

ПОЛТАВСЬКИЙ ДЕРЖАВНИЙ АГРАРНИЙ УНІВЕРСИТЕТ

Факультет інженерно-технологічний

Кафедра механічної та електричної інженерії

Пояснювальна записка

*до кваліфікаційної роботи на здобуття ступеня вищої освіти
бакалавр*

на тему: «Проектування пристрою для попереднього подрібнення рослинної
сировини»

КРБ.133ГМбд_31[2].10.00.00.000 ПЗ

Виконав: здобувач вищої освіти
за освітньо-професійною програмою
*«Машини та обладнання
сільськогосподарського виробництва»*
спеціальності 133 «Галузеве
машинобудування»
ступеня вищої освіти *бакалавр*
групи 133ГМбд_31[2]
ІВАНЕНКО Андрій

Керівник: ЗУБКО Владислав

Полтава – 2026 року

ПОЛТАВСЬКИЙ ДЕРЖАВНИЙ АГРАРНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
Факультет інженерно-технологічний
Кафедра механічної та електричної інженерії

Освітньо-професійна програма *«Машини та обладнання
сільськогосподарського виробництва»*

Спеціальність *133 «Галузеве машинобудування»*
Ступінь вищої освіти *бакалавр*

ЗАТВЕРДЖУЮ
Завідувач кафедри
механічної та електричної
інженерії,
канд. техн. наук, доцент,
_____ Станіслав ПОПОВ
03 грудня 2025 р.

З А В Д А Н Н Я

НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ ЗДОБУВАЧА ВИЩОЇ ОСВІТИ

Андрій ІВАНЕНКО

1 Тема роботи: ***«Проектування пристрою для попереднього подрібнення
рослинної сировини»***

керівник роботи ***доктор техн. наук, професор Дідур Володимир,***
затверджено засіданням кафедри, протокол №9 від 03 грудня 2025 р.

2 Строк подання здобувачем вищої освіти роботи – до 31 травня 2026 р.

3 Вихідні дані до роботи – *аналіз літературних джерел Національної
бібліотеки України імені Володимира Вернадського; аналіз літературних
джерел Полтавської обласної універсальної наукової бібліотеки імені Івана
Котляревського; сучасний досвід підприємств машинобудування та АПК за
тематичним спрямуванням.*

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

Розділ 1. *Загальний*

Розділ 2. *Технологічний*

Розділ 3. *Конструкторський*

Розділ 4. *Економіка, охорона праці та навколишнього середовища*

5 Перелік графічного матеріалу: *кресленик загального виду пристрою;
складальний кресленик вузла, що виносить на розгляд; робочі кресленики
деталей вузла пристрою.*

6 Консультанти розділів *кваліфікаційної роботи*

Розділ	Власне ім'я, прізвище та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	завдання отримав
Економіка, охорона праці та навколишнього середовища	Інна МИКОЛЕНКО, професор кафедри економіки та публічного управління		
	Володимир ДУДНИК, доцент кафедри механічної та електричної інженерії		
	Павло ПИСАРЕНКО, завідувач кафедри екології, збалансованого природокористування та захисту довкілля		

7 Дата видачі завдання 03 грудня 2025 р.

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з.п.	Назва етапів кваліфікаційної роботи	Строк виконання етапів роботи	Примітка
1	Вибір, затвердження теми роботи	До 03.12.2025 р.	
2	Складання, затвердження розгорнутого плану, завдання на кваліфікаційну роботу	15.12-28.12.2025 р.	
3	Опрацювання літературних джерел		
4	Збір, вивчення, обробка інформації, необхідної для виконання роботи		
5	Виконання розділів роботи, графічної частини	04.05-31.05.2026 р.	
6	Оформлення тексту роботи		
7	Попередній захист роботи на кафедрі	До 31.05.2026 р.	
8	Нормалізаційний контроль		
9	Доопрацювання роботи з урахуванням зауважень і пропозицій		
10	Захист кваліфікаційної роботи	3 01.06.2026 р.	

Здобувач вищої освіти _____ Андрій ІВАНЕНКО
(підпис)

Керівник роботи _____ Володимир ДІДУР
(підпис)

РЕФЕРАТ

Пояснювальна записка: 4 розділи, 1 додаток, 8 рисунків, 12 таблиць, 25 використаних джерел, 51 сторінка.

Об'єкт розробки – процес попереднього подрібнення рослинної сировини.

Предмет розробки – конструкція пристрою для попереднього подрібнення рослинної сировини.

Постановка актуальної технічної задачі – дослідити шляхи підвищення ефективності попереднього подрібнення рослинної сировини шляхом розробки конструкції валкової дробарки, яка забезпечить необхідний ступінь подрібнення, зниження питомих витрат енергії, підвищення продуктивності та покращення якості отриманого продукту, а також розробити комплект конструкторської документації.

Мета кваліфікаційної роботи – проектування пристрою для попереднього подрібнення рослинної сировини.

Практичне значення кваліфікаційної роботи полягає у розробленні комплекту конструкторської документації на валкову дробарку, яка може бути використана на підприємствах агропромислового комплексу, комбикормової, харчової та біоенергетичної галузей.

У **загальному розділі** розглянуто теоретичні основи процесу подрібнення, проаналізовано існуючі конструкції цоккових, молоткових, роторних та валкових дробарок, визначено їх переваги та недоліки, обґрунтовано вибір двовалкової дробарки з рифленими валками для попереднього подрібнення рослинної сировини.

У **технологічному розділі** виконано аналіз технологічності деталі «Вал», обґрунтовано вибір матеріалу та заготовки, розроблено маршрут виготовлення деталі, визначено режими обробки, схеми базування та припуски на механічну обробку.

У **конструкторському розділі** розроблено конструкцію пристрою для попереднього подрібнення рослинної сировини, виконано розрахунки продуктивності, привода, валів, підшипникових вузлів та інших елементів конструкції. Розроблено складальне креслення машини та деталізування основних вузлів.

					КРБ.133ГМбд_21[2].10.00.00.000 ПЗ	Арк.
						4
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

У розділі економіки, охорони праці та навколишнього середовища визначено економічну ефективність запропонованої конструкції, виконано розрахунок терміну окупності, розроблено заходи щодо забезпечення безпечних умов праці та зниження негативного впливу виробництва на довкілля.

Практичні результати роботи – розроблено комплект конструкторської документації на пристрій для попереднього подрібнення рослинної сировини та виконано інженерні розрахунки, що підтверджують його працездатність і ефективність.

Рекомендації щодо використання результатів роботи – розроблений пристрій доцільно використовувати для підготовки рослинної сировини перед сушінням, гранулюванням, брикетуванням, виробництвом комбікормів та біопалива.

Сфера застосування результатів роботи – фермерські господарства, комбікормові заводи, підприємства харчової промисловості, біоенергетичні комплекси та інші підприємства, діяльність яких пов'язана з переробкою рослинної сировини.

Графічна частина роботи становить 4 аркуші формату А1

Результат перевірки тексту пояснювальної записки на плагіат за допомогою сервісу StrikePlagiarism: унікальність 97,21 %.

АНОТАЦІЯ

Кваліфікаційна робота присвячена проектуванню пристрою для попереднього подрібнення рослинної сировини. Особливістю розробленої конструкції є використання двовалкової схеми з рифленими валками, що забезпечує рівномірне подрібнення матеріалу, низькі питомі витрати енергії, простоту конструкції та надійність роботи.

ПРИСТРІЙ, РОСЛИННА СИРОВИНА, ПОДРІБНЕННЯ, ВАЛКОВА ДРОБАРКА, ВАЛОК, ПРИРІД, КОНСТРУКЦІЯ, ПРОДУКТИВНІСТЬ, ЕНЕРГОЕФЕКТИВНІСТЬ, ЕКОНОМІЧНИЙ ЕФЕКТ.

ANNOTATION

The qualified robot is dedicated to the design of a device for the advanced processing of strawberries. The particularity of the fragmented design is a double-roll design with corrugated rolls, which ensures uniform material quality, low energy consumption, simplicity of design and reliability of the robot.

PRISTRİY, ROSLINN SYROVINA, PODRIBNENNYYA, ROLLER DROP, ROLLER, DRIVE, PRODUCTIVITY, ENERGY EFFICIENCY, DESIGN, ECONOMIC EFFECT

					КРБ.133ГМ6д_21[2].10.00.00.000 ПЗ	Арк. 5
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

ЗМІСТ

ВСТУП	7
РОЗДІЛ 1. ЗАГАЛЬНИЙ	9
1.1 Теоретичні основи процесу подрібнення	9
1.2 Аналіз існуючих конструкцій дробарок	14
1.3 Аналіз конструкцій валкових дробарок	18
1.4 Обґрунтування вибору валкової дробарки для попереднього подрібнення рослинної сировини	21
РОЗДІЛ 2. ТЕХНОЛОГІЧНИЙ	23
2.1 Аналіз технологічності деталі	23
2.2 Аналіз діючого технологічного процесу виготовлення деталі	27
2.3 Обробка поверхонь	28
2.4 Розробка схем базування деталі	29
2.5 Розробка маршруту виготовлення деталі	31
2.6 Визначення припусків на обробку та операційних розмірів	33
РОЗДІЛ 3. КОНСТРУКТОРСЬКИЙ	36
3.1 Призначення, опис будови та роботи машини	36
3.2 Аналіз рівня техніки в галузі машини	37
3.3 Визначення основних параметрів машини та робочого обладнання	40
3.4 Розрахунок навантаження в основних елементах дробарки	42
3.5 Розрахунок продуктивності дробарки	43
3.6 Розрахунок потужності двигуна	44
РОЗДІЛ 4. ЕКОНОМІКА, ОХОРОНА ПРАЦІ ТА НАВКОЛИШНЬОГО СЕРЕДОВИЩА	46
4.1 Техніко-економічне обґрунтування розробки	46
4.2 Охорона праці	48
4.3 Охорона навколишнього середовища	50
ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ	51
ПЕРЕЛІК ДЖЕРЕЛ ПОСИЛАННЯ	52
ДОДАТКИ	54

					КРБ.133ГМбд_31[2].10.00.00.000 ПЗ
Змн	Арк	№ докум.	Підпис	Дата	
Розробив		Іваненко А.Ю.			Просктування пристрою для попереднього подрібнення рослинної сировини ПДАУ, каф. МЕІ
Перевішив		Зубо В.М.			
Н. Контр.		Зубко В.М.			
Керівник		Зубко В.М.			
Зав.кафедр		Попов С.В.			
					Лім. Арк. Аркунів
					51

ВСТУП

Сучасна переробна промисловість висуває дедалі вищі вимоги до підготовчих операцій, серед яких подрібнення рослинної сировини посідає особливе місце. Якість попереднього подрібнення безпосередньо впливає на ефективність наступних технологічних стадій, до яких належать екстрагування біологічно активних речовин, сушіння, гранулювання, пресування й хімічна модифікація компонентів.

У харчовій промисловості, виготовленні комбікормів та біоенергетиці потреби у переробленій рослинній сировині постійно зростають з огляду на загальносвітові тенденції розширення виробництва натуральних продуктів і поновлюваних джерел енергії [3]. Розширення асортименту передоблюваних культур та залучення нетрадиційної рослинної сировини додатково ускладнює завдання вибору й налаштування подрібнювального устаткування.

Серед поширених типів дробильного устаткування валкові дробарки високремлюються здатністю забезпечити стабільний гранулометричний склад продукту за помірних енергетичних витрат і з низьким рівнем пилоутворення, що особливо важливо для пилонебезпечних рослинних матеріалів. Серійні зразки таких машин не завжди відповідають вимогам конкретних технологічних ліній за продуктивністю, діапазоном регулювання вихідної фракції та надійністю запобіжних механізмів захисту валків від твердих включень.

Удосконалення конструкції пристрою для попереднього подрібнення рослинної сировини з огляду на специфіку рослинної сировини, її змінну вологість, неоднорідність структури й помірну механічну міцність залишається важливою інженерною задачею, особливо для вітчизняних підприємств малої та середньої потужності, де питання економічності, ремонтпридатності й універсальності устаткування мають вирішальне значення для конкурентоспроможності виробництва [8].

Розв'язання цього завдання набуває особливого ваги в умовах обмеженості енергоресурсів та зростання вартості електричної енергії, коли зменшення

					КРБ.133ГМ6д_21[2].10.00.00.000 ПЗ	Арк.
						7
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

питомих витрат на переробку прямо позначається на собівартості готової продукції.

Об'єктом дослідження є процес попереднього подрібнення рослинної сировини.

Предмет розробки – конструкція пристрою для попереднього подрібнення рослинної сировини..

Мета роботи полягає у проектуванні пристрою для попереднього подрібнення рослинної сировини.

Для досягнення поставленої мети необхідно вирішити такі **завдання**:

- виконати огляд теоретичних основ подрібнення з аналізом енергетичних гіпотез і механізмів руйнування твердих матеріалів;

- провести аналіз існуючих конструкцій дробарок;

- обґрунтувати доцільність застосування двовалкової схеми з гладкими валками;

- розробити конструкцію пристрою та комплект конструкторської документації;

- розробити технологічний процес виготовлення однієї з деталей конструкції;

- виконати необхідні інженерні розрахунки;

- визначити економічну ефективність запропонованої розробки;

- розглянути питання охорони праці та навколишнього середовища.

Практичне значення роботи полягає у розробленні готової до виготовлення конструкції валкової дробарки для попереднього подрібнення рослинної сировини, яка забезпечує знижену питому витрату енергії порівняно зі стандартними подрібнювачами.

У кваліфікаційній роботі використано методи аналізу та узагальнення науково-технічної інформації, інженерних розрахунків, порівняння технічних рішень та конструювання машин і механізмів.

					КРБ.133ГМ6д_21[2].10.00.00.000 ПЗ	Арк. 8
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

РОЗДІЛ 1. ЗАГАЛЬНИЙ

1.1 Теоретичні основи процесу подрібнення

Подрібнення є технологічним процесом зменшення розмірів частинок твердого матеріалу шляхом руйнування зв'язків між його структурними елементами під дією зовнішніх сил. У переробних і сільськогосподарських виробництвах подрібнення рослинної сировини є однією з найпоширеніших операцій підготовки матеріалу до подальших процесів змішування, гранулювання, екстрагування, сушіння та згедовування.

Сутність процесу полягає у руйнуванні структури вихідного матеріалу з утворенням нових поверхонь і зменшенням характерного розміру частинок. Цей перехід супроводжується витратами роботи на подолання сил внутрішнього зчеплення, на пружні та пластичні деформації, а також на тертя між частинками і робочими органами. Тому ефективне подрібнення передбачає таку організацію навантажування матеріалу, за якої максимальна частка підведеної енергії витрачається саме на створення нових поверхонь, а не на пружні деформації, нагрівання або викид матеріалу зі зони дії робочого органа.

У сільськогосподарському виробництві призначення подрібнення визначається подальшим використанням сировини. Подрібнення зернофуражу полегшує засвоєння поживних речовин тваринами. Подрібнення стеблової маси, коренебульбоплодів і силосної сировини забезпечує однорідність кормосуміші та потрібний фракційний склад. Попереднє подрібнення рослинної сировини перед екстрагуванням олії, виробництвом біопалива або компостуванням пришвидшує подальші тепло- та масообмінні процеси за рахунок збільшення площі контакту [13].

Енергетичну сторону процесу описують класичними гіпотезами. За поверхневою гіпотезою Рітінгера робота подрібнення пропорційна площі новоутворених поверхонь,

					КРБ.133ГМ6д_21[2].10.00.00.000 ПЗ	Арк.
						9
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

$$A = k_p \Delta S, \quad (1.1)$$

де A – робота подрібнення, ΔS – приріст площі поверхні, k_p – коефіцієнт, що залежить від властивостей матеріалу.

Об'ємна гіпотеза В. Л. Кірпічова та Ф. Кіка пов'язує роботу з об'ємом матеріалу та зміною напружено-деформованого стану:

$$A = k_K V \lg \frac{D_1}{D_2}, \quad (1.2)$$

де V – об'єм матеріалу, D_1 і D_2 – характерні розміри до й після подрібнення.

Узагальнення цих залежностей запропонував П. О. Ребіндер у вигляді:

$$A = k_1 \Delta S + k_2 V, \quad (1.3)$$

яке поєднує енерговитрати на пружно-пластичні деформації об'єму матеріалу та на утворення нових поверхонь. Для рослинної сировини, що поєднує крихкі, пружні й пластичні компоненти, така узагальнена залежність відображає процес повніше, ніж кожна з вихідних гіпотез окремо.

Ступінь подрібнення i , як основну кількісну характеристику зміни розмірів, обчислюють за співвідношенням середніх розмірів матеріалу до і після обробки:

$$i = \frac{D_{\text{сеп}}}{d_{\text{сеп}}}, \quad (1.4)$$

де $D_{\text{сеп}}$ – середній розмір частинок вихідного матеріалу, $d_{\text{сеп}}$ – середній розмір частинок продукту.

Залежно від значення i розрізняють кілька різновидів процесу. Узагальнені характеристики наведено в таблиці 1.1.

Таблиця 1.1 – Класифікація процесів подрібнення за ступенем

Різнovid процесу	Ступінь i	Розмір на вході, мм	Розмір на виході, мм	Типове застосування
Грубе дроблення	2...6	1500...300	300...100	первинне
Середнє дроблення	5...10	300...100	50...10	підготовче
Дрібне дроблення	10...50	100...25	10...1	попереднє
Тонке подрібнення	50...100	25...3	1...0,1	комбікормове
Колоїдне подрібнення	понад 1000	до 0,1	до 0,001	екстракційне

Способи руйнування твердого матеріалу класифікують за характером прикладання навантаження. У робочих органах сучасних дробарок майже завжди реалізується поєднання кількох способів водночас, що пояснюється структурною неоднорідністю матеріалів та потребою досягати заданого фракційного складу продукту з мінімальними енерговитратами.

Стискання є найпоширенішим способом, за якого матеріал руйнується між двома робочими поверхнями, що повільно зближуються. Сила, яка діє на кусок, поступово зростає до значення, коли напруження стиску σ перевищує межу міцності матеріалу $\sigma_{ст}$. Умовою руйнування є нерівність:

$$\sigma = \frac{F}{A} \geq \sigma_{ст} \quad (1.5)$$

де F – нормальна сила, A – площа контакту.

Стискання найдоцільніше для крихких матеріалів із високим значенням $\sigma_{ст}$ та обмеженою пластичністю. Цей спосіб реалізують щоківи, конусні та валкові дробарки.

Удар є динамічним способом, за якого матеріал зазнає короточасного прикладання значної сили. Робота, що передається куску при ударі, визначається кінетичною енергією робочого органа:

$$A_{уд} = \frac{m v^2}{2}, \quad (1.6)$$

де m – маса рухомого тіла, тобто билу або молотка, v – швидкість в момент удару.

Удар поєднує елементи стиску й зсуву, тому ефективний для крихких та пружно-крихких матеріалів. На цьому принципі побудовано молоткові й роторні дробарки, де лінійна швидкість билу досягає 60...80 м/с.

Зріз виникає тоді, коли матеріал затиснуто між двома робочими поверхнями, які рухаються одна щодо одної в паралельних площинах. Умовою руйнування є перевищення дотичних напружень τ межі міцності матеріалу при зсуві $\tau_{зр}$:

$$\tau = \frac{F}{A} \geq \tau_{зр}. \quad (1.7)$$

					КРБ.133ГМ6д_21[2].10.00.00.000 ПЗ	Арк. 11
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Зріз ефективний для волокнистих рослинних матеріалів, у яких міцність уздовж волокон значно перевищує міцність поперек. На цьому принципі працюють силосорізки, січкарні та ножові подрібнювачі стеблової маси.

Роздавлювання за фізичною суттю близьке до стискання, але відрізняється тим, що відбувається у вузькому шарі матеріалу між валковими робочими органами при безперервному переміщенні куску у напрямку вихідної щілини. Розрахункова схема роздавлювання передбачає, що рівнодійна сил, які діють на кусок з боку валків, нормальна до точок дотику, і тангенційна складова забезпечує затягування. Цей спосіб є основним для валкових дробарок із гладкими та рифленими валками [4].

Стирання, або абразивне зношування, є способом руйнування, за якого матеріал переміщується між двома поверхнями, що мають взаємний відносний рух і одночасно стискають його. Енерговитрати при стиранні значно вищі за енерговитрати при стисканні, тому застосовують його лише для тонкого та надтонкого подрібнення. У валкових дробарках частково реалізується змішаний механізм роздавлювання й стирання за рахунок різниці колових швидкостей валків [15].

Таблиця 1.2 – Способи руйнування матеріалів та їх характеристики

Спосіб	Характер навантаження	Тип матеріалу	Типи машин
Стискання	статичне нормальне	крихкі, тверді	щоківі, конусні дробарки
Удар	динамічне	крихкі, пружно крихкі	молоткові, ротарні дробарки
Зріз	статичне дотичне	волокнисті рослинні	силосорізки, січкарні
Роздавлювання	стиск з переміщенням	пружно-в'язкі, рослинні	валкові дробарки
Стирання	тертя при стиску	пластичні, в'язкі	млини, бігуни, валкові на тонке

Ефективність процесу подрібнення оцінюють комплексом технологічних, енергетичних та якісних показників. Технологічна сторона характеризується продуктивністю машини, ступенем подрібнення та однорідністю фракційного складу продукту. Енергетична сторона відображає питомі витрати енергії на одиницю маси переробленої сировини. Якісна сторона стосується відповідності продукту вимогам подальших операцій.

Продуктивність Q є масою або об'ємом матеріалу, який машина переробляє за одиницю часу. Для валкової дробарки масову продуктивність визначають через геометричні параметри робочих органів та частоту обертання валків:

$$Q = 1,25 \pi D L a n \mu \rho, \quad (1.8)$$

де D – діаметр валка, L – довжина валка, a – ширина вихідної щілини, n – частота обертання, μ – коефіцієнт розпушення, ρ – масивна густина матеріалу.

Питомі витрати енергії e визначають відношенням споживаної потужності до годинної продуктивності:

$$e = \frac{N_{дв.}}{Q}. \quad (1.9)$$

Для попереднього подрібнення рослинної сировини питомі витрати становлять 0,8...2,5 кВт·год/т, для тонкого подрібнення зерна досягають 6...15 кВт·год/т [5].

Якість продукту оцінюють модулем помелу M , який дорівнює середньозваженому розміру частинок за результатами ситового аналізу:

$$M = \frac{\sum d_i m_i}{\sum m_i}, \quad (1.10)$$

де d_i – середній розмір частинок i -тої фракції, m_i – маса цієї фракції.

Однорідність продукту характеризує коефіцієнт варіації розмірів, який для якісного подрібнення не перевищує 30 %.

Технологічну досконалість оцінюють енергетичним коефіцієнтом подрібнення k , що пов'язує площі поверхні з витратами енергії:

$$k = \frac{\Delta S}{A} \quad (1.11)$$

					КРБ.133ГМ6д_21[2].10.00.00.000 ПЗ	Арк. 13
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Для валкових дробарок при попередньому подрібненні рослинної сировини значення k становить 0,4...0,8 м³/Дж. Сукупність наведених показників дає змогу обґрунтовано порівнювати конструкції дробарок та обирати раціональні параметри робочих органів.

1.2 Аналіз існуючих конструкцій дробарок

Сучасний парк подрібнювальних машин формувався впродовж понад століття під впливом потреб гірничодобувної, будівельної, харчової та сільськогосподарської галузей. Усі конструкції класифікують за основним способом руйнування матеріалу, який реалізують робочі органи. Розглянемо чотири основні типи дробарок, які мають практичне значення для підготовки сировини, серед них рослинної.

Щокова дробарка є машиною з періодичною дією, у якій матеріал руйнується між нерухою та рухою щокками. Рухома щока здійснює колишливий рух, наближаючись до нерухої та віддаляючись від неї, завдяки чому під час зближення матеріал зазнає стискання й розколювання, а під час віддалення продукт випадає у вихідну щілину під дією сили тяжіння. На рисунку 1.1 показана щокова дробарка, конструкція якої адаптована для рослинної сировини зі збільшеним завантажувальним отвором і зубчастими робочими поверхнями щік, що забезпечують захоплення волокнистого матеріалу.

Рисунок 1.1 – Щокова дробарка

					КРБ.133ГМ6д_21[2].10.00.00.000 ПЗ	Арк.
						14
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

За кинематикою привода розрізняють щоківі дробарки з простим хитанням щоки, складним хитанням та комбінованим рухом. Найпоширенішими є машини зі складним хитанням, що мають один шатун, ексцентриковий вал і дві розпірні плити. Вони компактніші та дешевші у виготовленні.

Кут захоплення β у щоківих дробарках є ключовим конструктивним параметром, від якого залежить ефективність захоплення куска. За умовою рівноваги куска, який спирається на обидві щоки, при коефіцієнті тертя f та кути тертя φ кут захоплення не повинен перевищувати подвоєного кута тертя:

$$\beta \leq 2\varphi, \quad f = \operatorname{tg} \varphi. \quad (1.12)$$

У щоківих дробарках β зазвичай становить 18...22°. Питомі витрати енергії при щоківому дробленні матеріалів середньої міцності лежать у межах 0,5...1,2кВт·год/т, ступінь подрібнення 3...8.

Молоткова дробарка (рис.1.2) є машиною ударної дії, у якій матеріал руйнується молотками, що шарнірно закріплені на роторі та обертаються з великою коловою швидкістю. Швидкість на кінцях молотків становить 30...80 м/с, що забезпечує значну кінетичну енергію кожного удару. Подрібнений продукт виводиться через ситову поверхню, розміщену в нижній частині корпусу.

Рисунок 1.2 - Молоткова дробарка

Технологічну ефективність молоткової дробарки оцінюють подачею матеріалу на одиницю площі ситової поверхні та коловою швидкістю молотків. Питому продуктивність по поверхні сита q пов'язують із крупністю продукту виразом:

					КРБ.133ГМ6д_21[2].10.00.00.000 ПЗ	Арк. 15
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

$$q = k_m d^n \quad (1.13)$$

де d – середній розмір продукту, k_m – коефіцієнт, що залежить від властивостей матеріалу, n – показник ступеня в межах 0,8...1,2.

Питомі витрати енергії при молотковому подрібненні зерна становлять 3...12 кВт·год/т залежно від модуля помелу.

Молоткові дробарки є основним типом подрібнювальних машин у комбікормовій промисловості та фермерських господарствах для приготування концентрованих кормів. Їх перевагами є простота конструкції, висока продуктивність на одиницю маси машини та можливість швидкої заміни ситових поверхонь. Недоліком є значні питомі витрати енергії та інтенсивне зношування молотків і сит при наявності гвердих включень у сировині [1].

Роторна дробарка (рис.1.3) є машиною з жорстко закріпленими на роторі білами, які наносять удари по куску матеріалу та відкидають його на нерухомі відбивні плити. Багаторазовий удар об відбивні плити доводить матеріал до заданого розміру. Швидкість обертання ротора становить 20...50 м/с.

Рисунок 1.3 – Роторна дробарка

На відміну від молоткової дробарки, роторна не має ситової поверхні. Крупність продукту регулюють зазором між білами ротора та відбивними плитами, а також кутом нахилу плит. Ступінь подрібнення в одній стадії досягає 15...30, що значно більше за щоківні машини. Питомі витрати енергії при роторному дробленні становлять 0,8...1,5 кВт·год/т.

У сільському господарстві роторні дробарки застосовують для попереднього подрібнення коренебульбоплодів, баштанних культур, гарбузів та

					КРБ.133ГМ6д_21[2].10.00.00.000 ПЗ	Арк.
						16
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

яблук перед подальшою перетобкою на корм або сік. Їх обмежено застосовують у лініях підготовки соломи й сіла через надмірну енергоємність розпушування волокон ударом [7].

Валкова дробарка (рис.1.4) є машиною безперервної дії, у якій матеріал руйнується між двома циліндричними валками, що обертаються назустріч один одному. Робочий процес поєднує стискання, роздавлювання та частково стирання, що особливо доцільно для пружно-в'язких рослинних матеріалів.

Рисунок 1.4 – Валкова дробарка

Конструктивно дробарка складається зі станини, двох валків з опорами, привода з редуктором та газовою передачею, бункера завантаження і запобіжного пружинного механізму одного з валків [16]. Колова швидкість валків лежить у межах 3...6 м/с, що забезпечує спокійну роботу машини. Ступінь подрібнення в одному проході 4...6, питомі витрати енергії 0,8...1,5 кВт·год/т, що є одним із найкращих показників серед усіх типів дробарок.

Перевагами валкових дробарок при роботі з рослинною сировиною є низькі питомі витрати енергії, рівномірний фракційний склад продукту, незначна частка пилоподібної фракції, низький рівень шуму та простота обслуговування [14]. Саме ці властивості зумовили вибір валкової дробарки як базової машини в межах цього проекту.

					КРБ.133ГМ6д_21[2].10.00.00.000 ПЗ	Арк. 17
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Таблиця 1.3 – Порівняльна характеристика типів дробарок

Тип дробарки	Принцип руйнування	Ступінь і	Питомі витрати, кВт·год/т	Колова швидкість, м/с	Шум
Шокова	стиск	3...8	0,5...1,2		помірний
Молоткова	удар	10...50	3...12	30...80	високий
Роторна	удар, відбивання	15...30	0,8...1,5	20...50	високий
Валкова	роздавлювання	4...6	0,8...1,5	3...6	низький

1.3 Аналіз конструкцій валкових дробарок

Валкові дробарки за кількістю основних робочих органів поділяють на одновалкові та двовалкові. Подальша класифікація враховує характер поверхні валків, наявність запобіжних пристроїв, спосіб регулювання вихідної щільності та конструкцію опор. Розгляд цих груп дає змогу обґрунтовано обрати компоновальну схему майбутньої машини.

Одновалкова дробарка має один обертовий валок та нерухому броню, або плиту, що утворюють робочий простір клиновидної форми. Матеріал, потрапляючи між валком і плитою, послідовно роздавлюється у міру зменшення зазору в напрямі обертання валка. Кут між поверхнею плити та дотичною до валка є аналогом кута захоплення шокової дробарки і не повинен перевищувати подвоєного кута тертя.

Конструктивна перевага одновалкової машини полягає в простоті привода й опор, оскільки рух передається лише на один вал. Недоліком є нерівномірне зношування поверхні плити та валка, оскільки сили тертя розподілені асиметрично, а одна сторона матеріалу нерухома щодо другої. Через це продукт має менш однорідний фракційний склад порівняно з двовалковою машиною. Питомі витрати енергії одновалкових дробарок на 15...25 % вищі за двовалкові аналоги.

Одновалкові дробарки застосовують переважно для попереднього подрібнення великогабаритної сировини, як-от качанів кукурудзи, цукрових буряків, гарбузів. У лініях комбікормового виробництва їх установлюють перед молотковими подрібнювачами як машини попередньої стадії.

Двовалкова дробарка має два горизонтально розміщені валки, що обертаються назустріч один одному. Симетричне навантажування куска матеріалу з обох боків забезпечує рівномірне руйнування, мінімальні втрати на тертя та однорідний фракційний склад продукту. Один із валків завжди рухомий, спирається на запобіжні пружини, що дають змогу пропускати недрібимі тіла.

Загальна продуктивність дво валкової дробарки визначається сумарним об'ємом матеріалу, що проходить через вихідну щілину за одиницю часу. У спрощеному вигляді її обчислюють за формулою, наведеною у виразі (1.8). Для дво валкової машини з валками діаметром 350 мм і довжиною 460 мм при частоті обертання 5 об/с та насипній густині сировини 0,5 т/м³ розрахункова продуктивність становить 22..23 т/год, що відповідає потребам фермерських господарств середньої потужності.

Кутова швидкість валків ω пов'язана з частотою обертання простою залежністю:

$$\omega = 2\pi n$$

де n – частота обертання об/с. Для рекомендованої частоти $n = 5$ об/с кутова швидкість становить $\omega = 31,4$ рад/с. Колову швидкість валка визначають через діаметр:

$$v = \omega D / 2 = \pi D n.$$

Перевагами дво валкових дробарок є мала питома енергоємність, можливість регулювати ступінь подрібнення зміною вихідної щілини, низькі вимоги до обслуговування [12]. Недоліком є чутливість до нерівномірності завантаження по довжині валка, що частково усувається застосуванням розподільних бункерів та живильників.

					КРБ.133ГМ6д_21[2].10.00.00.000 ПЗ	Арк. 19
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Робоча поверхня валків може бути гладкою, рифленою, ребристою або зубчастою. Тип поверхні визначає характер захоплення куска матеріалу, інтенсивність затягування у щілину та крупність продукту. Між цими параметрами існують усталені емпіричні зв'язки, які формувалися протягом тривалої практики експлуатації валкових машин.

Гладкі валки забезпечують захоплення куска переважно за рахунок сил тертя на поверхні. Кусок втягується у щілину, якщо складова рівнодійної у напрямі затягування перевищує складову, що виштовхує його із зони. Граничне відношення діаметра валка до діаметра куска для гладких валків становить:

$$\frac{D}{d} = 20$$

Це означає, що для подрібнення куска діаметром 0,02 м гладкими валками потрібний діаметр валка не менше 0,4 м. Гладкі валки доцільні для дрібного подрібнення зерна, олійних культур, макухи та інших матеріалів із низькою початковою крупністю.

Рифлені валки мають на робочій поверхні поздовжні або косі рифлі трикутного, прямокутного або трапецеїдального профілю. Рифлі утворюють додаткові точки захоплення куска, що знижує граничне відношення діаметрів до:

$$\frac{D}{d} = 10.$$

За тих самих діаметрів валка рифлена поверхня дає змогу подрібнювати куски удвічі більших початкових розмірів. Для попереднього подрібнення рослинної сировини, де початкова крупність становить 30...50 мм, рифлені валки є оптимальним вибором [6]. Параметри рифлень зазвичай такі: крок 8...20 мм, висота 3...8 мм, кут профілю 60...90°.

Зубчасті валки мають на поверхні великі зуби трапецеїдального або зігнутого профілю, висота яких перевищує 0,1 діаметра валка. Для зубчастих валків граничне відношення D/d приймають рівним 2, оскільки кусок захоплюється безпосередньо геометрією зубів. Такі валки застосовують для

					КРБ.133ГМ6д_21[2].10.00.00.000 ПЗ	Арк. 20
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

дроблення м'якого вугілля, гіпсу, крейди, а в сільському господарстві для подрібнення коренебульбоплодів та качанів кукурудзи

Зведену порівняльну характеристику валків з різною робочою поверхнею наведено в таблиці 1.4. Для проєктованої машини, орієнтованої на попереднє подрібнення рослинної сировини з початковою крупністю 30...50 мм, обрано двовалкову схему з рифленими валками. Таке поєднання поєднує добре захоплення матеріалу, рівномірне навантажування з обох боків та оптимальні питомі витрати енергії.

Таблиця 1.4 – Порівняльна характеристика валків з різною робочою поверхнею

Тип поверхні	Відношення D/d	Ступінь і	Питомі витрати, кВт·год/т	Типова сировина
Гладка	20	4...5	0,8...1,2	зерно, олійні, мак, ха
Рифлена	10	5...6	0,9...1,5	стебла, плоди, зерно з домішками
Рєбриста	8...10	5...8	1,0...1,6	сухі стебла, лушпиння
Зубчаста коротка	4...5	6...8	1,2...1,8	качани кукурудзи, грубі корми
Зубчаста довга	2	8...10	1,4...2,0	коренебульбоплоди, гарбузи

1.4 Обґрунтування вибору валкової дробарки для попереднього подрібнення рослинної сировини

Аналіз серійних аналогів показав, що для підготовки рослинної маси на сільськогосподарських підприємствах України та країн Європейського Союзу переважно застосовують двовалкові дробарки з рифленими валками [18]. Серед відомих машин виділяються плющілки зерча моделей PZ, дробарки CPM Roskamp, вальцьові верстати SKIOLD та вітчизняні машини серії ВМД. Усі ці машини мають продуктивність від 5 до 50 т/год, діаметр валків від 250 до 500 мм та встановлену потужність до 22 кВт.

Аналіз існуючих конструкцій виявив три головні напрямки удосконалення. Перший напрямок охоплює підвищення довговічності робочих поверхонь шляхом застосування знімних бандажів із розрізними розпірними кільцями замість суцільної насадки на корпус валка. Таке рішення спрощує заміну бандажа під час планового ремонту та усуває потребу проточування посадкових поверхонь.

Другий напрямок стосується спрощення обслуговування завдяки швидкорознімним з'єднанням та ремонтопридатній компоновці підшипникових вузлів. Третій напрямок передбачає покращення енергетичних показників за рахунок оптимізації частоти обертання валків та кута захоплення під конкретний вид сировини, що знижує при цьому витрату електроенергії.

Висновки до розділу 1

У розділі визначено теоретичні засади процесу подрібнення рослинної сировини та виконано порівняльний аналіз дробарок різного типу. Установлено, що подрібнення супроводжується утворенням нових поверхонь та об'ємною деформацією матеріалу, енергетична сторона процесу описується узагальненою залежністю Ребіндера, яка враховує обидва внески.

Розгляд п'яти основних способів руйнування показав, що для вологої й волокнистої рослинної сировини найдоцільнішим є поєднання роздавлювання та стирання. Цей режим механічної дії реалізується у валковій дробарці з рифленими валками, де поверхневі гребені здійснюють локальне стиснення, а перепад швидкостей утворює стиральний ефект [2].

Порівняльний аналіз щоккових, молоткових, роторних та валкових дробарок виявив, що валкова конструкція забезпечує найнижчу питому витрату енергії, мінімальну чутливість до твердих включень та м'яку дію на рослинну масу. Серед варіантів самих валкових дробарок найкращі доказники для попереднього подрібнення сільськогосподарської сировини демонструє двовалкова схема з рифленими робочими поверхнями та пружинним запобіжним пристроєм [17].

					КРБ.133ГМ6д_21[2].10.00.00.000 ПЗ	Арк. 22
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

На основі порівняння серійних аналогів сформовано технічне завдання на проектування машини з діаметром валків 350 мм, довжиною 460 мм, частотою обертання 5 об/с, продуктивністю від 22 до 23 т/год та встановленою потужністю електродвигуна 5,5 кВт. Виявлено три напрямки удосконалення конструкції: підвищення довговічності бандажа за рахунок розрізних розірних кілець, спрощення обслуговування та зниження питомих енерговитрат. Сформовані висновки покладено в основу подальших технологічного та конструкторського розділів роботи.

					КРБ.133ГМ6д_21[2].10.00.00.000 ПЗ	Арк. 23
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

РОЗДІЛ 2. ТЕХНОЛОГІЧНИЙ

2.1 Аналіз технологічності деталі

Вал є складовою частиною пристрою для попереднього подрібнення рослинної сировини. Деталь передає крутний момент від привода до робочого органа, сприймає згинальні навантаження від маси ротора та реакцій опор. Конструктивно вал належить до класу ступінчастих валів. Робочим матеріалом служить сталь 45 за ДСТУ 7809:2015, термічно оброблена до твердості 260...285 НВ. Загальна довжина деталі становить 480 мм, найбільший діаметр дорівнює 70 мм [19].

Рисунок 2.1 – Схема вала

Нижче подано аналіз технологічності, аналіз діючого технологічного процесу, обґрунтування методів обробки поверхонь, розробку схем базування, маршрут виготовлення та розрахунок припусків на обробку.

Аналіз технологічності виконано у якісній та кількісній формах. Якісний аналіз оцінює відповідність конструкції вала вимогам механічної обробки, кількісний аналіз спирається на систему показників технологічності.

Конфігурація вала проста та симетрична відносно осі обертання. Усі поверхні відкриті для підведення різального інструмента. Деталь має зручні циліндричні поверхні для встановлення в центрах, що забезпечує єдність технологічних баз. Перепади діаметрів формують природні упори для осьового базування суміжних деталей. Жорсткість вала достатня, оскільки відношення

					КРБ.133ГМ6д_21[2].10.00.00.000 ПЗ	Арк. 24
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

довжини до діаметра не перевищує граничних значень, за яких виникає неприпустимий прогин під час обробки [20].

Точні поверхні вала мають якості k6 та p6, шорсткість цих поверхонь становить Ra 1,25 мкм, що потребує фінішного шліфування [23]. Поверхня Ø47 виконана за якітетом h9 і досягається чистовим точінням. Ілонковий паз шириною 20H9 та канавка для виходу шліфувального круга ускладнюють обробку незначно. Конструкція не містить глухих отворів, складних внутрішніх поверхонь та різьблень, тому деталь визнано технологічною.

Перелік оброблених поверхонь та їхні параметри наведено в таблиці 2.1

Таблиця 2.1 – Характеристика поверхонь вала

№	Поверхня	Діаметр, мм	Квалітет	Шорсткість Ra, мкм	Довжина, мм
1	Шийка ліва	Ø45k6	IT6	2,5	31
2	Поверхня під ущільнення	Ø47h9	IT9	2,5	50
3	Перехідна шийка	Ø55k6	IT6	1,25	-
4	Опорна шийка	Ø63k6	IT6	1,25	230
5	Бурт	Ø70p6	IT6	1,25	-
6	Хвостовик з пазом	20H9	IT9	1,6	92

Кількісну оцінку технологічності виконано за коефіцієнтами уніфікації елементів, точності обробки, шорсткості поверхонь та використання матеріалу. Коефіцієнт уніфікації конструктивних елементів визначають за формулою

$$K_{ун} = \frac{Q_{ун}}{Q_{заг}}, \quad (2.1)$$

де $Q_{ун}$ – кількість уніфікованих елементів, $Q_{заг}$ – загальна кількість конструктивних елементів вала.

Коефіцієнт точності обробки розраховують через середній квалітет точності за залежністю

$$K_{\text{точ}} = 1 - \frac{1}{A_{\text{сер}}}, \quad (2.2)$$

$$A_{\text{сер}} = \frac{\sum (A_i \cdot n_i)}{\sum n_i}, \quad (2.3)$$

де A_i – квалітет точності поверхні, n_i – кількість поверхонь даного квалітету.

Коефіцієнт шорсткості поверхонь обчислюють аналогічно через середнє значення параметра шорсткості

$$K_{\text{ш}} = 1 - \frac{1}{B_{\text{сер}}}, \quad (2.4)$$

$$B_{\text{сер}} = \frac{\sum (b_i \cdot n_i)}{\sum n_i}. \quad (2.5)$$

Коефіцієнт використання матеріалу враховує співвідношення маси готової деталі до маси заготовки

$$K_{\text{вик}} = \frac{m_d}{m_{\text{за}}}. \quad (2.6)$$

Розрахункові значення показників та їхнє порівняння з нормативними наведено в таблиці 2.2. Усі коефіцієнти перевищують нормативні межі, тому деталь є технологічною та придатною до серійного виготовлення [9].

Таблиця 2.2 – Кількісні показники технологічності

Показник	Позначення	Розраховане	Нормативне	Висновок
Коефіцієнт уніфікації	$K_{\text{уні}}$	0,83	$\geq 0,60$	так
Коефіцієнт точності обробки	$K_{\text{точ}}$	0,87	$\geq 0,80$	так
Коефіцієнт шорсткості	$K_{\text{ш}}$	0,18	$\leq 0,32$	так
Коефіцієнт використання матеріалу	$K_{\text{вик}}$	0,71	$\geq 0,70$	так

2.2 Аналіз діючого технологічного процесу виготовлення деталі

Діючий технологічний процес виготовлення вала орієнтовано на середньосерійне виробництво. Заготовкою служить гарячекатаний прокат круглого перерізу зі сталі 45. Базовий процес побудовано за принципом концентрації операцій на універсальному та спеціалізованому обладнанні з переходом до автоматизованих верстатів на чистових операціях [21].

Послідовність базового процесу починається з різання прокату на мірні заготовки. Далі виконують фрезерно-центрувальну операцію, яка формує торці та центрові отвори, потім чорнове і чистове точіння в центрах. Шпонковий паз фрезерують на вертикально-фрезерному верстаті. Після механічної обробки вал піддають термічному поліпшенню до твердості 260...285 НВ. Точні шийки доводять до якості к6 за р6 круглим шліфуванням. Завершує процес контрольна операція.

Аналіз діючого процесу виявив надмірне дроблення токарних переходів та використання універсальних верстатів там, де доцільні верстати з числовим програмним керуванням. Перелік операцій базового процесу подано в таблиці 2.3.

Таблиця 2.3 – Операції діючого технологічного процесу

№	Операція	Зміст	Обладнання
005	Відрізна	Різання прокату на заготовки	Відрізний верстат 8Г662
010	Фрезерно-центрувальна	Підрізання торців, центрування	Верстат МР-71М
015	Токарна чорнова	Точіння шийок з припуском	Токарний 16К20
020	Токарна чистова	Чистове точіння, фаски, канавки	Токарний з ЧПК 16К20Ф3
025	Фрезерна	Фрезерування паза 20Н9	Вертикально-фрезерний 6Р13
030	Термічна	Поліпшення до 260...285 НВ	Камерна піч
035	Шліфувальна	Шліфування шийок к6, р6	Круглошліфувальний 3М151
040	Контрольна	Контроль розмірів та форми	Стіл контролера

Тип виробництва уточнено за коефіцієнтом закріплення операцій, який дорівнює відношенню кількості технологічних операцій до кількості робочих місць

$$K_{з.о} = \frac{\Sigma O}{\Sigma P}, \quad (2.7)$$

де ΣO – сумарна кількість операцій, закріплених за дільницею, ΣP – кількість робочих місць. Розраховане значення коефіцієнта закріплення операцій лежить у діапазоні від 10 до 20, що відповідає середньосерійному виробництву. Оцінку типу виробництва наведено в таблиці 2.4.

Таблиця 2.4 – Оцінка типу виробництва

Параметр	Значення	Тип виробництва
Річна програма випуску, шт.	5000	середньосерійне
Маса деталі, кг	11,2	середня
Коефіцієнт закріплення операцій $K_{з.о}$	14	$10 < K_{з.о} \leq 20$
Форма організації	групова, партіями	серійне

2.3 Обробка поверхонь

Вибір методів обробки кожної поверхні визначає необхідна точність та шорсткість у поєднанні з властивостями матеріалу. Метод і кількість технологічних переходів узгоджують з економічною точністю кожного способу обробки.

Потрібну кількість переходів оцінюють за коефіцієнтом загального уточнення, який дорівнює відношенню допуску заготовки до допуску готової поверхні

$$\varphi_{заг} = \frac{T_{заг}}{T_{дет}}. \quad (2.8)$$

Кількість переходів обробки знаходять із залежності

$$n = \frac{\lg \varphi_{\text{заг}}}{\lg \varphi_{\text{сер}}} \quad (2.9)$$

де $\varphi_{\text{сер}}$ – середнє уточнення на один перехід для прийнятого методу обробки.

За результатами розрахунку для поверхонь квалітету k6 та p6 потрібні три-чотири переходи, що включають чорнове і чистове точіння та шліфування.

Поверхня Ø47h9 потребує чорнового та чистого точіння без шліфування.

Послідовність та результати обробки поверхонь подано в таблиці 2.5. Кожна точна поверхня проходить стадії від чорнового зняття основного припуску до фінішної доводки, на якій формується задана шорсткість і точність форми.

Таблиця 2.5 – Методи та етапи обробки поверхонь

Поверхня	Кінцевий квалітет	Послідовність обробки	Метод фінішу	Ra, мкм	Етапів
Ø45k6	IT6	точіння чорн., чист., шліф.	шліфування	2,5	4
Ø47h9	IT9	точіння чорнове, чистове	точіння	2,5	2
Ø55k6	IT6	точіння чорн., чист., шліф.	шліфування	1,25	4
Ø63k6	IT6	точіння чорн., чист., шліф.	шліфування	1,25	4
Ø70p6	IT6	точіння чорн., чист., шліф.	шліфування	1,25	4
Паз 20H9	IT9	фрезерування за один прохід	фрезерування	1,6	1

Режими обробки для основних поверхонь призначено за нормативами різання з урахуванням марки матеріалу інструмента та твердості деталі.

Узагальнені параметри режимів наведено в таблиці 2.6.

Таблиця 2.6 – Параметри режимів обробки основних поверхонь

Перехід	Глибина t, мм	Подача S, мм/об	Швидкість v, м/хв	Інструмент
Точіння чорнове	2,0	0,4	120	Різець T5K10
Точіння чистове	0,5	0,15	180	Різець T15K6
Шліфування попереднє	0,03	–	35 м/с	Круг 24А
Шліфування остаточне	0,01	–	35 м/с	Круг 25А

2.4 Розробка схем базування деталі

Схеми базування побудовані на принципах єдності та постійності баз. Для вала природною технологічною базою служать центрові отвори на торцях. Установлення деталі в центрах позбавляє заготовку п'яти ступенів вільності та залишає лише обертання навколо власної осі, яке усувається повідковим пристроєм.

На фрезерно-центрувальній операції чорного базують зовнішня циліндрична поверхня прокату, по якій заготовку встановлюють у призми. Ця операція формує центрові отвори, які стають основними базами для всіх наступних операцій. Постійність баз від чорного точіння до шліфування виключає накопичення похибок переустановлення та забезпечує співвісність шийок у межах допусків 0,025..0,03 мм, заданих на кресленику.

Похибка базування на точних діаметральних розмірах за умови установлення в центрах дорівнює нулю, оскільки вимірювальна база збігається з технологічною

$$\varepsilon_b = 0. \quad (2.10)$$

Для лінійних розмірів, що відлічуються від торця, похибка базування дорівнює допуску на розмір від бази до оброблюваного торця. Схеми базування за операціями подано в таблиці 2.7.

					КРБ.133ГМ6д_21[2].10.00.00.000 ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		30

Таблиця 2.7 – Схеми базування за операціями

Операція	Технологічна база	Тип бази	Позбавлено ступенів вільності
Фрезерно-центрувальна	Зовнішня поверхня прокату	подвійна напрямна	4
Токарна чорнова	Центрові отвори, торець	подвійна напрямна, опорна	5
Токарна чистова	Центрові отвори, торець	подвійна напрямна, опорна	5
Фрезерна	Шліка Ø63, торець	подвійна напрямна, опорна	5
Шліфувальна	Центрові отвори	подвійна напрямна	5

Кількісні значення похибок базування для характерних розмірів зведено в таблицю 2.8. Малі похибки базування підтверджують правильність вибору центрів як основних баз.

Таблиця 2.8 – Похибки базування

Розмір	База	Похибка базування ϵ , мм	Допуск, мм
Ø45k6	центрові отвори	0	0,016
Ø63k6	центрові отвори	0	0,019
Довжина 31	торець вала	0,10	0,25
Довжина 92	торець вала	0,10	0,35

2.5 Розробка маршруту виготовлення деталі

Удосконалений маршрут виготовлення вала побудовано на принципі поступового підвищення точності. Чорнові операції знімають основний припуск і формують геометрію деталі, чистові операції наближають розміри до

номінальних, а фінішне шліфування забезпечує задані квалітети та шорсткість після термічного поліпшення.

Термічну операцію розміщено після чистового точіння та фрезерування паза, але перед шліфуванням. Таке розташування дозволяє усунути викривлення, що виникають під час нагрівання та охолодження, на завершальній шліфувальній операції. Маршрут зведено в таблицю 2.9.

Таблиця 2.9 – Технологічний маршрут виготовлення вала

№	Операція	Зміст операції	Обладнання
005	Відрізна	Різання прокату Ø48 на заготовки	Відрізний 8Г662
010	Фрезерно-центрувальна	Підрізання торців, центрування	МР-71М
015	Токарна з ЧПК поднова	Точіння всіх шийок з припуском	16К20Ф3
020	Токарна з ЧПК чистова	Чистове точіння, фаски, качавка	16К20Ф3
025	Фрезерна	Фрезерування паза 20Н9	6Р13
030	Термічна	Поліпшення до 260...285 НВ	Камерна піч
035	Кругло-шліфувальна	Шліфування Ø45, Ø55, Ø63, Ø70	3М151
040	Мийна	Очищення деталі	Мийна машина
045	Контрольна	Контроль розмірів і форми	КВП, калібри

Технологічне оснащення та різальний інструмент за основними операціями маршруту наведено в таблиці 2.10. Перевага надана стандартному та уніфікованому оснащенню, що знижує витрати на підготовку виробництва.

Таблиця 2.10 – Оснащення та інструмент за операціями

Операція	Пристрій	Різальний та вимірювальний інструмент
Фрезерно-центрувальна	Призми з притиском	Фрези торцеві, свердла центрувальні
Токарна чорнова	Центри, повідковий патрон	Різці прохідні Т5К10, штангенциркуль
Токарна чистова	Центри, повідковий патрон	Різці Т15К6, мікрометр, скоба
Фрезерна	Лещата, призми	Фреза кінцева Ø20, калібр паза
Шліфувальна	Центри обертовий і нерухомий	Круг ПП 600×80, скоба важільна

2.6 Визначення припусків на обробку та операційних розмірів

Припуски на обробку визначено двома способами. Для відповідальної шийки Ø45k6 застосовано розрахунково-аналітичний метод, для решти поверхонь припуски призначено за нормативними таблицями. Аналітичний метод спирається на сумування елементарних складових припуску за кожним переходом.

Мінімальний припуск на двосторонню обробку зовнішньої циліндричної поверхні обчислюють за формулою

$$2Z_{min} = 2(Rz_{i-1} + h_{i-1} + \sqrt{\rho_{i-1}^2 + \varepsilon_i^2}), \quad (2.11)$$

де Rz_{i-1} – висота нерівностей профілю на попередньому переході, h_{i-1} – глибина дефектного шару, ρ_{i-1} – сумарне просторове відхилення, ε_i – похибка установлення на виконуваному переході.

Сумарне просторове відхилення заготовки складається з відхилення від короблення та зміщення осі центрових отворів

$$\rho_{заг} = \sqrt{\rho_{кор}^2 + \rho_{ц}^2}, \quad \rho_{кор} = \Delta_{к} \cdot L. \quad (2.12)$$

Залишкове просторове відхилення після кожного переходу зменшується пропорційно коефіцієнту уточнення

$$\rho_{\text{зал}} = K_y \cdot \rho_{\text{заг}} \quad (2.13)$$

Оскільки обробку ведуть у центрах, похибка установаження єі дорівнює нулю, тому корінь у формулі припуску визначається лише просторовим відхиленням. Розрахунковий розмір попереднього переходу одержують додаванням мінімального припуску до розрахункового розміру наступного переходу

$$d_{p,i-1} = d_{p,i} + 2Z_{\text{min},i} \quad (2.14)$$

Максимальний припуск пов'язаний з мінімальним через допуски суміжних переходів

$$2Z_{\text{max}} = 2Z_{\text{min}} + T_{i-1} - T_i \quad (2.15)$$

Вихідні дані та результати розрахунку припусків для поверхні Ø45k6 наведено в таблиці 2.11. Розрахунок виконано від готового розміру шийки 45,002 мм у напрямку до заготовки. Сумарний мінімальний припуск становить 1,048мм, максимальний дорівнює 2,032 мм.

Таблиця 2.11 – Розрахунок припусків для поверхні Ø45k6

Перехід	Rz, мкм	h, мкм	ρ , мкм	2Zmin, мкм	dp, мм	dmin, мм	dmax, мм
Заготовка (прокат)	100	100	120	–	46,050	46,05	47,05
Точіння чорнове	50	50	7	640	45,410	45,41	45,66
Точіння чистове	30	30	5	214	45,196	45,196	45,258
Шліфування попереднє	10	20	2	130	45,066	45,066	45,091
Шліфування остаточне	5	15	–	64	45,002	45,002	45,018

Загальний номінальний припуск і розмір заготовки одержують з урахуванням граничних розмірів. Розрахунковий діаметр заготовки 47,05 мм округлено до найближчого розміру гарячекатаного прокату Ø48 мм. Перевірка балансу припусків підтверджує правильність розрахунку, оскільки різниця максимального та мінімального загальних припусків дорівнює різниці допусків заготовки та готової деталі.

Для ретури поверхонь припуски призначено за нормативними таблицями залежно від методу обробки та якості. Зведені значення подано в таблиці 2.12.

Таблиця 2.12 – Припуски на ретуру поверхонь (табличний метод)

Поверхня	Розмір заготовки, мм	Припуск Z ₂ , мм	Операційний розмір після тоління, мм	Кінцевий розмір мм
Ø47h9	Ø50	3,0	Ø47,3	Ø47h9
Ø55k6	Ø58	3,0	Ø55,4	Ø55k6
Ø63k6	Ø66	3,0	Ø63,4	Ø63k6
Ø70p6	Ø73	3,0	Ø70,4	Ø70p6

Розраховані припуски та операційні розміри забезпечують повне видалення дефектного шару заготовки, компенсацію просторових відхилень і отримання заданих квалітетів точності після шліфування. Запроектований технологічний процес із розрахованими припусками придатний до впровадження в умовах середньосерійного виробництва [22].

РОЗДІЛ 3. КОНСТРУКТОРСЬКИЙ

3.1 Призначення, опис будови та роботи машини

Найпоширенішою є двовалкова дробарка, принципову схему якої показано на рисунку 3.1.

Рисунок 3.1 – Конструктивна схема двовалкової дробарки

За цією схемою виготовляють більшість вітчизняних та закордонних валкових дробарок, що застосовують у ллях підготовки рослинної сировини. Валки обертаються назустріч один одному, захоплюють та подрібнюють рослинний матеріал, який потрапляє між ними, роздаваючи його та частково перетираючи. Для посилення перетирального ефекту, потрібного під час подрібнення волокнистої рослинної маси, валкам інколи надають різну колову швидкість.

Корпуси підшипників вала одного з валків спираються на ґружини та можуть переміщуватися. Завдяки цьому при потрапанні твердого недробимого включення, наприклад каменя або грудки ґрунту разом із сировиною, один валок відходить від іншого та пропускає це включення, після чого під дією пружин

					КРБ.133ГМ6д_21[2].10.00.00.000 ПЗ	Арк. 36
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

повертається у вихідне положення. Існують конструкції з підпружиненими обома валками. Їх застосовують там, де у вихідній рослинній масі багато сторонніх твердих домішок.

Поверхні валків бувають гладкі, рифлені, ребристі та зубчасті, з довгим і коротким зубом. Довгозубчасті валки мають висоту зуба понад 0,1 діаметра валка, короткозубчасті менше за 0,1 діаметра. Поєднання робочих поверхонь може бути різним. Обидва валки інколи виконують гладкими, інколи один гладким, а другий рифленим. Дробарки з гладкими та рифленими валками застосовують для рослинної сировини середньої міцності, а дробарки із зубчастими валками для м'якої та волокнистої маси малої міцності. Крупність продукту залежить як від ширини вихідної щілини між валками, так і від типу робочої поверхні. У практиці кормоприготування та переробки рослинної сировини валкові дробарки використовують переважно на стадії попереднього подрібнення.

Суттєвим недоліком валкових дробарок є інтенсивне та нерівномірне зношування робочих поверхонь валків, тобто бандажів, під час обробки сировини з абразивними домішками. Бандаж зношується переважно в середній частині валка, що не дає змоги підтримувати сталу ширину вихідної щілини по всій її довжині. Окрім того, валкові дробарки мають порівняно невисоку питому продуктивність.

3.2 Аналіз рівня техніки в галузі машин

Дробарка належить до обладнання для подрібнення рослинної сировини. Валок (рис. 3.2) складається з вала 1, корпусу валка 2, розпірних конічних кілець 3 та бандажа 4, який кріпиться на корпусі під час стягування кілець 3 болтами. Корпус валка має циліндро-конічні виїмки, у яких встановлено кільця 3, а його периферійна частина виконана з радіальними пазами.

					КРБ.133ГМ6д_21[2].10.00.00.000 ПЗ	Арк. 37
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Рисунок 3.2 – Конструктивна схема двовалкової дробарки

Під час затягування болтів забезпечується щільна посадка бандажа на корпус валка. Досвід експлуатації таких валків показав, що великі зусилля, які виникають у процесі подрібнення, особливо при потраплянні в дробарку недробимих тіл, спричиняють послаблення посадки бандажа на конічних кільцях і водночас спрацювання конічних поверхонь. Під час установа нового бандажа доводиться проточувати кільця для усунення слідів зношування, що ускладнює заміну. Зі зменшенням товщини бандажа під час експлуатації його міцність зменшується, і відбувається руйнування в середній, неопертій частині. Виконання посадкових конічних поверхонь на змінному бандажі ускладнює його виготовлення.

Удосконалений валок складається з вала 1, корпуса валка 2, двох розпірних конічних кілець 3 та бандажа 4. Корпус валка насаджено на вал 1 з фіксацією від обертання шпонкою 5 і застопорено від осьового переміщення запобіжною планкою 6. Бандаж 4 насаджено на циліндричну поверхню корпуса валка 2 із зазором, зафіксовано від обертання шпонкою 7 та застопорено від осьового

					КРБ.133ГМ6д.31[2].10.00.00.000 ПЗ	Арк. 38
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

переміщення планками 8. Зазор між корпусом валка 2 і бандажем 4 усувається при підтягуванні розпірних конічних кілець 3 стяжними болтами 9. Для цього в корпусі валка з торців виконано виїмки з внутрішньою циліндричною та зовнішньою конічною поверхнями, у які вставляють розпірні конічні кільця. На зовнішній поверхні корпусу валка виконано пази по всій довжині твірної циліндра, які розрізають зовнішню обичайку корпусу на окремі сектори. Сектори відгинаються при втягуванні розпірних конічних кілець, вибираючи зазор у посадці бандажа та забезпечуючи потрібний натяг у з'єднанні. Розпірні конічні кільця виймають із корпусу за допомогою віджимних болтів 10. Головки стяжних болтів 9 для зручності закручування гайок застопорено від повороту в кільцевому пазу стопорного кільця 11.

Складання валка виконують так. Корпус валка 2 надягають на вал 1 і стопорять планкою 6. На корпус надягають бандаж 4. У виїмки корпусу встановлюють конічні кільця 3 та стягують болтами 9. При цьому сектори периферійної частини корпусу трохи відгинаються, забезпечуючи щільну посадку бандажа, а самі кільця стискаються завдяки радіальному розрізу, чим досягається щільна посадка кілець на корпусі.

Опирання бандажа на циліндричну поверхню майже по всій довжині твірної гарантує найповніше зношування бандажа без руйнування, що збільшує термін його служби. Для заміни зношеного бандажа його розрізають по пазах, далі видаляють болти 9 і за допомогою віджимних болтів 10 знімають конічні кільця 3 або послаблюють їхню посадку, надягають новий бандаж без конічних розточок і знову натягують кільця, закріплюючи бандаж.

Запропонована конструкція забезпечує значне збільшення довговічності зношеної частини валка, тобто бандажа, при спрощенні його будови. Формула винаходу така. Валок валкової дробарки, що містить вал зі встановленим на ньому корпусом валка та бандаж, закріплений на корпусі за допомогою розпірних кілець, установлених у циліндро-конічні виїмки та стягнутих болтами, який відрізняється тим, що виїмки для конічних кілець виконано в тілі корпусу,

					КРБ.133ГМ6д_21[2].10.00.00.000 ПЗ	Арк. 39
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

периферійна частина якого має радіальні пази, ще ділять її на сектори, а розпірні конічні кільця виконано розрізними.

Серед розглянутих варіантів саме така конструкція валка найповніше відображає суть поставленого завдання щодо попереднього подрібнення рослинної сировини.

3.3 Визначення основних параметрів машини та робочого обладнання

Кут захоплення у валкових дробарках є кутом між двома дотичними до поверхонь валків у точках стикання з матеріалом, що подрібнюється.

На кусок рослинного матеріалу (рис. 3.3), який має форму кулі та масу m , незначною величиною якої можна знехтувати, діють сили P тиску з боку обох валків та сили тертя, що дорівнюють fD , де f є коефіцієнтом тертя матеріалу об валок. Для спрощення ці сили показано на рисунку для одного валка.

Рисунок 3.3 - Розрахункова схема двовалкової дробарки

Кусок зтягується валками, якщо виконується умова $2Pf \cos \alpha \geq 2P \sin \alpha$, або $f \geq \tan \alpha$. Оскільки $f = \tan \varphi$, де φ - кутом тертя, то $\alpha \leq \varphi$. Але $\beta = 2\alpha$, отже $\beta \leq 2\varphi$. Таким чином, як і для щоккових та конусних дробарок, кут захоплення у валкових

					КРБ.133ГМ6д_21[2].10.00.00.000 ПЗ	Арк. 40
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

дробарках для нормального процесу подрібнення не повинен перевищувати подвоєного кута тертя.

Розмір куска, що захоплюється валками, визначають за схемою на рисунку 3.3. Якщо D є діаметром валка, d діаметром куска матеріалу, a шириною вихідної щільни, то

$$\left(\frac{D}{2} + \frac{d}{2}\right) \cos \alpha = \frac{D}{2} + \frac{a}{2}, \quad (3.1)$$

або

$$(D + d) \cos \alpha = D + a. \quad (3.2)$$

Поділивши обидві частини рівняння на d , отримаємо

$$\left(\frac{D}{d} + 1\right) \cos \alpha = \frac{D}{d} + \frac{a}{d}. \quad (3.3)$$

Ступінь подрібнення у валкових дробарках у середньому дорівнює 4, тоді $a/d = 0,25$. Підставивши це значення, одержимо

$$\frac{D}{d} = \frac{\cos \alpha - 0,25}{1 - \cos \alpha}. \quad (3.4)$$

Коефіцієнт тертя рослинної сировини об валок приймаємо рівним 0,45, чому відповідає кут $\alpha = 24^\circ 20'$. Тоді відношення діаметрів

$$\frac{D}{d} = \frac{\cos 24^\circ 20' - 0,25}{1 - \cos 24^\circ 20'} \approx 7,5.$$

Для гладких валків відношення D/d приймають рівним 20, для рифлених 10, а для зубчастих валків 2, оскільки в останньому випадку кусок матеріалу затягується безпосереднім захопленням поверхнею робочого органа. Для попереднього подрібнення рослинної сировини доцільно застосувати рифлені валки.

Частоту обертання валків визначають за формулою:

$$n_{max} = 102,5 \sqrt{\frac{f}{\rho d D}}, \quad (3.5)$$

де f – коефіцієнт тертя матеріалу об валок, ρ – густина матеріалу, d – діаметр куска вихідного матеріалу, D – діаметр валка. Оскільки вихідним матеріалом є рослинна сировина, тоді $f = 0,45$; $\rho = 0,9$ т/м³; $d = 0,05$ м; $D = 350$ мм. Отже,

					КРБ.133ГМ64-21[2].10.00.00.000 ПЗ	Арк. 41
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

$$n_{max} = 102,5 \sqrt{\frac{0,45}{0,9 \cdot 0,05 \cdot 350}} \approx 17,3 \text{ об/с.}$$

Конструктивно передбачають мінімальну та максимальну частоту обертання, яку згодом обирають за конкретними умовами експлуатації. Для м'якої рослинної маси можна прийняти вищу частоту, ніж для матеріалу середньої міцності. Для визначення мінімальної та максимальної частоти обертання валків рекомендують просту емпіричну залежність

$$n_{min} = \frac{1}{D}, \quad (2.6)$$

$$n_{max} = \frac{2}{D}, \quad (3.7)$$

де D у метрах. Тоді

$$n_{min} = 1 / 0,35 = 2,85 \text{ об/с, } n_{max} = 2 / 0,35 = 5,71 \text{ об/с.}$$

Колова швидкість робочої поверхні валків при цьому лежить у межах від 3 до 6 м/с, що забезпечує спокійну та стійку роботу машини. Для подальших розрахунків приймемо робочу частоту обертання $n = 5$ об/с, якій відповідає колова швидкість близько 5,5 м/с.

3.4 Розрахунок навантаження в основних елементах дробарки

Зусилля в деталях валкової дробарки визначаються навантаженням, яке створюють пружини запобіжного пристрою. Це навантаження залежить від багатьох чинників і може бути обчислене лише наближено.

Припустимо, що середнє сумарне зусилля між валками під час подрібнення дорівнює P_{cp} . Площа, на якій діє це зусилля:

$$F = L \cdot l \quad (3.8)$$

де L є довжиною валків, l довжиною дуги на ділянці подрібнення, $l = R \alpha = D \alpha / 2$. При подрібненні рослинної сировини $\alpha = 24^\circ 20'$, тоді $l = R \cdot 0,43 = 0,215 D = 0,075$ м. Отже,

$$F = 0,46 \cdot 0,075 = 0,034 \text{ м}^2.$$

					КРБ.133ГМ6д_21[2].10.00.00.000 ПЗ	Арк. 42
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Середнє сумарне зусилля подрібнення

$$P_{\text{ср}} = \sigma_{\text{сж}} \cdot F \cdot \mu = \sigma_{\text{сж}} \cdot L \cdot l \cdot \mu, \quad (3.9)$$

де $\sigma_{\text{сж}}$ є межею міцності матеріалу на стиск, μ коефіцієнтом розпушення матеріалу. Для рослинної сировини $\mu = 0,4$. Підставивши $l = 0,215 D$, для рослинної сировини маємо спрощену залежність

$$P_{\text{ср}} = 0,086 \cdot \sigma_{\text{сж}} \cdot L \cdot D. \quad (3.10)$$

Тоді

$$P_{\text{ср}} = 6 \cdot 10^6 \cdot 0,46 \cdot 0,075 \cdot 0,4 \approx 8,28 \cdot 10^4 \text{ Н} \approx 82,8 \text{ кН}.$$

Сила натискання пружин рухомого валка повинна забезпечувати вказане значення $P_{\text{ср}}$.

3.5 Розрахунок продуктивності дробарки

Продуктивність валкових дробарок обчислюють, прийнявши процес подрібнення як рух стрічки матеріалу шириною, що дорівнює довжині L валка, та товщиною, що дорівнює ширині a вихідної цилінди. Тоді за один оберт вала об'єм стрічки матеріалу, що пройшов крізь зазор:

$$V = \pi \cdot D \cdot L \cdot a. \quad (3.11)$$

Отже, за частоти n об'ємна продуктивність дробарки:

$$Q = \pi \cdot D \cdot L \cdot a \cdot n. \quad (3.12)$$

Слід врахувати, що під час подрібнення сировини середньої міцності пружини, які підтискають валки, дещо стискаються, і валки розходяться. Тому фактичну ширину щілини беруть більшою, і продуктивність набуває вигляду

$$Q = \pi \cdot D \cdot L \cdot (a + b) \cdot n. \quad (3.13)$$

На практиці ширину зазора з урахуванням деформації пружин приймають рівною $1,25 a$. Оскільки довжина валка використовується не повністю, і матеріал виходить розпушеним, у формулу вводять коефіцієнт розпушення μ та масивну густину ρ . Тоді остаточно масова продуктивність валкової дробарки:

					КРБ.133ГМ6д_21[2].10.00.00.000 ПЗ	Арк. 43
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

$$Q = 1,25 \cdot \pi \cdot D \cdot L \cdot a \cdot \kappa \cdot \mu \cdot \rho. \quad (3.14)$$

Підставивши $\mu = 0,4$ та $\rho = 0,5 \text{ т/м}^3$, отримаємо:

$$Q = 1,25 \cdot 3,14 \cdot 0,35 \cdot 0,46 \cdot 0,01 \cdot 5 \cdot 0,4 \cdot 0,5 \approx 0,0063 \text{ т/с} \approx 22,8 \text{ т/год.}$$

3.6 Розрахунок потужності двигуна

Потрібну встановлену потужність $N_{\text{дв}}$ електродвигуна валкової дробарки визначають з урахуванням витрат потужності на подрібнення матеріалу та тертя в підшипниках, тобто на подолання всіх опорів під час роботи машини,

$$N_{\text{дв}} = \frac{N_1 + N_2}{\eta} \quad (3.15)$$

де N_1 – потужність на подрібнення матеріалу, N_2 – потужність на подолання тертя в підшипниках, η – ккд передачі, $\eta = 0,95$.

Фактична кількість кусків, що розколюються в певний момент, значно менша за кількість кусків у зоні подрібнення. Тому в розрахункову формулу зусилля вводять коефіцієнт одночасності розколювання λ , який за дослідними даними становить 0,01...0,02. Тоді середнє зусилля подрібнення:

$$P_{\text{ср}} = \sigma_{\text{ск}} \cdot L \cdot l \cdot \mu \cdot \lambda \quad (3.16)$$

Добуток моменту сили тертя $fP_{\text{ср}}R$ та кутової швидкості валка $\omega = 2\pi n$ визначає потужність на подрібнення:

$$N_1 = 2\pi n \cdot P_{\text{ср}} \cdot f \cdot R. \quad (3.17)$$

Підставивши значення $P_{\text{ср}}$, отримаємо:

$$N_1 = 2\pi n \cdot \sigma_{\text{ск}} \cdot L \cdot l \cdot \mu \cdot \lambda \cdot f \cdot R. \quad (3.18)$$

Потужність на подолання сили тертя в підшипниках двох валків

$$N_2 = 2\pi n \cdot z \cdot f_1 \cdot G, \quad (3.19)$$

де z є діаметром шийки вала, f_1 коефіцієнтом тертя кочення, приведеним до вала, $f_1 = 0,001$, G навантаженням на підшипники, $G = \sqrt{(Q^2 + P_{\text{ср}}^2)}$, де Q є силою тяжіння валка. Остаточна формула встановленої потужності електродвигуна валкової дробарки:

					КРБ.133ГМ64-21[2].10.00.00.000 ПЗ	Арк. 44
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

$$N_{\text{дв}} = \frac{2\pi n (\sigma_{\text{сж}} L l \mu \lambda f K + Z f_1 G)}{\eta} \quad (3.20)$$

Підставивши числові значення, маємо $P_{\text{ср}} = \sigma_{\text{сж}} L l$ і $\lambda \approx 1656$ Н, тоді

$$N_1 = 2 \cdot 3,14 \cdot 5 \cdot 1656 \cdot 0,45 \cdot 0,175 \approx 4,1 \text{ кВт},$$

$$N_2 = 2 \cdot 3,14 \cdot 5 \cdot 0,07 \cdot 0,001 \cdot 82,9 \cdot 10^3 \approx 0,18 \text{ кВт},$$

$$N_{\text{дв}} = (4,1 + 0,18) / 0,95 \approx 4,5 \text{ кВт}.$$

У літературі наводять також спрощену емпіричну формулу встановленої потужності, придатну для орієнтовних розрахунків:

$$N_{\text{дв}} = 1400 \cdot \sigma_{\text{сж}} \cdot n \cdot L \cdot R^2. \quad (3.21)$$

Уточнений розрахунок за повною залежністю дає $N_{\text{дв}}$ близько 4,5 кВт. За цим результатом приймемо стандартний електродвигун потужністю 5,5 кВт, що забезпечує надійну роботу дробарки попереднього подрібнення рослинної сировини з потужним запасом потужності.

					КРБ.133ГМ6Д.21[2].10.00.00.000 ПЗ	Арк. 45
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

РОЗДІЛ 4. ЕКОНОМІКА, ОХОРОНА ПРАЦІ ТА НАВКОЛИНЬОГО СЕРЕДОВИЩА

4.1 Техніко-економічне обґрунтування розробки

Економічна ефективність проектного пристрою для попереднього подрібнення рослинної сировини визначається шляхом порівняння базового варіанта подрібнення з проектною валковою дробаркою. Основними перевагами запропонованої конструкції є зниження питомих витрат електроенергії, підвищення продуктивності, рівномірніший фракційний склад продукту та зменшення витрат на обслуговування.

Для розрахунку приймаємо такі вихідні дані:

Продуктивність базової дробарки – 18 т/год.

Продуктивність проектової валкової дробарки – 22 т/год.

Потужність базової дробарки – 11 кВт.

Потужність проектової дробарки – 5,5 кВт.

Річний обсяг переробки рослинної сировини – 12000 т.

Вартість електроенергії – 6,0 грн/кВт·год.

Орієнтовна вартість виготовлення проектової дробарки – 85000 грн.

Річний фонд часу роботи базової дробарки:

$$T_6 = \frac{Q_p}{W_6}, \quad (4.1)$$

$$T_6 = \frac{12000}{18} = 666,7 \text{ год}$$

Річний фонд часу роботи проектової дробарки:

$$T_{\text{п}} = \frac{Q_{\text{п}}}{W_{\text{п}}}, \quad (4.2)$$

$$T_{\text{п}} = \frac{12000}{22} = 545,5 \text{ год}$$

Економія робочого часу становить:

					КРБ.133ГМ6д_21[2].10.00.00.000 ПЗ	Арк. 46
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

$$\Delta T = T_6 - T_n, \quad (4.3)$$

$$\Delta T = 666,7 - 545,5 = 121,2 \text{ год.}$$

Річні витрати електроенергії базової дробарки:

$$E_6 = N_6 \cdot T_6, \quad (4.4)$$

$$E_6 = 11 \cdot 666,7 = 7333,7 \text{ кВт·год.}$$

Річні витрати електроенергії проєктованої дробарки:

$$E_n = N_n \cdot n, \quad (4.5)$$

$$E_n = 5,5 \cdot 545,5 = 3000,3 \text{ кВт·год.}$$

Економія електроенергії:

$$\Delta E = E_6 - E_n \quad (4.6)$$

$$\Delta E = 7333,7 - 3000,3 = 4333,4 \text{ /год.}$$

Економія витрат на електроенергії:

$$E_v = \Delta E \cdot U_e, \quad (4.7)$$

$$E_v = 4333,4 \cdot 6,0 = 26000,4 \text{ грн}$$

Додатково враховуємо зменшення витрат на технічне обслуговування та ремонт за рахунок простої конструкції валкової дробарки. Приймаємо економію експлуатаційних витрат у розмірі 15000 грн на рік.

Визначимо прибуток від підвищення продуктивності.

Приймаємо, що завдяки збільшенню продуктивності з 18 до 22 т/год підприємство може додатково отримати економічний ефект 70 000 грн/рік.

Тоді загальний річний економічний ефект:

$$E_{\text{річ}} = E_v + E_{\text{обсл}} = E_{\text{пр}}, \quad (4.8)$$

$$E_{\text{річ}} = 26000,4 + 15000 + 70000 = 111000,4 \text{ грн}$$

Термін окупності розробки:

$$T_{\text{ок}} = \frac{K}{E_p}, \quad (4.9)$$

$$T_{\text{ок}} = \frac{85000}{111000,4} = 0,8 \text{ року}$$

					КРБ.133ГМ6д_21[2].10.00.00.000 ПЗ	Арк. 47
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Таблиця 4.1 – Техніко-економічні показники розробки

Показник	Значення
Економія електроенергії, грн/рік	26000,4
Економія на обслуговуванні, грн/рік	15000
Додатковий ефект від підвищення продуктивності, грн/рік	70000
Загальний річний економічний ефект, грн	111000,4
Вартість виготовлення дробарки, грн	85000
Термін окупності, років	0,8

Запропонована валкова дробарка для попереднього подрібнення рослинної сировини має більшу продуктивність, забезпечує зменшення витрат електроенергії, скорочення тривалості роботи обладнання та зменшення експлуатаційних витрат [10]. Річний економічний ефект становить 11,4 грн, а термін окупності близько 1 року. Це підтверджує доцільність упровадження розробленого пристрою у виробничих умовах.

4.2 Охорона праці

Безпечна експлуатація валкової дробарки забезпечується комплексом організаційних і технічних заходів, передбачених на стадії проектування. Основними небезпечними виробничими факторами є рухомі частини машини, підвищений рівень шуму та вібрації, наявність пилу робочої зони, ризик ураження електричним струмом і теплові навантаження від нагрітих поверхонь редуктора та підшипникових вузлів під час тривалої роботи. Зона безпосереднього контакту валків закрита суцільним металевим кожухом, який унеможливує доступ оператора до обертових частин під час роботи машини. Завантажувальний бункер обладнано похилим лотком і решіткою, які виключають потрапляння рук оператора у небезпечну зону. Аварійна зупинка машини здійснюється кнопкою аварійного вимкнення, розташованою у

					КРБ.133ГМ6д_21[2].10.00.00.000 ПЗ	Арк. 48
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

безпосередній доступності робочого місця, з дублюванням на пульті керування технологічної лінії.

Електрична безпека забезпечується виконанням заземлення корпусу машини відповідно до чинних правил улаштування електроустановок, застосуванням провідників з ізоляцією, розрахованою на робочу напругу мережі, а також автоматичного захисту електродвигуна від перевантаження й коротких замикань [11]. Для зниження рівня шуму, який під час роботи не перевищує вісімдесяти децибел, передбачено віброізоляційні опори станини та звукоізолюючий кожух привода. Вібрація обмежується ретельним балансуванням валків і застосуванням пружних муфт у трансмісії. Для захисту органів дихання оператора у зоні завантаження сировини передбачено місцеву витяжну вентиляцію, яка видаляє пиловидну фракцію перед її поширенням у виробниче приміщення.

Персонал, допущений до експлуатації машини, проходить ввідний та первинний інструктаж з охорони праці, періодичну перевірку знань і забезпечується засобами індивідуального захисту, серед яких спецодяг, захисні рукавиці, окуляри та респіратори при роботі з пилоутворюючими видами сировини. Виконання вимог нормативних документів у галузі охорони праці, зокрема ДСТУ й правил техніки безпеки під час експлуатації подрібнювального устаткування, є обов'язковою умовою введення машини в експлуатацію [24]. Періодичні огляди технічного стану й вузлові ремонти виконуються згідно з графіком планово-попереджувального ремонту, складеним на основі заводського керівництва з експлуатації. На корпусі машини у місцях, що потенційно становлять небезпеку, передбачено попереджувальні знаки відповідно до чинних стандартів. Освітлення робочого місця оператора відповідає нормам штучного освітлення для виробничих приміщень переробної галузі, а сигналізація аварійних режимів виведена на щит керування у вигляді світлозвукового оповіщення.

					КРБ.133ГМ6д_21[2].10.00.00.000 ПЗ	Арк. 49
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

4.3 Охорона навколишнього середовища

Запропонована конструкція валкової дробарки відповідає сучасним вимогам екологічної безпеки виробництва. Основним джерелом впливу на атмосферне повітря є пиловидна фракція, яка утворюється під час подрібнення сухої рослинної сировини. Її уловлювання забезпечується системою аспірації з рукавним фільтром, ефективність очищення повітря якого перевищує дев'яносто вісім відсотків. Уловлений пил повертається у технологічний процес або реалізується як вторинна сировина для виробництва галивних пелет, що зменшує загальний обсяг відходів виробництва та сприяє раціональному використанню рослинної біомаси.

Технологічний процес не передбачає утворення стічних вод, оскільки робота дробарки відбувається без застосування рідин для охолодження чи промивання робочих органів. Тверді відходи у вигляді зношених деталей передаються на переплавлення відповідно до договорів з підприємствами вторинної переробки металу. Шумове навантаження на навколишнє середовище утримується у межах санітарних норм для виробничих територій завдяки конструктивним заходам щодо звукоізоляції приводного блоку та віброгасіння станини. Зниження питомої витрати електричної енергії порівняно з аналогами зменшує опосередкований внесок експлуатації машини у викиди парникових газів від виробництва електроенергії. Матеріали, застосовані у конструкції, мають високий рівень повторного використання, що сприяє відповідності розробки принципам ресурсозбереження та циркулярної економіки. На етапі виведення машини з експлуатації передбачено можливість сортування деталей за видами матеріалів для подальшого роздільного утилізування чорних і кольорових металів, гумотехнічних виробів та електротехнічних компонентів. Відпрацьовані мастильні матеріали з підшипникових вузлів збираються у герметичні ємності й передаються спеціалізованим організаціям для регенерації або знешкодження згідно з вимогами екологічного законодавства [25]. Сукупність наведених заходів забезпечує мінімізацію негативного впливу машини на стан атмосфери, ґрунту й водних об'єктів протягом усього життєвого циклу обладнання, від виготовлення до утилізації.

					КРБ.133ГМ6д_21[2].10.00.00.000 ПЗ	Арк. 50
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

ВИСНОВКИ

У кваліфікаційній роботі вирішено актуальне інженерне завдання, пов'язане з підвищенням ефективності підготовки рослинної сировини до подальшої переробки. Проведено аналіз сучасних способів подрібнення та існуючих конструкцій дробарок, на підставі якого встановлено, що для попереднього подрібнення рослинної сировини найбільш доцільним є використання двовалкової дробарки з рифленими валками.

Розглянуто теоретичні основи процесу подрібнення, наведено аналіз механізмів руйнування матеріалів та виконано порівняння шоккових, молоткових, роторних і валкових дробарок. За результатами аналізу обґрунтовано вибір валкової схеми як найбільш енергосективної та придатної для роботи з в'язкою рослинною сировиною.

Виконано аналіз технологічності деталі «Вал», розроблено маршрут її виготовлення, обґрунтовано вибір заготовки, методів механічної обробки, схем базування та визначено припуски на обробку. Запропонований технологічний процес забезпечує отримання деталей необхідної точності та якості поверхонь при раціональних витратах виробництва.

Розроблено конструкцію пристрою для попереднього подрібнення рослинної сировини, виконано необхідні інженерні розрахунки робочих органів, валів, привода та елементів конструкції. Запропоноване технічне рішення забезпечує надійну роботу машини, рівномірне подрібнення матеріалу та зниження питомих енергетичних витрат.

Проведена економічна оцінка показала, що впровадження розробленого пристрою забезпечує річний економічний ефект понад 111000,4 грн, а термін окупності капіталовкладень становить близько 1 року, що підтверджує економічну доцільність запропонованої конструкції.

У роботі також розглянуто питання економії праці та охорони навколишнього середовища. Запропоновані заходи забезпечують безпечні умови праці обслуговуючого персоналу та зменшують негативний вплив виробничих процесів на довкілля.

Таким чином, поставлену мету кваліфікаційної роботи досягнуто. Розроблена конструкція пристрою для попереднього подрібнення рослинної сировини є технічно обґрунтованою, технологічною у виготовленні, економічно ефективною та може бути рекомендована до практичного використання на підприємствах агропромислового комплексу, комбикормової, харчової та біоенергетичної галузей.

					КРБ.133ГМ6д_21[2].10.00.00.000 ПЗ	Арк. 51
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

ПЕРЕЛІК ДЖЕРЕЛ ПОСИЛАННЯ

1. Барановський В. М., Гречкосій В. Д., Токарчук О. А. Машини та обладнання для переробки сільськогосподарської продукції : підручник. Тернопіль : ТНТУ, 2019. 412 с.
2. Братута О. Г., Жила С. В. Процеси та апарати харчових виробництв. Харків : ХНТУ, 2020. 318 с.
3. Вейлюк Д. Г., Яременко Б. Т. Сільськогосподарські машини : підручник. Київ : Урожай, 2018. 536 с.
4. Гевко Б. М., Гевко Р. Б., Дятун А. Є. Технологічне обладнання для подрібнення зернових матеріалів. Тернопіль : Астон, 2021. 244 с.
5. Гуцол Т. Д., Крабчук В. І. Механіко-технологічні основи подрібнення кормів. Київ : ННЦ "ІАЕ", 2019. 186 с.
6. Дем'яненко І. І., Ковальов О. В., Погорілець С. М. Теорія різання та подрібнення рослинних матеріалів. Харків : ХНТУСГ, 2022. 296 с.
7. Дробот В. І., Грищенко А. М. Технологічне обладнання хлібопекарських та макаронних виробництв. Київ : Кондор, 2020. 420 с.
8. Зінченко О. І., Салатенко В. Н., Білоножка М. А. Рослинництво : підручник. Київ : Аграрна освіта, 2021. 591 с.
9. Кабак В. В., Яворська В. К. Проектування машин для переробки рослинної сировини : навч. посіб. Вінниця : ВНТУ, 2021. 208 с.
10. Карпенко О. В., Мовчан С. І. Конструювання і розрахунок вузлів подрібнювальних машин. Полтава : ПДАА, 2023. 172 с.
11. Козирський В. В., Чумаченко О. Р. Електрообладнання сільськогосподарських підприємств : підручник. Київ : Аграрна освіта, 2019. 456с.
12. Лобачевська О. Б., Шевченко О. А. Балкові дробарки: конструкції та розрахунок : монографія. Дніпро : НМетАУ, 2020. 173 с.
13. Любченко Л. І., Дем'яненко М. М. Основи теорії механічного подрібнення зерна. Київ : Освіта України, 2022. 234 с.

					КРБ.133ГМ6д_21[2].10.00.00.000 ПЗ	Арк. 52
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

14. Маракушев Б. П., Гасічник В. А., Романченко І. С. Технологічні основи переробки зернової сировини. Київ : Урожай, 2020. 358 с.

15. Науменко М. М., Задорожня В. М. Механізація та автоматизація технологічних процесів харчових виробництв. Суми : СумДУ, 2021. 312 с.

16. Олексієнко В. О., Свистун О. І., Мачок Ю. В. Конструкція та розрахунок машин агропромислового комплексу. Мелітополь : ТДАТУ, 2022. 356 с.

17. Пеньков М. М., Кириченко Л. В. Обладнання переробних підприємств : навч. посіб. Умань : УНУС, 2020. 268 с.

18. Приймак В. Г., Кривець І. А. Технологічне обладнання переробки олійних культур. Київ : Аграрна наука, 2021. 292 с.

19. Сит В. Ф., Кравченко О. П. Методи обробки металів різанням : підручник. Харків : НТУ "ХПІ", 2020. 348 с.

20. Скоромна О. І., Усенко С. Є., Береза І. Г. Основи проектування та розрахунку валів і осей. Харків : ХНТУСГ, 2023. 198 с.

21. Ткаченко Р. В., Яблонська І. В. Теорія машин і механізмів : підручник. Київ : КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2020. 472 с.

22. Хомик Н. І., Цьонь С. П., Цьонь Г. Б. Механічне обладнання підприємств галузі : навч. посіб. Тернопіль : ТНТУ, 2021. 296 с.

23. Чернишов С. М., Серєда Л. П. Технологічні процеси та обладнання харчових виробництв. Вінниця : Нова Книга, 2022. 384 с.

24. Госташвілі Г. Г., Карловські Є.-Т., Лапін В. М. Управління охороною праці та ризиком за міжнародними стандартами : навч. посіб. Київ : Знання, 2019. 367 с.

25. Запольський А. К., Салок А. І. Основи екології : підручник. Київ : Вища школа, 2021. 399 с.

					КРБ.133ГМ6д_21[2].10.00.00.000 ПЗ	Арк.
						53
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

ДОДАТКИ

					КРБ.133ГМ6Д.21[2].10.00.00.000 ПЗ	Арк. 54
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

