP - PV = 1268985,59 - 573814,72 = 695170,86 \text{ грн.}$$

Внутрішня економічна дохідність інвестицій  $E_g$ , які можуть бути вкладені потенційним інвестором у впровадження та комерціалізацію науково-технічної розробки:

$$E_g = \sqrt[T_{жс}]{1 + \frac{E_{abc}}{PV}} - 1, \quad (5.24)$$

де  $E_{abc}$  – абсолютний економічний ефект вкладених інвестицій, грн;

$PV$  – теперішня вартість початкових інвестицій, грн;

$T_{жс}$  – життєвий цикл науково-технічної розробки, тобто час від початку її розробки до закінчення отримання позитивних результатів від її впровадження, 3 роки.

$$E_g = \sqrt[3]{1 + \frac{E_{abc}}{PV}} - 1 = (1 + 695170,86 / 573814,72)^{1/3} - 1 = 0,51.$$

Мінімальна внутрішня економічна дохідність вкладених інвестицій  $\tau_{мін}$

:

$$\tau_{мін} = d + f, \quad (5.25)$$

де  $d$  – середньозважена ставка за депозитними операціями в комерційних банках; в 2023 році в Україні  $d = 0,1$ ;

$f$  – показник, що характеризує ризикованість вкладення інвестицій, прийmemo 0,25.

$\tau_{\min} = 0,1 + 0,25 = 0,35 < 0,51$  свідчить про те, що внутрішня економічна дохідність інвестицій  $E_g$ , які можуть бути вкладені потенційним інвестором у впровадження та комерціалізацію науково-технічної розробки вища мінімальної внутрішньої дохідності. Тобто інвестувати в науково-дослідну роботу за темою «Інформаційна технологія онтологічного моделювання бази знань з організації бібліотеки» доцільно.

Період окупності інвестицій  $T_{ок}$  які можуть бути вкладені потенційним інвестором у впровадження та комерціалізацію науково-технічної розробки:

$$T_{ок} = \frac{1}{E_g}, \quad (5.26)$$

де  $E_g$  – внутрішня економічна дохідність вкладених інвестицій.

$$T_{ок} = 1 / 0,51 = 2 \text{ р.}$$

$T_{ок} < 3$ -х років, що свідчить про комерційну привабливість науково-технічної розробки і може спонукати потенційного інвестора профінансувати впровадження даної розробки та виведення її на ринок.

## 5.5 Висновки до розділу

Згідно проведених досліджень рівень комерційного потенціалу розробки за темою "Модернізація обладнання технологічної лінії подрібнення деревних відходів" становить 33 бал, що, свідчить про комерційну важливість проведення даних досліджень оскільки рівень комерційного потенціалу розробки вище середнього.

При оцінюванні рівня конкурентоспроможності, згідно узагальненого коефіцієнту конкурентоспроможності розробки, науково-технічна розробка переважає існуючі аналоги приблизно в 1,5 рази.

Також термін окупності становить 2 роки, що менше 3-х років, що свідчить про комерційну привабливість науково-технічної розробки і може спонукати потенційного інвестора профінансувати впровадження даної розробки та виведення її на ринок.

Отже можна зробити висновок про доцільність проведення науково-дослідної роботи за темою "Модернізація обладнання технологічної лінії подрібнення деревних відходів".

## 6 ОХОРОНА ПРАЦІ І БЕЗПЕКА У НАДЗВИЧАЙНИХ СИТУАЦІЯХ

Під час модернізації обладнання технологічної лінії подрібнення деревних відходів на працівника могли мати вплив такі небезпечні та шкідливі виробничі фактори:

1. Фізичні: підвищена запиленість та загазованість повітря робочої зони; підвищена чи понижена температура повітря робочої зони; підвищений рівень шуму на робочому місці; підвищений рівень електромагнітного випромінювання; підвищена чи понижена іонізація повітря; пряма і відбита блискість; підвищення яскравість; недостатня освітленість робочої зони.

2. Психофізіологічні: статичне перевантаження; розумове перевантаження; емоційні перевантаження.

Відповідно до наведених факторів здійснюємо планування щодо безпечного виконання роботи.

### 6.1. Технічні рішення щодо безпечного виконання роботи

Загальною вимогою раціональної організації робочих місць є створення працівникам максимальної зручності для здійснення їх діяльності, вивільнення від нераціональних переміщень та рухів, зниження на цій основі витрат праці на виконувану роботу. Економія часу і сил працівника - головні критерії раціональності організації робочих місць.

Робоче місце і взаємне розташування усіх її елементів має відповідати антропометричним, фізичним і неординарним психологічним вимогам [2]. Важливе значення має також характеру роботи. Зокрема, з організацією робочого місця проектувальника мають бути дотримані такі основні умови:

– оптимальне розміщення устаткування, що до складу робочого місця;

- достатній робочий простір, що дозволяє здійснювати всі необхідні руху, і переміщення;
- необхідне природне, і штучне висвітлення до виконання поставлених завдань;
- рівень акустичного шуму, який не перевищує допустимого значення;
- достатня вентиляція робочого місця;

Головними елементами робочого місця розробника є письмовий стіл і крісло. Основним робочим положенням є положення сидячи. Робоче місце для виконання робіт у положенні сидячи організується відповідно до вимог [2].

Необхідно передбачити при проектуванні можливість різного розміщення документів: збоку від ПК, між монітором і клавіатурою і т.п. Крім того, у випадках, коли ПК має низьку якість зображення, наприклад, помітні миготіння, відстань від очей до екрана роблять більшою (близько 700 мм), ніж відстань від ока до документа (300...450 мм). В загальному випадку, при високій якості зображення на ПК відстань від очей користувача до екрана, документа і клавіатури може бути рівним.

Велике значення надається характеристикам робочого крісла [3]. При проектуванні крісла виходять з того, що при будь-якому робочому положенні дослідника його поза повинна бути фізіологічно правильно обгрунтованою, тобто положення частин тіла повинно бути оптимальним. Для задоволення вимог фізіології, що впливають з аналізу положення тіла людини в положенні сидячи, конструкція робочого сидіння повинна відповідати таким основним вимогам:

- допускати можливість зміни положення тіла, тобто забезпечити вільне переміщення корпусу і кінцівок тіла один щодо одного;
- допускати регулювання висоти в залежності від росту працюючої людини (в межах від 400 до 550 мм);

– мати злегка увігнуту поверхню, мати невеликий нахил, тому поверхню сидіння рекомендується робити м'якою, передній край закругленим, а кут нахилу спинки робочого крісла - регульованим.

Приміщення, де здійснювалася робота з проектування системи керування протезом верхньої кінцівки за небезпекою ураження електричним струмом можна віднести до 1 класу, тобто це приміщення без підвищеної небезпеки (сухе, мало заповнене, з нормальною температурою повітря, ізольованими підлогами і малим числом заземлених приладів) [4].

На робочому місці з усього обладнання металевим є лише корпус системного блоку комп'ютера, в якого крім робочої ізоляції передбачений елемент для заземлення та провід з заземлюючий жилою для приєднання до джерела живлення.

Електротехнічне устаткування: апаратури, кабелі й керівництва, розподільні пристрої всіх видів і напруг по своїх номінальних параметрах задовольняє умовам роботи як при нормальних режимах, так і при коротких замиканнях, перенапругах, перевантаженнях.

Для забезпечення безпеки встановлюються наступні технічні рішення:

– Забезпечено недоступність струмопровідних частин (застосована схована проводка, кабель прокладений у спеціальних ринвах).

– Забезпечено ізолювання струмопровідних частин з використанням ізоляції, опір якої не нижче 1кОм/В, передбачені постійний контроль і профілактика ізоляції.

– Напруга освітлювальної мережі приймається 220 В із заземленою нейтраллю.

У випадку виникнення аварійної ситуації працівник зобов'язаний:

– у всіх випадках виявлення пошкодження проводів електричного живлення, несправності заземлення та інших пошкодженнях електрообладнання, виникненні запаху гарі, диму - негайно вимкнути

електричне живлення і повідомити про аварійну ситуацію свого безпосереднього керівника й чергового електрика;

- при попаданні людини під електричну напругу негайно звільнити її від дії струму шляхом вимкнення електричного живлення, до прибуття лікаря надати потерпілому долікарську медичну допомогу;

- при будь-яких випадках порушень роботи технічного обладнання або програмного забезпечення негайно викликати представника технічної служби з питань експлуатації обчислювальної техніки;

- у випадку виникнення різі в очах, різкого погіршення зору, виникнення головного болю, больових відчуттів у пальцях та кистях рук, посилення серцебиття - негайно припинити роботу з використанням ПК, повідомити про те, що сталося, свого безпосереднього керівника й звернутися до медичної установи;

- при загорянні обладнання негайно відключити його від електромережі;

- про загорання повідомити свого безпосереднього керівника, оперативного чергового, пожежну службу; ужити заходів щодо ліквідації вогню за допомогою вуглекислотного або порошкового вогнегасника.

## 6.2. Технічні рішення з гігієни праці та виробничої санітарії

### 6.2.1. Мікроклімат

Робота, яка виконується проектувальником, згідно за енерговитратами відноситься до категорії I а (енерговитрати до 139Дж/с) [5]. Допустимі параметри мікроклімату для цієї категорії наведені в табл.6.1 (відповідно до ДСН 3.3.6.042-99 [6]).



Таблиця 6.1 – Параметри мікроклімату

Період року	Допустимі		
	t, °C	W, %	V, м/с
Теплий	22-28	55	0,1-0,2
Холодний	21-25	75	0,1

Для забезпечення необхідних за нормативами параметрів мікроклімату в приміщенні передбачено система опалення, система кондиціонування та систематичне вологе прибирання.

Вимірювання параметрів мікроклімату проводиться на робочому місці і в робочій зоні на початку, в середині та в кінці робочої зміни. Вимірювання здійснюються не менше 2-х разів на рік (теплий та холодний періоди року) у порядку поточного санітарного нагляду, а також при прийманні до експлуатації нового технологічного устаткування, внесенні технічних змін в конструкцію діючого устаткування, організації нових робочих місць тощо.

#### 6.2.2. Склад повітря робочої зони

У сучасній техніці застосовується безліч речовин, які можуть потрапляти в повітря і становити небезпеку здоров'ю людей. Для визначення небезпечності досліджується вплив цих речовин на організм людини і встановлюють безпечні для людини концентрації та дози, які можуть потрапити різними шляхами в організм людини.

Для створення здорових і безпечних умов праці потрібно мати гігієнічне нормування шкідливих речовин, надійні способи визначення їх концентрацій у повітрі і сучасне технічне та організаційне забезпечення їх знешкодження.

В приміщенні, де здійснюється проектування можливими шкідливими речовинами у повітрі є пил та озон. Джерелами цих речовин є офісна техніка. Пил потрапляє у приміщення ззовні. ГДК шкідливих речовин, які знаходяться в досліджуваному приміщенні, наведені в таблиці 6.2.

Таблиця 6.2 – ГДК шкідливих речовин у повітрі

Назва речовини	ГДК, мг/м <sup>3</sup>		Клас небезпечності
	Максимально разова	Середньо добова	
Пил нетоксичний	0,5	0,15	4
Озон	0,16	0,03	4

Параметри іонного складу повітря на робочому місці, що обладнане ПК, повинні відповідати допустимим нормам (табл.6.3).

Таблиця 6.3 – Рівні іонізації повітря приміщень при роботі на ПК

Рівні	Кількість іонів в 1 см <sup>3</sup>	
	n+	n-
Мінімально необхідні	400	600
Оптимальні	1500-3000	3000-5000
Максимально необхідні	50000	50000

Для забезпечення комфортних умов використовуються як організаційні методи (раціональна організація проведення робіт залежно від пори року і доби, чергування праці і відпочинку), так і технічні засоби (вентиляція, кондиціонування повітря, опалювальна система).

### 6.2.3 Виробниче освітлення

Світло впливає не лише на функцію органів зору, а й на діяльність організму в цілому. У разі поганого освітлення людина швидко втомлюється, працює менш продуктивно, зростає потенційна небезпека помилкових дій і нещасних випадків.

Норми освітленості при штучному освітленні та КПО (для III пояса світлового клімату) при природному та сумісному освітленні, які необхідно забезпечити під час виконання роботи зазначені у таблиці 6.4 (відповідно ДБН В.2.5-28-2018 [7]):

Таблиця 6.4 - Норми освітленості в приміщенні

Характеристика зорової роботи	Найменший розмір об'єкта розрізнювання	Розряд зорової роботи	Підрозряд зорової роботи	Контраст об'єкта розрізнення з фоном	Характеристика фона	Освітленість, лк		КПО, $e_n$ , %			
						Штучне освітлення		Природне освітлення		Сумісне освітлення	
						Комбіноване	Загальне	Верхнє або верхнє і бокове	Бокове	Верхнє або верхнє і бокове	Бокове
Дуже високої точності	Від 0,15 до 0,3	II	г	великий	світлий	1000	300	7	2,5	4,2	1,5

Для забезпечення достатнього освітлення передбачені такі заходи:

- 1) Систематичне очищення скла від бруду – не рідше двох разів на рік.
- 2) Система природного освітлення доповнюється загальним штучним освітленням, що створюється за допомогою люмінесцентних ламп.

#### 6.2.4. Виробничий шум

Для робочих місць в приміщеннях із ПК характерна наявність механічних шумів (виникають внаслідок коливання деталей машин та їхнім взаємним переміщенням), аеродинамічних шумів (виникають в пружних конструкціях у газі або рідині) та шумів електричних машин.

Деякі ПК є потенційними джерелами цілого ряду звукових коливань як чутного, так і ультразвукового діапазону. Найчастіше рівні акустичного випромінювання, що виходить від ПК, охоплюють діапазон частот від 6,3 до 40 кГц.

Санітарні норми виробничого шуму, ультразвуку та інфразвуку відображені в ДСН 3.3.6.037-99 [8]. Для умов виконання роботи допустимі рівні звукового тиску повинні наведені в таблиці 6.5.

Таблиця 6.5 – Допустимі рівні звукового тиску і рівні звуку для постійного широкополосного шуму

Характер робіт	Допустимі рівні звукового тиску (дБ) в стандартизованих октавних смугах зі середньгеометричними частинами (Гц)									Допустимий рівень звуку, дБА
	32	63	125	250	500	1000	2000	4000	8000	
Виробничі приміщення	86	71	61	54	49	45	42	40	38	50

Для забезпечення допустимих параметрів шуму доцільно використовувати комп'ютери з пасивним охолодженням та встановити пластикові вікна, які мають достатню звукоізоляцію.

#### 6.2.5 Виробничі випромінювання

Під час проектування існує ризик виникнення підвищеного рівня електромагнітного поля. Несприятливу дію на організм людини мають електромагнітні випромінювання радіочастотного діапазону, джерелами яких є телевізійні і радіомовні станції, пристрої стільникового радіозв'язку, апарати високочастотного нагрівання і навіть побутова апаратура.

Електромагнітні поля чинять термічний і морфологічний вплив на організм людини, викликаючи в ньому функціональні зміни.

Допустимі значення параметрів неіонізуючих електромагнітних випромінювань від монітора комп'ютера представлені в табл. 6.6.

Таблиця 6.6 - Допустимі значення параметрів неіонізуючих електромагнітних випромінювань

Найменування параметра	Допустимі значення
Напруженість електричної складової електромагнітного поля на відстані 50см від поверхні відеомонітора	10В / м
Напруженість магнітної складової електромагнітного поля на відстані 50см від поверхні відеомонітора	0,3 А / м
Напруженість електростатичного поля не повинна перевищувати: для дорослих користувачів для дітей дошкільних установ і що вчаться середніх спеціальних і вищих навчальних закладів	20кВ / м 15кВ / м

Для зниження дії цих видів випромінювання рекомендується застосовувати монітори із зниженим рівнем випромінювання (MPR-II, TCO-92, TCO-99, TCO-03), а також дотримувати регламентовані режими праці і відпочинку.

6.3 Безпека в надзвичайних ситуаціях. Дослідження безпеки роботи в умовах дії загрозливих факторів надзвичайних ситуацій

6.3.1 Дія вогню на будівлі виробничих приміщень під час пожежі.

Пожежа на підприємствах являє собою серйозну небезпеку та вважається важливою причиною нещасних випадків, спричиняє величезний матеріальний збиток.

Пожежа являє собою неконтрольований процес горіння, що супроводжується знищенням матеріальних цінностей та створює небезпеку для життя людей.

Небезпечними факторами при пожежі є: відкритий вогонь та іскри; підвищена температура повітря, предметів і т.п.; дим; обвал та ушкодження будинків, споруд; вибухи.

Аналіз пожеж показує, що рівень гранично допустимих чинників пожежі виникає через 5-10 хв з початку пожежі, несучу здатність будівельні металеві конструкції втрачають через 10-15 хв, а середній час початку ефективних дій пожежних підрозділів становить 20-25 хв.

Пожежну небезпеку посилює зростання концентрації горючих речовин і матеріальних цінностей, що припадає на одиницю площі будівель (пожежне навантаження), що призводить до дуже високого рівня їх пожежної небезпеки.

Тяжкість наслідків від пожеж значною мірою зумовлена недостатньою захищеністю будівель та споруд системами автоматичного протипожежного захисту та їх некваліфікованим обслуговуванням.

Причиною зростання кількості жертв та матеріальних збитків на пожежах стає те, що технічна оснащеність пожежної охорони значно відстає від сучасних вимог і недостатньо укомплектована засобами рятування людей та засобами пожежогасіння.

Втрати від пожеж визначаються сукупністю видів збитків від них. Втрати на пожежах пов'язані з прямими, побічними, соціальними та екологічними збитками [1].

### 6.3.2 Визначення витрат води для гасіння пожежі

Вихідні дані: Розміри приміщення:  $13 \times 7 \times 3,3$  м.

Витрати води при пожежі складаються з витрат води на зовнішнє та внутрішнє гасіння пожежі,  $\text{м}^3$ ,

$$Q_{\text{пож}} = Q_{\text{зов}} + Q_{\text{вн}} \quad (6.1)$$

де  $Q_{\text{зов}}$ ,  $Q_{\text{вн}}$  – витрати води на зовнішнє та внутрішнє гасіння пожежі,  $\text{м}^3$ .

Об'єм приміщення знайдемо за формулою:

$$V = abh \quad (6.2)$$

де  $a$ ,  $b$ ,  $h$  – довжина, ширина та висота приміщення відповідно, м.

Після підстановки відомих значень у формулу (5.2) отримаємо

$$V = 13 \cdot 7 \cdot 3,3 = 300,3 \text{ (м}^3\text{)}.$$

Витрати води на зовнішнє гасіння пожежі визначаються за формулою,  $\text{м}^3$ ,

$$Q_{\text{зов}} = 3,6g_1T_1 \quad (6.3)$$

де  $g_1$  – витрати води на пожежу (приймається відповідно до СНиП 2.04.02–84 для ширини будівлі до 60 м і об'єму приміщення до 3 тис.  $\text{м}^3$   $g_1 = 10$  л/с);

$T_1$  – розрахункова тривалість зовнішнього гасіння пожежі ( $T_1 = 3$  год).

Витрати води на внутрішнє гасіння пожежі:

$$Q_{\text{вн}} = 3,6ng_2T_2 \text{ [м}^3\text{]}, \quad (6.4)$$

де  $n$  – кількість струменів відповідно СНиП 2.04.01-85 ( $n = 2$ );

$g_2$  – мінімальні витрати води на один струмінь ( $g_2 = 5$  л/с);

$T_2$  – розрахунковий час роботи пожежних кранів ( $T_2 = 3$  год).

Після підстановки відомих значень у формули (5.2, 5.3, 5.1) отримаємо

$$Q_{\text{зов}} = 3,6 \cdot 10 \cdot 3 = 108 \text{ (м}^3\text{)};$$

$$Q_{\text{вн}} = 3,6 \cdot 2 \cdot 5 \cdot 3 = 108 \text{ (м}^3\text{)};$$

$$Q_{\text{пож}} = 108 + 108 = 216 \text{ (м}^3\text{)}.$$

6.3.3 Розробка превентивних заходів по підвищенню безпеки роботи в умовах дії надзвичайних ситуацій

Для попередження пожежі проводяться організаційні, технічні, експлуатаційні та режимні заходи.

До організаційних заходів відносяться: навчання працюючих правилам пожежної безпеки, проведення інструктажів, бесід, лекцій та ін.

До технічних – дотримування протипожежних правил та норм при встановленні опалення, вентиляційного обладнання.

До експлуатаційних – заходи, що передбачають правильну експлуатацію машин, обладнання, транспорту, правильне утримання будинків та території.

Висновки:

Визначено витрати води для гасіння пожежі. Розроблено превентивні заходи по підвищенню безпеки роботи в умовах дії надзвичайних ситуацій.

## ВИСНОВКИ

1. На підставі техніко-економічного аналізу обґрунтування тему магістерської кваліфікаційної роботи, проведено аналіз технологічних методів обробки та його показників, за рахунок яких здійснено вибір методу подрібнення. Проаналізовано відомі технічні рішення для подрібнення деревинних матеріалів, які дали змогу виділити основні конструктивні ознаки нового обладнання для вторинного подрібнення деревних матеріалів, що відрізняється покращеними технічними та економічними показниками.

2. На основі запропонованих критеріальних оцінок здійснено вибір раціональної схеми привідного пристрою подрібнювача деревних відходів з покращеними енергетичними, габаритними, матеріаломісткісними та економічними показниками. Обґрунтовано заміну роздільного приводу в аналогу на вмонтований з використанням кульково-хвильової передачі та гідравлічних агрегатів. Доведено доцільність застосування КХП з проміжними тілами кочення в передавальному механізмі подрібнювача.

3. Розроблено нову конструктивну схему подрібнювача деревини на рівні винаходу та виконано необхідний комплекс проектних, перевірочних розрахунків всіх елементів передавального механізму робочого інструмента, які дозволяють виконати його проектування та виготовлення дослідного зразка.

4. Розроблено гідрокінематичну схему експериментального стенда для проведення випробувальних досліджень, а також дослідний зразок подрібнювача, за допомогою якого можна визначити динамічні характеристики процесу подрібнення та впливу різальної частини приводу розробленого пристрою на ефективність подрібнення.

6. Розроблено складальні креслення подрібнювача, його передавального механізму, дослідного зразка подрібнювача для проведення експериментальних досліджень впливу параметрів приводу та різальної частини подрібнювача деревини на якість отриманої сировини.



7. Визначено оцінку наукового, технічного та економічного рівня НДДКР, оцінювання комерційного потенціалу розробки, прогнозування витрат на виконання НДДКР та інші економічні показники розробки, які підтверджують доцільність впровадження у виробництво розробленої конструкції подрібнювача деревних відходів.

8. Розроблено комплекс організаційно-технічних рішень та заходів щодо забезпечення охорони праці та безпеки життєдіяльності під час експлуатації розробленого обладнання.

## СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Методичні вказівки до виконання економічної частини магістерських кваліфікаційних робіт / Уклад. : В. О. Козловський, О. Й. Лесько, В. В. Кавецький. – Вінниця : ВНТУ, 2021. – 42 с
2. Молотковий подрібнювач RM 71 [Електронний ресурс]. – Режим доступу: [http://hemmel.com.ua/ua/production/rm\\_71](http://hemmel.com.ua/ua/production/rm_71) – Назва з екрана.
3. Р. В. Зінько Морфологічне середовище для дослідження технічних систем: монографія / Р. В. Зінько. – Львів: Видавництво Львівської політехніки, 2014. – 386 с.
4. Erik Tromborg et al. Ecor amic sustainability for wood pellets production - A comparative study between Finland, Germany, Norway, Sweden and the US. // Nordic Baltic Bioenergy, 2013.
5. Isemin R., Konyakhin V. et al. Solution of Some Problems which can Occur at Production and Combustion of Straw Pellets and Pellets Made of Agricultural Wastes, <http://www.aidic.it/CISAP4/webpapers/15lsemin.pdf>.
6. Arifa Sultanaa, Amit Kumara, Don Harfield. Development of agri-pellet production cost and optimum size. // Bioresource Technology 101 (2010) 5609-5621.
7. Adam C. Fahrenholz. Evaluating Factors Affecting Pellet Durability And Energy Consumption in a Pilot Feed Mill and Comparing Methods for Evaluating Pellet Durability/A Dissertation. Kansas State University, Manhattan, Kansas, 2012.
8. Patent No.: US 7,575,186 B2, Int. Cl. B2C 8/24, Aug. 18, 2009.
9. Патент України на корисну модель № 140258, м. кл. B02C 17/00, опубл. 10.02.2020, бюл. №3.
10. Молотковий подрібнювач [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://www.ecn.nl/phyllis2/Browse/Standard/ECN-Phyllis#>
11. Olivier Pastre, EUBIA. Analysis of the technical obstacles related to the production and utilisation of fuel pellets made from agricultural residues//

Pellets for Europe.

12. Jerzy Swigon, Jaroslav Longauer. Energy Consumption. In Wood Pellets Production.//The 11th Polish Drying Symposium. 13-16 September 2005. Poznan. Poland.B.

13. Stjepan Risovic et al. Energy Analysis of Pellets Made of Wood Residues.// Croat, j. for. eng. 29(2008)1.

14. I. Obernberger and G. Thek. The Pellet Handbook. The Production and Thermal Utilisation of Pellets // Bios Bioenergiesysteme GmbH, 2010.

15. П. С. Коруняк Аналіз роботи віброударної подрібнювальної машини з пружним підвісом молотків / П. С. Коруняк // Вісн. ДУ «Львівська політехніка»: Оптимізація виробничих процесів і технічний контроль в машинобудуванні. – 1998. – №321. – С. 42 – 44.

16. Quality Characteristics of Biofuel Pellets.// Danish Energy Agency, file no. 51161/00-0028 Eltra, PSO project no. 1996, December, 2002.

17. Erik Tromborg et al. Ecor amic sustainability for wood pellets production - A comparative study between Finland, Germany, Norway, Sweden and the US. // Nordic Baltic Bioenergy, 2013.

18. Лукянихіна О.А., Вакуленко І.А. Визначення напрямків розвитку альтернативної енергетики у контексті виробництва біопалива / О.А. Лукянихіна, І.А. Вакуленко//ВісникСумДУ.-2011. -№ 1,-С. 27-33.

19. Ковальов, І. О. Гідравліка, гідро- та пневмоприводи : навч. посіб. / І. О. Ковальов, О. В. Ратушний. – Суми : СумДУ, 2016. – 250 с

20. Поліщук Л. К. Аналіз технологічних процесів та обладнання для переробки деревинних матеріалів [Текст] / Л. К. Поліщук, В. П. Міськов // Вісник машинобудування та транспорту. – 2017. – № 1. – С. 83.

21. Industrial shredders & briquetting machines by WEIMA [Електронний ресурс] : [Веб-сайт]. – Режим доступу: <https://weima.com/> – Назва з екрана.

22. Кравчук В. О. Конструкції барабанів для вторинного подрібнення деревинних відходів. [Електронний ресурс] / В. О. Кравчук, А. Л. Бондар //

XLVII Науково-технічна конференція факультету машинобудування та транспорту. – Вінниця. – 2018. – Режим доступу: <https://conferences.vntu.edu.ua/index.php/all-fmt/all-fmt-2018/paper/view/4263>

23. Jaya Shankar Tumuluru. Specific energy consumption and quality of wood pellets produced using high-moisture lodgepole pine grind in a flat die pellet mill.// Biofuels and Renewable Energy Technology Idaho National Laboratory. Idaho Falls, Idaho-83415.

24. Гідропривод сільськогосподарської техніки: Навчальне видання О.М. Погорілець, М.С. Волянський, В.Д.Войтюк, С.І. Пастушенко; За ред. О.М. Погорільця. – К.: Вища освіта, 2004. 368 с.: іл

25. Технічна гідромеханіка. Гідравліка та гідропривод: Підручник / В.О. Федорець, М.Н. Педченко, О.О. Федорець та ін.; За ред. В.О. Федорця. – Житомир, ЖІТІ, 1998. – 412 с

26. Крутіков Г.А. Системи гідроприводів : навчальний посібник / Г.А. Крутіков, М.Г. Стрижак; за ред. Г.А. Крутікова – Х. : НТУ «ХП», 2014. – 220 с.

27. Поліщук Л. К. Динаміка вмонтованого гідроприводу мобільних машин: монографія / Л. К. Поліщук. – Вінниця: ВНТУ, 2018. – 240 с.

28. Кубрак А. І. Комп'ютерне моделювання та ідентифікація автоматичних систем / А. І. Кубрак, А. І. Жученко, М. З. Кваско. – К. : Політехніка, 2004. – 424 с.

29. Козловський В.О. Техніко-економічні обґрунтування та економічні розрахунки в дипломних проектах та роботах. Навчальний посібник. – Вінниця : ВДТУ, 2003. – 75с.

30. Кавецький В. В. Економічне обґрунтування інноваційних рішень в машинобудуванні: навчальний посібник / В. В. Кавецький, В. О. Козловський. – Вінниця : ВНТУ, 2016. – 100 с.

31. Методичні вказівки до опрацювання розділу «Безпека життєдіяльності» в дипломних проектах і роботах студентів машинобудівних спеціальностей/ Уклад. О. П. Терещенко, О. В. Кобилянський. – В.: ВНТУ,

2007. – 46 с.

32. Положення про кваліфікаційну роботу у Вінницькому національному технічному університеті / Уклад. О. М. Васілевський, Р. Р. Обертюх, А. В. Слабкий, Т. О. Савчук, Л. П. Громова – Вінниця : ВНТУ, 2019 – 32 с.

33. Положення про кваліфікаційні роботи / Уклад. А.О. Семенов – Вінниця : ВНТУ, 2021 – 80 с.

34. Сакевич В. Ф. Основи розробки питань цивільної оборони в дипломних проектах / В. Ф. Сакевич. – Вінниця : ВДТУ, 2001. – 109 с.

Додаток А  
(Обов'язковий)

**ТЕХНІЧНЕ ЗАВДАННЯ**

МОДЕРНІЗАЦІЯ ОБЛАДНАННЯ ТЕХНОЛОГІЧНОЇ ЛІНІЇ ПОДРІБНЕННЯ  
ДЕРЕВНИХ ВІДХОДІВ

Затверджую  
Завідувач кафедри ГМ  
д.т.н., проф. Л. К. Поліщук  
«16» \_\_\_\_\_ 10 \_\_\_\_\_ 2023р.

ТЕХНІЧНЕ ЗАВДАННЯ  
на магістерську кваліфікаційну роботу  
МОДЕРНІЗАЦІЯ ОБЛАДНАННЯ ТЕХНОЛОГІЧНОЇ ЛІНІЇ ПОДРІБНЕННЯ  
ДЕРЕВНИХ ВІДХОДІВ  
08-62.МКР.006.00.000 ПЗ

Керівник роботи:  
Завідувач кафедри ГМ  
д.т.н., професор  
Поліщук Л.К.  
Розробив: ст. гр. 1ГМ-22м  
Коробка В.О.

м. Вінниця 2023 р.

## **1 Найменування і область застосування**

Найменування – подрібнювач деревних відходів призначений для переробки різного виду деревини, з отриманої сировини якого виготовляються пелети, як альтернативне джерело енергії.

## **2 Підстава для виконання роботи**

Індивідуальне завдання на магістерську кваліфікаційну роботи, затверджене наказом по ВНТУ № 247 від «18» вересня 2023 р.

## **3 Мета і призначення дослідження**

Метою роботи є підвищення якості пелет за рахунок покращення параметрів вторинного подрібнення деревної сировини шляхом гідрофікації приводу та запровадження зміненого процесу подрібнення.

## **4 Джерела розробки**

Список використаних джерел розробки

1. Р. В. Зінько Морфологічне середовище для дослідження технічних систем: монографія / Р. В. Зінько. – Львів: Видавництво Львівської політехніки, 2014. – 386 с.

2. Erik Tromborg et al. Ecor amic sustainability for wood pellets production - A comparative study between Finland, Germany, Norway, Sweden and the US. // Nordic Baltic Bioenergy, 2013. Молотковий подрібнювач RM 71 [Електронний ресурс]. – Режим доступу: [http://hemmel.com.ua/ua/production/rm\\_71](http://hemmel.com.ua/ua/production/rm_71) – Назва з екрана.

3. Патент України на корисну модель № 140258, м. кл. B02C 17/00, опубл. 10.02.2020, бюл. №3.

4. Технологія виробництва різних видів біопалива [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <http://bio.ukrbio.com.ua/articles/2344/> – Назва з екрана.



5. Industrial shredders & briquetting machines by WEIMA [Електронний ресурс] : [Веб-сайт]. – Режим доступу: <https://weima.com/> – Назва з екрана.

6. Поліщук Л. К. Аналіз технологічних процесів та обладнання для переробки деревинних матеріалів [Текст] / Л. К. Поліщук, В. П. Міськов // Вісник машинобудування та транспорту. – 2017. – № 1. – С. 83.

7. Гідропривод сільськогосподарської техніки: Навчальне видання О.М. Погорілець, М.С. Волянський, В.Д.Войтюк, С.І. Пастушенко; За ред. О.М. Погорільця. – К.: Вища освіта, 2004. 368 с.: іл

8. Технічна гідромеханіка. Гідравліка та гідропривод: Підручник / В.О. Федорець, М.Н. Педченко, О.О. Федорець та ін.; За ред. В.О. Федорця. – Житомир, ЖІТІ, 1998. – 412 с

9. Поліщук Л. К. Динаміка вмонтованого гідроприводу мобільних машин: монографія / Л. К. Поліщук. – Вінниця: ВНТУ, 2018. – 240 с.

10. Положення про кваліфікаційні роботи / Уклад. А.О. Семенов – Вінниця : ВНТУ, 2021 – 80 с.

### **5 Показники призначення:**

- 1) частота обертання вихідної ланки, об/хв – 54,6;
- 2) номінальна потужність на вихідній ланці, кВт –22;
- 3) навантаження – постійне;
- 4) тиск в гідросистемі, МПа – 16;
- 5) номінальна величина витрат, л/с – 1,6;
- 6) габаритні розміри: діаметр барабана, мм – 350, міжопорна відстань, мм - 695.

### **6 Етапи НДР і терміни їх виконання:**

1. Вибір та узгодження теми МКР. Огляд літературних джерел.
2. Аналіз літературних джерел. Попередня розробка основних розділів
3. Затвердження теми. Розробка технічного завдання

4. Техніко-економічне обґрунтування теми роботи. Аналіз вирішення поставленої задачі.
5. Розрахунково-конструкторський розділ
6. Розробка експериментального стенда для дослідження робочих параметрів подрібнювачів
7. Економічний розділ.
8. Охорона праці і безпека у надзвичайних ситуаціях.
9. Оформлення пояснювальної записки та графічної частини роботи
10. Нормоконтроль
11. Попередній захист МКР, доопрацювання, рецензування МКР
12. Захист МКР на ДЕК

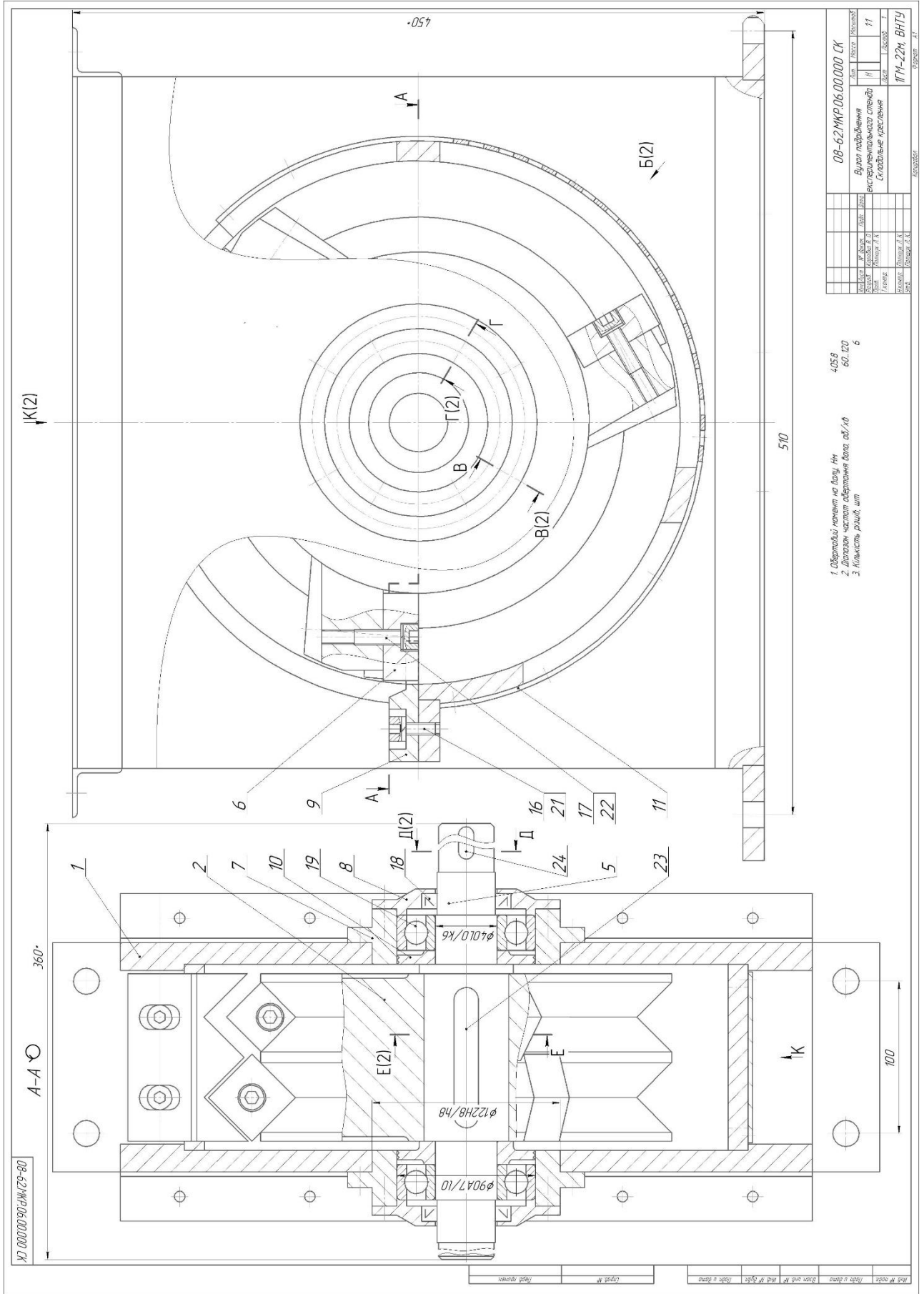
#### **7 Порядок контролю і прийомки**

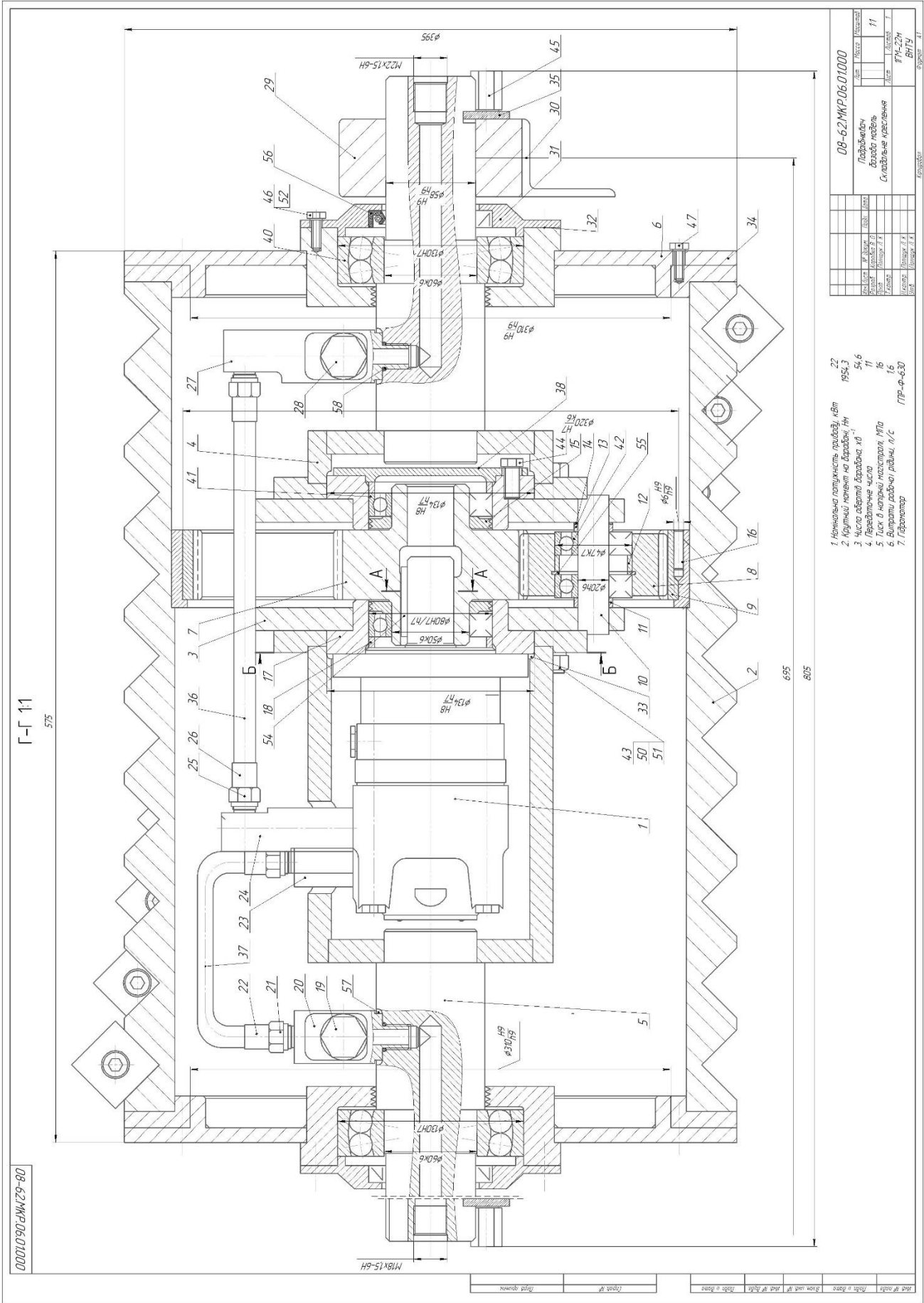
- попередній захист БДР.
- захист БДР.

Додаток Б  
(Обов'язковий)

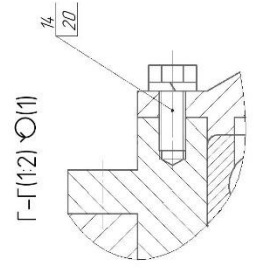
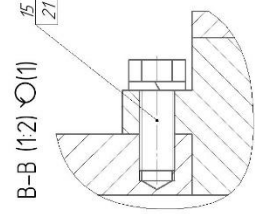
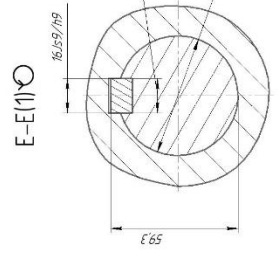
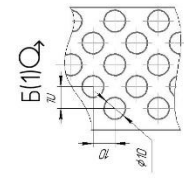
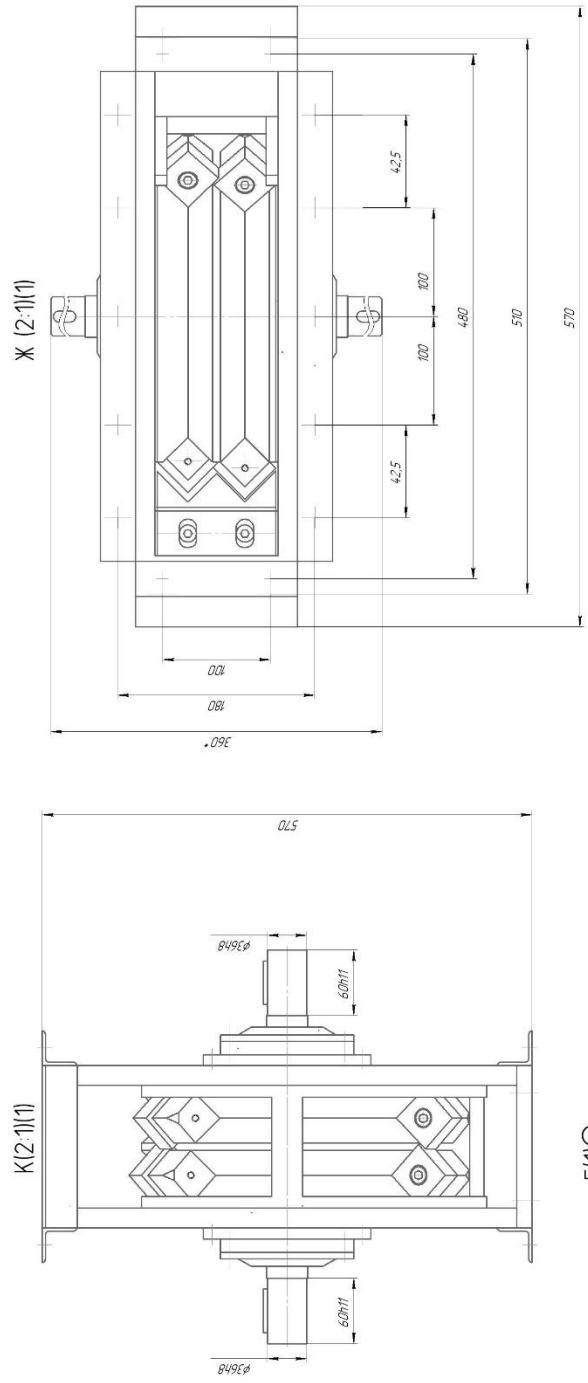
**ГРАФІЧНА ЧАСТИНА**

**МОДЕРНІЗАЦІЯ ОБЛАДНАННЯ ТЕХНОЛОГІЧНОЇ ЛІНІЇ ПОДРІБНЕННЯ  
ДЕРЕВНИХ ВІДХОДІВ**





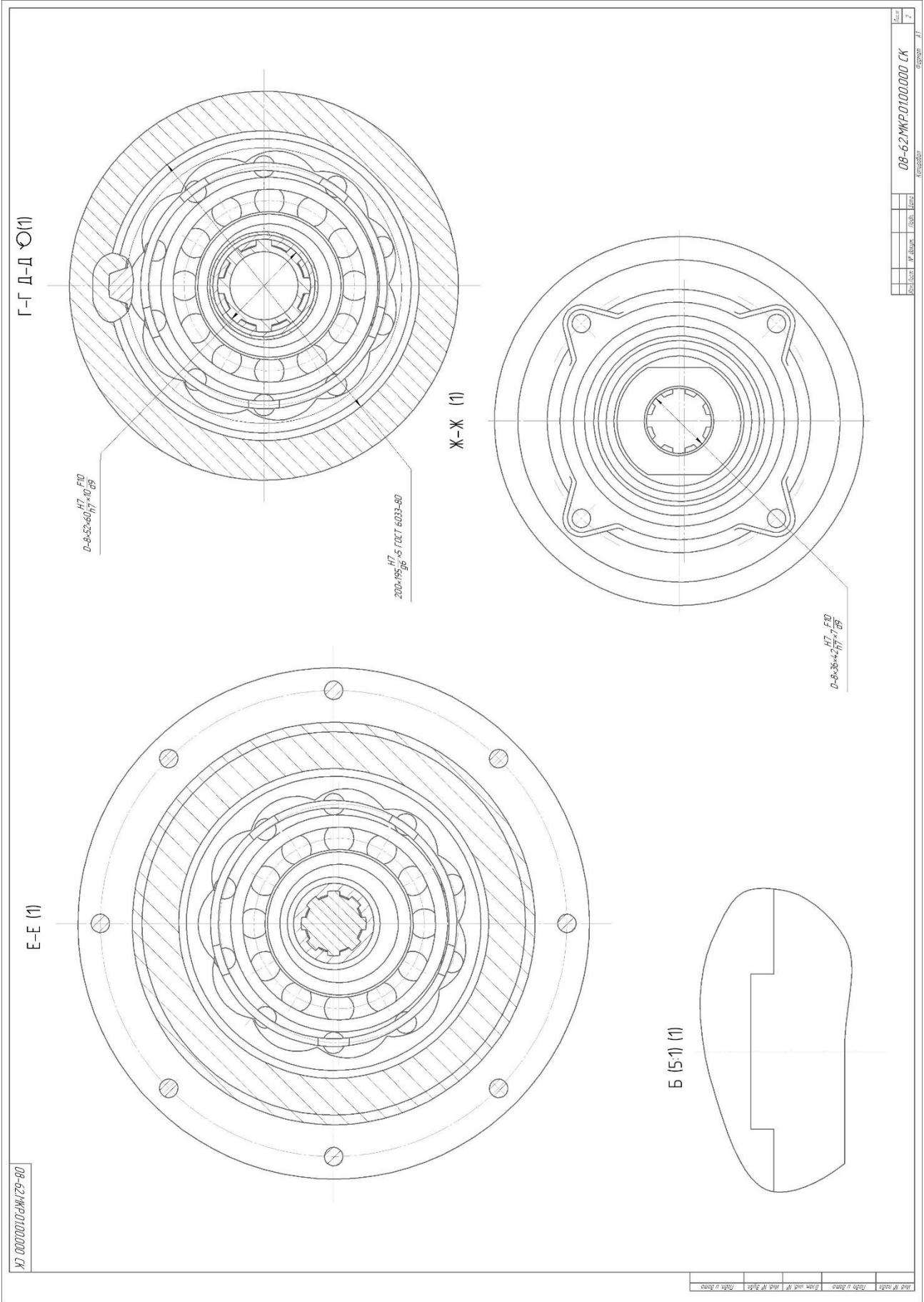
08-62.MKP.06.00.0000 CK



Мат. № детали	Материал	Шкала	Масштаб	Мат. № детали	Материал	Шкала	Масштаб

08-62.MKP.06.00.0000 CK







Додаток В  
(Обов'язковий)

**СПЕЦИФІКАЦІЇ**

МОДЕРНІЗАЦІЯ ОБЛАДНАННЯ ТЕХНОЛОГІЧНОЇ ЛІНІЇ ПОДРІБНЕННЯ  
ДЕРЕВНИХ ВІДХОДІВ

Формат	Зона	Поз.	Обозначение	Наименование	Кол.	Примечание
<i>Документация</i>						
A1			08-62.MKP.06.00.000 СК	Складальне креслення		
<i>Детали</i>						
Справ. №		1	08-62.MKP.06.00.001	Вал-шестерня	1	
		2	08-62.MKP.06.00.002	Водило	1	
		3	08-62.MKP.06.00.003	Шестерня планетарна	1	
		4	08-62.MKP.06.00.004	Шків	1	
		5	08-62.MKP.06.00.005	Карпус	1	
		6	08-62.MKP.06.00.006	Вал	1	
		7	08-62.MKP.06.00.007	Кришка підшипника	1	
		8	08-62.MKP.06.00.008	Кришка підшипника	1	
		9	08-62.MKP.06.00.009	Кришка редуктора	1	
		10	08-62.MKP.06.00.010	Сателіт	3	
		11	08-62.MKP.06.00.011	Сателітний палець	3	
		12	08-62.MKP.06.00.012	Кільце маслоутримуюче	2	
		13	08-62.MKP.06.00.013	Пробка	2	
		14	08-62.MKP.06.00.014	Кільце	8	
		15	08-62.MKP.06.00.015	Шайба	1	
		16	08-62.MKP.06.00.016	Прокладка	1	
		17	08-62.MKP.06.00.017	Прокладка	2	
<b>08-62.MKP.06.01.000</b>						
Инв. № подл.	Изм.	Лист	№ докум.	Подп.	Дата	
	Разраб.		Кародько В.О.			
	Пров.		Поліщук Л.К.			
	Н.контр.		Поліщук Л.К.			
Утв.		Поліщук Л.К.				
<b>Подрібновач</b>				Лист	Лист	Листов
<b>базова модель</b>				1	1	2
<b>ВНТУ, гр. 1ГМ-22М</b>						
Копировав				Формат А4		



Формат	Зона	Поз.	Обозначение	Наименование	Кол.	Примечание
<i>Документація</i>						
A1			08-62.МКР.06.02.000 СК	Складальне креслення		
<i>Складальні одиниці</i>						
		1	08-62.МКР.06.02.100	Корпус	1	
		2	08-62.МКР.06.02.200	Різальний інструмент	1	
<i>Деталі</i>						
		5	08-62.МКР.06.02.001	Вал	1	
		6	08-62.МКР.06.02.002	Різець	2	
		7	08-62.МКР.06.02.003	Стакан	2	
		8	08-62.МКР.06.02.004	Кришка підшипника	2	
		9	08-62.МКР.06.02.005	Ніж опорний	1	
		10	08-62.МКР.06.02.006	Кільце	2	
		11	08-62.МКР.06.02.007	Сітка	1	
<i>Стандартні вироби</i>						
				Болти ГОСТ 780-70		
		14		Болт М6-8d x 16.58	12	
<b>08-62.МКР.06.02.000</b>						
Инв. № подл.	Изм.	Лист	№ докум.	Подп.	Дата	
	Разраб.		Кародька В. О.			
	Пров.		Поліщук Л. К.			
	Н.контр.		Поліщук Л. К.			
	Утв.		Поліщук Л. К.			
<b>Вузол подрібнення експериментального стенда</b>				Лист	Лист	Листов
					1	2
				<b>1ГМ-22М ВНТУ</b>		

Формат	Зона	Поз.	Обозначение	Наименование	Кол.	Примечание	Инв. № подл.	Подп. и дата	Взам. инв. №	Инв. № дубл.	Подп. и дата								
												Изм.	Лист	№ докум.	Подп.	Дата	Лист		
		15		M8-8d x 24.58 Гвинти ГОСТ 11738-72	12														
		16		M8 x 25.88	2														
		17		M10 x 35.88 Манжети ГОСТ 8752-79	6														
		18		1-38x52-1 Підшипники ГОСТ 8338-75	2														
		19		308 Шайби ГОСТ 6402-70	2														
		20		6 65Г 029	12														
		21		8 65Г 029	14														
		22		10 65Г 029 Шпонки ГОСТ 23360-78	6														
		23		10 x 8 x 40	2														
		24		16 x 10 x 8	1														
												08-62.МКР.06.02.000					Лист		
																	2		
												Копировал					Формат А4		

Додаток Г  
(Обов'язковий)

## **ІЛЮСТРАТИВНА ЧАСТИНА**

**МОДЕРНІЗАЦІЯ ОБЛАДНАННЯ ТЕХНОЛОГІЧНОЇ ЛІНІЇ ПОДРІБНЕННЯ  
ДЕРЕВНИХ ВІДХОДІВ**

# Аналіз існуючих технологій та конструкцій



Рисунок 1 Дробарка WEIMA WL 6 S

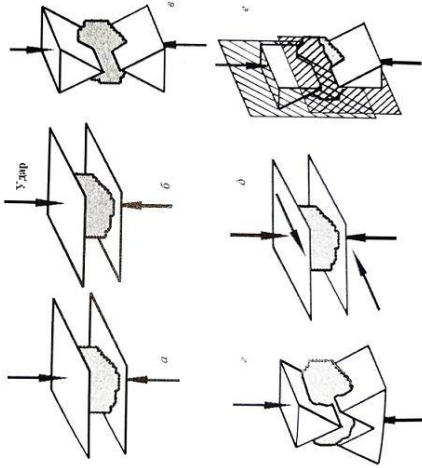


Рисунок 2 Основні способи подрібнення матеріалу

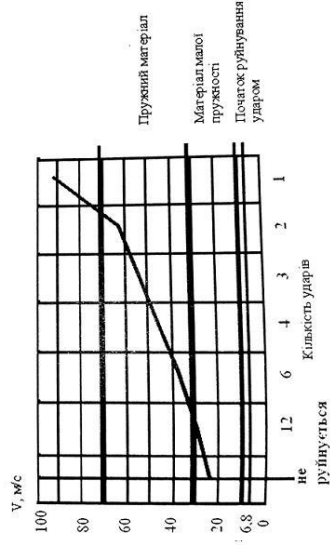


Рисунок 3 Критичні швидкості початку подрібнення для різних матеріалів

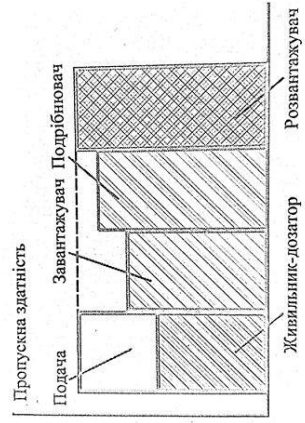


Рисунок 4 Пропускна здатність технологічних ланок дробарки

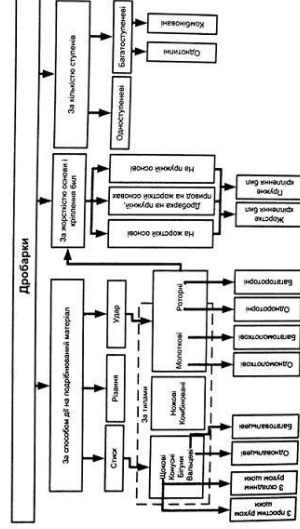


Рисунок 5 Класифікація подрібнювальних машин

# Аналіз існуючих технологій та конструкцій (продовження)



Рисунок 7 Прес з круглою а) та плоскою б) матрицею для виготовлення пелет

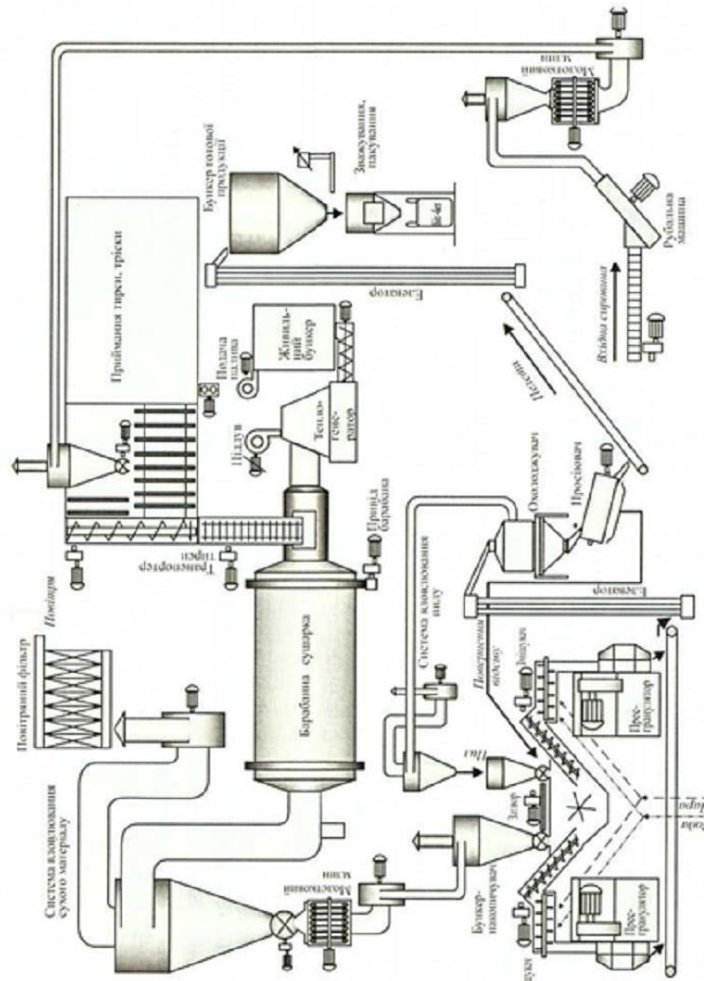


Рисунок 6 Схема виробництва деревних пелет на  
ТОВ «МТС АГРОМАШ»

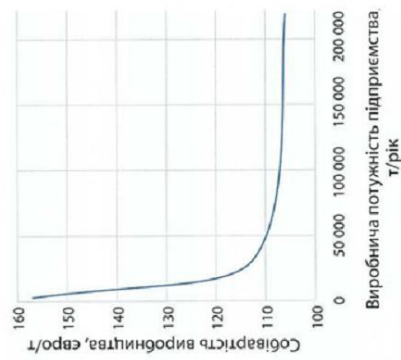


Рисунок 8 Залежність собівартості продукції від виробничої потужності



# Аналіз існуючих технологій та конструкцій (продовження)

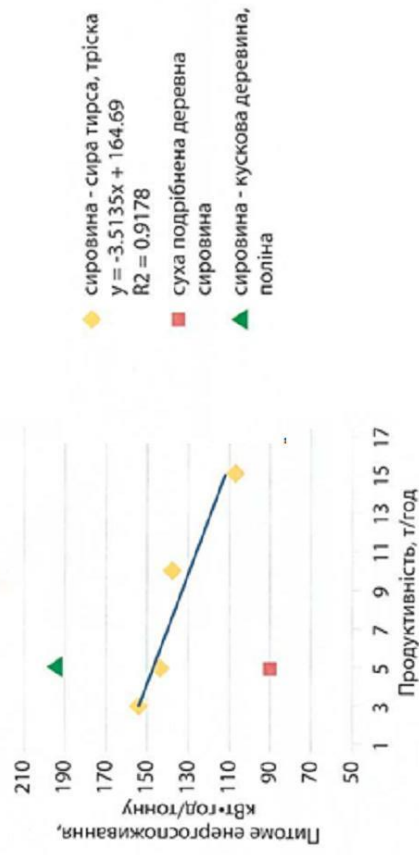
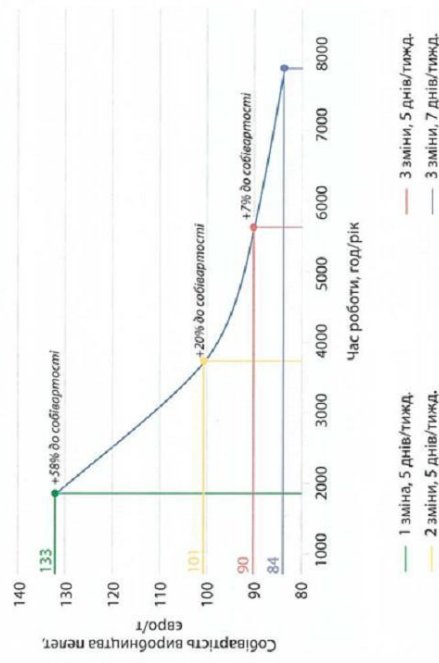


Рисунок 9 Залежність собівартості продукції від завантаженості виробництва

Рисунок 10 Питоме електропоживання залежно від масштабу виробництва

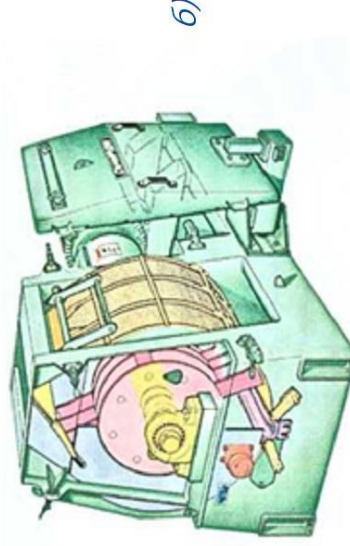
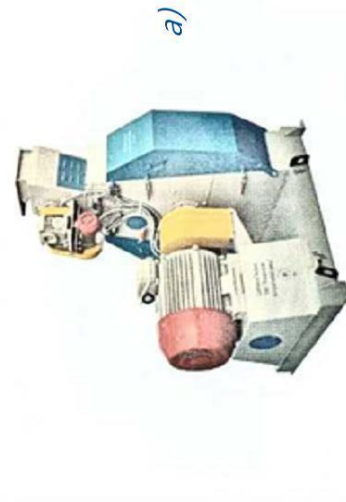


Рисунок 11 Молоткові дробарки: а) типу ДМ-2Р продуктивністю до 10 т/год; б) типу Champion (СРМ)

# Аналіз існуючих конструкцій подрібнювачів

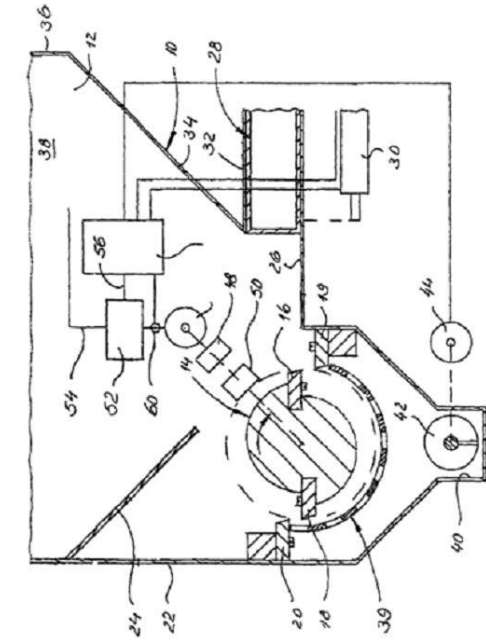


Рисунок 1 Подрібнювач для подрібнення відходів  
(Patent No.: US 7,575,186 B2, Int. Cl. B2C 8/24, Aug. 18, 2009)

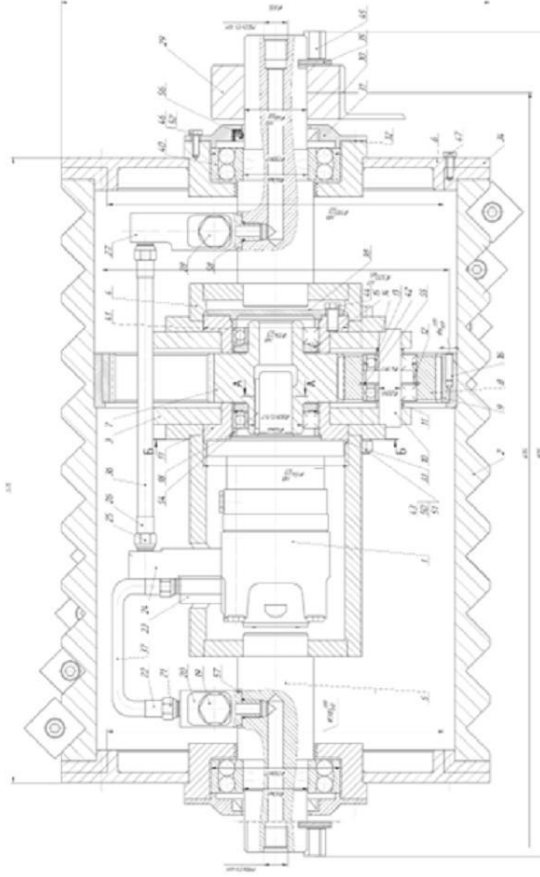


Рисунок 2 Подрібнювач базова модель  
(Патент України на корисну модель  
140258, м. кл. B02C 17/003.)

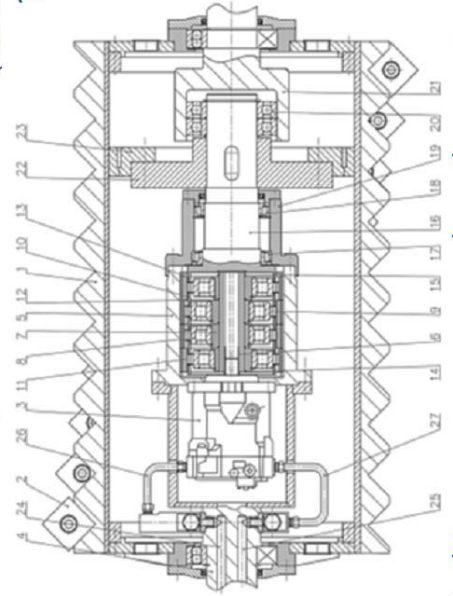
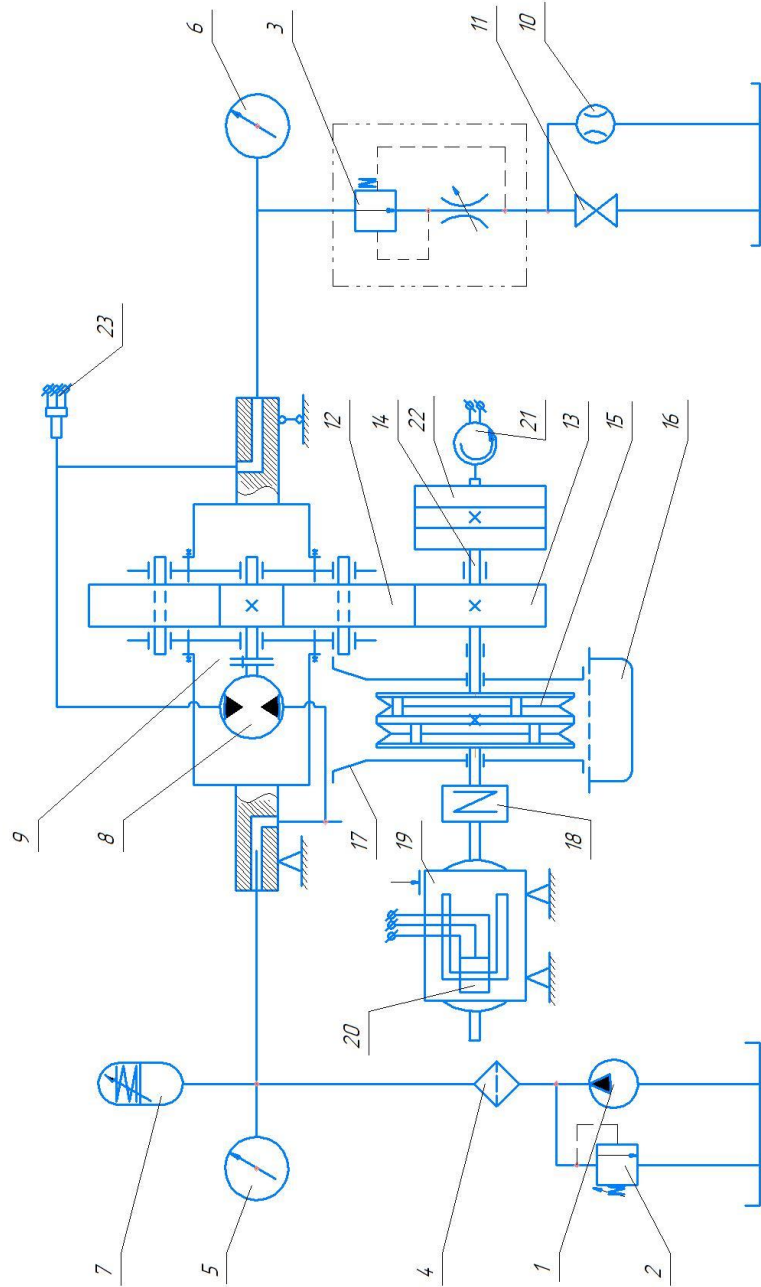


Рисунок 3 Подрібнювач деревних відходів конструкції кафедри ГМ ВНТУ

Гідрокінематична схема експериментального стенда



Номер позиції	Найменування
1	Насос
2	Запобіжний клапан
3	Регулятор потоку
4	Фільтр високого тиску
5, 6	Манометри
7	Пружинний гідроккумулятор
8	Гідромотор
9	Привідний пристрій
10	Витратомір
11	Кран
12	Проміжна шестерня
13	Зубчасте колесо
14	Проміжний вал
15	Різальний доробок
16	Щепотримувач
17	Карпус доробка
18	Муфта
19	Порошкове гальмо
20	Датчик
21	Тахометричний датчик
22	Навантажувальний пристрій
23	Датчик тиску

Додаток Д  
(Обов'язковий)

**ПРОТОКОЛ  
ПЕРЕВІРКИ КВАЛІФІКАЦІЙНОЇ РОБОТИ  
НА НАЯВНІСТЬ ТЕКСТОВИХ ЗАПОЗИЧЕНЬ**

**МОДЕРНІЗАЦІЯ ОБЛАДНАННЯ ТЕХНОЛОГІЧНОЇ ЛІНІЇ ПОДРІБНЕННЯ  
ДЕРЕВНИХ ВІДХОДІВ**

ПРОТОКОЛ  
ПЕРЕВІРКИ КВАЛІФІКАЦІЙНОЇ РОБОТИ  
НА НАЯВНІСТЬ ТЕКСТОВИХ ЗАПОЗИЧЕНЬ

Назва роботи: «Модернізація обладнання технологічної лінії подрібнення деревних відходів»

Тип роботи: магістерська кваліфікаційна робота  
(ВДР, МКР)

Підрозділ Кафедра «Гатусевого машинобудування», ФМТ.  
(кафедра, факультет)

**Показники звіту подібності Unicheck**

Оригінальність 87,1% Схожість 12,9%

Аналіз звіту подібності (відмітити потрібне):

✓ 1. Запозичення, виявлені у роботі, оформлені коректно і не містять ознак плагіату.

2. Виявлені у роботі запозичення не мають ознак плагіату, але їх надмірна кількість викликає сумніви щодо цінності роботи і відсутності самостійності її автора. Роботу направити на доопрацювання.

3. Виявлені у роботі запозичення с недобросовісними і мають ознаки плагіату та/або в ній містяться навмисні спотворення тексту, що вказують на спроби приховування недобросовісних запозичень.

Особа, відповідальна за перевірку \_\_\_\_\_ Шенфельд В. Й.  
(підпис) (прізвище, ініціали)

Ознайомлені з повним звітом подібності, який був згенерований системою Unicheck щодо роботи.

Автор роботи \_\_\_\_\_ Коробка В. О.  
(підпис) (прізвище, ініціали)

Керівник роботи \_\_\_\_\_ Поліщук Л. К.  
(підпис) (прізвище, ініціали)