

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: «Удосконалення пристосування для попереднього подрібнення зерна»

КРБ.133ГМбд_32[2].01.00.00.000 ПЗ

Виконав: здобувач вищої освіти
за освітньо-професійною програмою
*«Машини та обладнання
сільськогосподарського виробництва»*
спеціальності 133 *«Галузеве
машинобудування»*
ступеня вищої освіти *бакалавр*
групи 133ГМбд_32[1]
АНДРЄСВ Олексій

Керівник: ПРІЛЄПО Наталія

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

Олексій АНДРЕЄВ

1 Тема роботи: *«Удосконалення пристосування для попереднього
подрібнення зерна»*

керівник роботи ***старша викладачка ПРИЄПО Наталія,***
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 Полтавської
обласної універсальної наукової бібліотеки імені Івана Котляревського; аналіз
літературних джерел Національної бібліотеки України імені Володимира
Вернадського; 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 пристосування;
складальний кресленик пристосування, що виноситься на розгляд; робочі
кресленики деталей вузла пристосування.*

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 _____ Олексій АНДРЕЄВ
(підпис)

Керівник роботи _____ Наталія ПРИЛЕПО
(підпис)

РЕФЕРАТ

Пояснювальна записка: 4 розділи, 2 додатки, 2 рисунки, 15 таблиць, 22 використаних джерела, 42 сторінки.

Об'єкт розробки – процес попереднього подрібнення зерна перед екструзійною обробкою у технологічних лініях виробництва комбікормів.

Предмет розробки – конструкція пристосування для попереднього подрібнення зерна, його привід, подрібнювальні валли та параметри роботи механізму.

Застановка актуальної технічної задачі – дослідити можливі шляхи підвищення ефективності процесу попереднього подрібнення зерна шляхом удосконалення конструкції завантажувального пристосування із використанням подрібнювальних валлів, зубчастої та пасової передач, а також на основі проведеного аналізу розробити комплект конструкторської документації.

Мета кваліфікаційної роботи бакалавра – удосконалення конструкції пристосування для попереднього подрібнення зерна та виконання його кінематичних та конструктивних розрахунків.

Практичне значення кваліфікаційної роботи бакалавра – підвищення ефективності роботи екструдера та зменшення навантаження на його робочі органи за рахунок попереднього подрібнення зернової маси перед основною обробкою.

У **загальному розділі** були наведені: аналіз сучасного стану обладнання для подрібнення зерна; оцінка існуючих конструкцій пристроїв для підготовки зернової сировини; обґрунтування актуальності роботи; мета і завдання кваліфікаційної роботи; можливі напрями практичного використання результатів розробки.

У **технологічному розділі** здійснено розробку технологічного процесу виготовлення подрібнювального вала, наведено характеристику матеріалу деталі, визначено режими механічної обробки, вимоги до точності та шорсткості поверхонь, а також запропоновано маршрут виготовлення деталі.

У **конструкторському розділі** виконано кінематичні та конструктивні розрахунки приводу пристосування, зубчастої передачі, подрібнювальних валлів та опорних елементів конструкції. Окрім цього, розроблено складальне креслення пристосування, деталювання основних вузлів.

					КРБ.133ГМбд_32[2].01.00.00.000 ПЗ	Арк.
						4
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

У розділі **економіки, охорони праці та навколишнього середовища** визначено економічну ефективність запропонованої конструкції, розраховано термін окупності розробки, запропоновано заходи з безпечної експлуатації обладнання та зниження негативного впливу виробничого процесу на навколишнє середовище.

Практичні результати роботи – розроблений комплект конструкторської документації на пристосування для попереднього подрібнення зерна. Розроблена конструкція забезпечує стабільну подачу зернової маси та її часткове руйнування перед надходженням до шнекового екструдера.

Рекомендації щодо використання результатів роботи – розроблене пристосування може бути використане у складі екструдерних установок та технологічних ліній із виробництва комбікормів для попередньої підготовки зернової сировини.

Сфера застосування результатів роботи – підприємства агропромислового комплексу, фермерські господарства та виробництво обладнання для переробки зерна і виготовлення комбікормів.

Графічна частина роботи становить 3 аркуші формату А1.

Результат перевірки тексту пояснювальної записки на плагіат за допомогою сервісу StrikePlagiarism: унікальність 98,43%.

АНОТАЦІЯ

Кваліфікаційна робота бакалавра присвячена розробці конструкції пристосування для попереднього подрібнення зерна у складі технологічної лінії виробництва комбікормів. Характерною особливістю розробленої конструкції є використання двох подрібнювальних валів, які обертаються назустріч один одному та забезпечують часткове руйнування зернової маси перед подачею її до шнекового екструдера. Розроблене пристосування взаємодіє із зерною сировиною у складі завантажувального механізму екструдерної установки.

ЕКСТРУДЕР, ПРИСТОСУВАННЯ ДЛЯ ПОПЕРЕДНЬОГО ПОДРІБНЕННЯ ЗЕРНА, ЗУБЧАСТА ПЕРЕДАЧА, ПАСОВА ПЕРЕДАЧА, ВАЛ, ШЛІЦЬОВИЙ ВАЛ, ШНЕК, КРОНШТЕЙН

					КРБ.133ГМбд_32[2].01.00.00.000 ПЗ	Арк. 5
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

ЗМІСТ

ВСТУП	7
РОЗДІЛ 1. ЗАГАЛЬНИЙ	9
1.1 Значення процесу первинного подрібнення зерна в технології екструдювання	9
1.2 Аналіз конструкцій завантажувальних пристроїв екструдерів	9
1.3 Аналіз приводів та пасових передач завантажувальних пристроїв	10
1.4 Аналіз конструктивної розробки завантажувального пристрою	11
1.5 Обґрунтування необхідності удосконалення конструкції	12
РОЗДІЛ 2. ТЕХНОЛОГІЧНИЙ	14
2.1 Аналіз технологічності деталі	14
2.2 Аналіз діючого технологічного процесу виготовлення деталі	16
2.3 Обробка поверхонь	18
2.4 Розробка схем базування деталі	20
2.5 Розробка маршруту виготовлення деталі	22
2.6 Визначення припусків на обробку та операційних розмірів	24
РОЗДІЛ 3. КОНСТРУКТОРСЬКИЙ	26
3.1 Будова та принцип роботи удосконаленого пристосування	27
3.2 Кінематичний розрахунок	28
3.3 Конструктивний розрахунок подрібнювального валу	31
РОЗДІЛ 4. ЕКОНОМІКА, ОХОРОНА ПРАЦІ ТА НАВКОЛИШНЬОГО СЕРЕДОВИЩА	35
4.1 Техніко-економічне обґрунтування розробки	35
4.2 Охорона праці	39
4.3 Охорона навколишнього середовища	40
ВИСНОВКИ	42
ПЕРЕЛІК ДЖЕРЕЛ ПОСИЛАННЯ	43
ДОДАТКИ	45

КРБ.133ГМ.бл. 32[2]. 01.00.00.000 ПЗ				
Змн	Арк	№ докум.	Підпис	Дата
		Розробив Андреев О.О.		
		Перевішив Прілепо Н.В.		
		Н. Контр. Прілепо Н.В.		
		Керівник Прілепо Н.В.		
		Зав.кафедр Попов С.В.		
			Удосконалення пристосування для попереднього подрібнення зерна	Лім. Арк. Аркшів 6 42
ПДАУ, каф. МЕІ				

ВСТУП

Сучасний розвиток агропромислового комплексу України вимагає підвищення ефективності технологічних процесів переробки зернової сировини, зниження енерговитрат та покращення якості готової продукції. Одним із важливих етапів підготовки зерна до подальшої переробки є його попереднє подрібнення, яке забезпечує рівномірність подачі матеріалу, підвищує продуктивність обладнання та зменшує навантаження на основні робочі органи машини.

У технологічних лініях переробки зерна широко застосовуються дробарки, подрібнювачі та екструдери, ефективність роботи яких значною мірою залежить від конструкції пристроїв попереднього подрібнення. Недосконалість існуючих конструкцій призводить до нерівномірного подавання матеріалу, підвищеного зношування робочих елементів, збільшення енергоспоживання та погіршення техніко-економічних показників обладнання. Тому актуальним є удосконалення пристосувань для попереднього подрібнення зерна шляхом модернізації їх конструкції, підвищення надійності роботи та забезпечення стабільності технологічного процесу.

Особливого значення набуває застосування сучасних інженерних рішень у галузі машинобудування, спрямованих на створення більш ефективних, довговічних і технологічних конструкцій. Удосконалення вузлів подрібнення дозволяє не лише підвищити продуктивність обладнання, а й знизити експлуатаційні витрати, покращити умови праці та підвищити рівень механізації виробничих процесів.

Об'єкт розробки – процес попереднього подрібнення зерна перед екструзійною обробкою у технологічних лініях виробництва комбікормів.

Предмет розробки – конструкція пристосування для попереднього подрібнення зерна, його привід, подрібнювальні вали та параметри роботи механізму.

					КРБ.133ГМбд_32[2].01.00.00.000 ПЗ	Арк. 7
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Метою роботи є удосконалення конструкції пристосування для попереднього подрібнення зерна та виконання його кінематичних та конструктивних розрахунків.

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

- провести аналіз існуючих конструкцій обладнання для попереднього подрібнення зерна;
- обґрунтувати вибір конструктивного рішення удосконаленого пристосування;
- розробити технологічний процес виготовлення деталі «Вал», як одну із основних деталей конструкторської розробки;
- розробити конструкцію пристосування та складальні креслення;
- виконати необхідні конструктивні розрахунки;
- визначити техніко-економічну ефективність запропонованого удосконалення;
- розглянути питання охорони праці та навколишнього середовища.

Практичне значення роботи полягає у підвищенні ефективності роботи екструдера та зменшенні навантаження на його робочі органи за рахунок попереднього подрібнення зернової маси перед основною обробкою.

У кваліфікаційній роботі використано методи аналізу конструкцій машин, інженерних розрахунків, порівняння технічних рішень, а також графічного моделювання конструктивних елементів пристосування.

					КРБ.133ГМбд_32[2].01.00.00.000 ПЗ	Арк. 8
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

РОЗДІЛ 1 ЗАГАЛЬНИЙ

1.1 Значення процесу первинного подрібнення зерна в технології екструдювання

У сучасному агропромисловому виробництві важливе значення має підготовка зерна до подальшої переробки. Одним із найбільш ефективних способів переробки зернової сировини є екструдювання, яке дозволяє отримувати високоякісні кормові продукти з підвищеною поживною цінністю. Якість роботи екструдера значною мірою залежить від рівномірності подачі та ступеня попереднього подрібнення зерна.

Первинне подрібнення зерна забезпечує [10, 13, 14]:

- руйнування великих частинок;
- покращення умов захоплення матеріалу шнеком;
- рівномірне завантаження робочої камери екструдера;
- зниження навантаження на привод;
- підвищення продуктивності обладнання.

При недостатньому подрібненні зерна виникають перевантаження шнекового механізму, збільшуються енерговитрати, погіршується якість готового продукту та прискорюється знос робочих органів екструдера.

Особливо важливим є забезпечення стабільної та безперервної подачі зерна до зони екструдювання. Для цього використовуються спеціальні завантажувальні пристрої, які виконують функції накопичення, подачі та часткового руйнування зернової маси.

1.2 Аналіз конструкцій завантажувальних пристроїв екструдерів

У конструкціях сучасних екструдерів застосовують різні типи завантажувальних пристроїв: бункерні, шнекові, гравітаційні, комбіновані.

					КРБ.133ГМбд_32[2].01.00.00.000 ПЗ	Арк. 9
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Найбільш поширеними є бункерно-шнекові системи, оскільки вони забезпечують безперервну подачу матеріалу до робочої камери екструдера.

Основними елементами таких пристроїв є:

- завантажувальний бункер;
- подавальний механізм;
- привід;
- елементи кріплення;
- натяжний механізм передачі.

Під час роботи екструдера на завантажувальний пристрій діють значні динамічні навантаження, що можуть призводити до вібрацій, послаблення кріплень, нерівномірної подачі зерна, пробуксовування пасової передачі, перевантаження приводу [5, 10, 13].

Аналіз існуючих конструкцій показує, що одним із недоліків багатьох завантажувальних систем є недостатня жорсткість кріплення приводних елементів та складність регулювання натягу пасової передачі.

Крім того, у деяких конструкціях ведений шків встановлюється без окремої опори, що викликає додаткові навантаження на вал та підшипникові вузли [2, 6].

1.3 Аналіз приводів із пасових передач завантажувальних пристроїв

Для приводу завантажувальних механізмів екструдерів широко застосовують пасові передачі. Вони характеризуються простотою конструкції, плавністю роботи та здатністю пом'якшувати ударні навантаження [8, 18, 21].

Основними елементами пасової передачі є ведучий шків, ведений шків, пас, натяжний механізм.

Переваги пасових передач:

- простота монтажу;
- невисока вартість;
- плавність передачі руху;
- зниження динамічних навантажень.

					КРБ.133ГМбд_32[2].01.00.00.000 ПЗ	Арк. 10
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Недоліки: можливість пробуксовування, необхідність періодичного регулювання натягу, зниження ККД при недостатньому натягу паса [8].

Однією з важливих умов надійної роботи передачі є правильне встановлення веденого шківів та забезпечення стабільного натягу паса. При недостатній жорсткості кріплення можливе зміщення шківів, нерівномірний знос паса та виникнення додаткових вібрацій.

Тому застосування окремого кронштейна, який одночасно виконує функції опори для веденого шківів та основи для натяжного механізму, є доцільним конструктивним рішенням.

1.4 Аналіз конструктивної розробки завантажувального пристрою

У кваліфікаційній роботі пропонується удосконалення завантажувального пристрою екструдера, яке полягає у встановленні завантажувального пристрою зверху на станину екструдера з кріпленням болтами (рис.1.1).

Рисунок 1.1 – Функціональна схема роботи пристрою

Таке конструктивне рішення забезпечує [5, 13, 14, 18, 22]:

- надійну фіксацію пристрою;
- зменшення вібрацій під час роботи;
- спрощення монтажу та демонтажу;
- підвищення жорсткості конструкції.

					КРБ.133ГМбд_32[2].01.00.00.000 ПЗ	Арк. 11
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Додатково до станини екструдера кріпиться спеціальний кронштейн, який виконує декілька функцій:

- є опорою для веденого шківів;
- забезпечує встановлення натяжного механізму;
- підвищує стабільність роботи пасової передачі.

Використання кронштейна дозволяє зменшити навантаження на вал, покращити центрування шківів, забезпечити стабільний натяг паса, знизити знос елементів передачі.

Натяжний механізм дозволяє регулювати натяг пасової передачі залежно від режиму роботи обладнання. Це підвищує надійність приводу та зменшує ймовірність пробуксовування паса.

Запропонована конструкція також спрощує технічне обслуговування екструдера та забезпечує зручний доступ до елементів приводу.

1.5 Обґрунтування необхідності удосконалення конструкції

Проведений аналіз показав, що існуючі конструкції завантажувальних пристроїв не завжди забезпечують необхідну надійність та стабільність роботи приводу.

Основними причинами удосконалення є [9]:

- підвищені динамічні навантаження;
- недостатня жорсткість кріплення;
- складність регулювання натягу паса;
- нерівномірна подача зерна;
- підвищений знос елементів передачі.

Запропоноване конструктивне рішення дозволяє усунути зазначені недоліки та забезпечити:

- підвищення надійності роботи екструдера;
- стабільну подачу зерна;
- зниження енерговитрат;

					КРБ.133ГМбд_32[2].01.00.00.000 ПЗ	Арк. 12
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

- покращення умов експлуатації;
- збільшення строку служби приводу.

Висновки. У результаті аналізу технологічного процесу екструдювання зерна та конструкцій завантажувальних пристроїв встановлено, що ефективність роботи екструдера значною мірою залежить від стабільності подачі матеріалу та надійності приводу.

Недоліками існуючих конструкцій є недостатня жорсткість кріплення приводних елементів, складність регулювання пасової передачі та підвищений знос деталей.

У кваліфікаційній роботі запропоновано удосконалити конструкцію завантажувального пристрою, який встановлюється зверху на станину екструдера та кріпиться болтами. Додатково передбачено кронштейн, що виконує функції опори для веденого шківза та основи для натяжного механізму пасової передачі.

Запропоноване удосконалення дозволяє підвищити надійність роботи обладнання, покращити умови експлуатації та збільшити ефективність процесу попереднього подрібнення зерна.

						КРБ.133ГМбд_32[2].01.00.00.000 ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата			13

РОЗДІЛ 2 ТЕХНОЛОГІЧНИЙ

2.1 Аналіз технологічності деталі

Вал є типовою деталлю класу «тіла обертання» і призначений для передачі крутного моменту та сприйняття радіальних і осьових навантажень у пристосуванні для попереднього подрібнення зерна. Аналіз технологічності виконується з метою оцінювання придатності деталі до виготовлення із застосуванням найбільш продуктивних та економічних методів обробки.

Конструкція валу є відносно простою та раціональною. Деталь має ступінчасту форму з ділянками різних діаметрів: M18 (різьбова частина), $\varnothing 28p8$, $\varnothing 35k6$ (двічі), $\varnothing 46$, $\varnothing 32$. Загальна довжина валу становить 315 мм, що відповідає категорії середніх деталей. Наявність двох симетрично розташованих посадочних шийок $\varnothing 35k6$ з шорсткістю Ra 0,63 показує про підвищені вимоги до точності в місцях встановлення підшипників [7, 8, 19].

Таблиця 2.1 – Аналіз поверхонь валу за технологічністю

Поверхня	Номинальний розмір	Квалітет / Клас шорсткості	Технологічність
Різьба	M18		Технологічна, стандартна різьба
Ліва шийка	$\varnothing 28p8$	IT8 / Ra 1,25	Технологічна, шліфування
Посадочна шийка (ліва)	$\varnothing 35k6$	IT6 / Ra 0,63	Підвищена точність, шліфування
Середній пояс	$\varnothing 46$	IT14 / Ra 12,5	Технологічна, токарна обробка
Посадочна шийка (права)	$\varnothing 35k6$	IT6 / Ra 0,63	Підвищена точність, шліфування
Права шийка	$\varnothing 32$	IT14 / Ra 1,25	Технологічна
Шпонковий паз	21-0,2 × 6H9	IT9 / Ra 2,5	Технологічний, фрезерування
Кільцева канавка	4×2, R5	–	Технологічна, токарна обробка

Коефіцієнт уніфікації конструктивних елементів визначається як відношення числа уніфікованих елементів до загального їх числа. Для даного валу цей показник

					КРБ.133ГМбд_32[2].01.00.00.000 ПЗ	Арк. 14
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

є достатньо високим, оскільки більшість поверхонь є стандартними циліндричними ступенями, а різьба М18 та шпонковий паз відповідають нормативам ДСТУ.

Кількісна оцінка технологічності виконується через коефіцієнт точності обробки K_T та коефіцієнт шорсткості K_m [8, 9, 19].

$$K_T = 1 - \frac{1}{A_{cp}}, \quad (2.1)$$

де A_{cp} – квалітет i -ї поверхні;

n_i – кількість поверхонь з даним квалітетом.

Для розглядуваного валу $A_{cp} \approx 10,5$, звідки $K_T \approx 0,905$, що відповідає задовільному рівню технологічності.

Коефіцієнт шорсткості визначається аналогічно:

$$K_m = 1 - \frac{1}{B_{cp}}, \quad (2.2)$$

де B_{cp} – середнє числове значення параметра шорсткості Ra по всіх поверхнях. Враховуючи наявність поверхонь із Ra 0,63 та Ra 12,5 $B_{cp} \approx 4,1$, тому $K_m \approx 0,756$. Обидва коефіцієнти задовільні, що підтверджує прийнятний рівень технологічності конструкції.

Таблиця 2.2 – Кількісні показники технологічності валу

Показник	Формула / Значення	Нормативне значення	Висновок
Коефіцієнт точності K_T	$K_T = 1 - 1/A_{cp} \approx 0,905$	$K \geq 0,8$	Відповідає нормі
Коефіцієнт шорсткості K_m	$K_m \approx 0,756$	$K_m \geq 0,7$	Відповідає нормі
Коефіцієнт уніфікації K_y	$K_y = 8/10 = 0,80$	$K_y \geq 0,6$	Відповідає нормі
Маса деталі	2,6 кг	-	Середня категорія
Загальна довжина	315 мм	-	Категорія середніх деталей

2.2 Аналіз діючого технологічного процесу виготовлення деталі

Діючий технологічний процес виготовлення валу базується на типовій схемі обробки деталей класу «вал» і включає заготівельну, токарну, фрезерну, шліфувальну операції, а також термічну обробку (у разі потреби) і контроль. Заготовкою слугує прокат круглого перерізу – сталевий круг 45 ДСТУ 7809:2015 діаметром 50 мм [19].

Першою є відрізна операція, під час якої заготовку відрізають до розміру 320 мм (з урахуванням припуску на підрізання торців). Далі виконується чорнова токарна обробка, де формуються усі ступені валу з припуском 2-3 мм на сторону. Після чорнового точіння виконується чистова токарна обробка, у тому числі підрізання торців, нарізання різьби М18, точіння шийок до розмірів, близьких до остаточних, та проточування кільцевої канавки.

Фрезерна операція призначена для виготовлення шпонкового пазу розміром 21-0,2 мм на правому кінці валу. Обробка здійснюється кінцевою фрезою на вертикально-фрезерному верстаті з базуванням деталі в призмах. Після фрезерування виконується шліфування посадочних шийок $\varnothing 35_{k6}$ та $\varnothing 28_{p8}$ на круглошліфувальному верстаті в центрах до остаточних розмірів із забезпеченням шорсткості Ra 0,63 та Ra 1,25 відповідно.

Завершальною є контрольна операція, де перевіряють діаметральні розміри, допуски форми та розташування поверхонь, шорсткість та довжинні розміри. Контроль виконується із застосуванням мікрометрів, індикаторів та профілометрів [3, 19].

Аналіз діючого процесу виявив такі недоліки: відсутність нормалізації або покращення між чорною і чистою обробкою, що може призводити до внутрішніх напружень у заготовці; концентрація усіх точних поверхонь на одному шліфувальному переході без проміжного контролю; недостатня кількість операцій технологічного контролю в процесі виготовлення.

					КРБ.133ГМбд_32[2].01.00.00.000 ПЗ	Арк. 16
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Таблиця 2.3 – Структура діючого технологічного процесу виготовлення валу

№ операції	Назва операції	Устаткування	Зміст роботи
005	Заготівельна	Відрізний верстат	Відрізання прутка L = 320 мм
010	Токарна (чорнова)	Токарно-гвинторізний 16K20	Підрізання торців, точіння ступенів з припуском
020	Токарна (чистова)	Токарно-гвинторізний 16K20	Точіння шийок, канавки, різьби M18
030	Фрезерна	Вертикально-фрезерний 6P12	Фрезерування шпонкового пазу
040	Шліфувальна	Круглошліфувальний 3M151	Шліфування $\varnothing 35k6$, $\varnothing 28p8$
050	Контрольна	Контрольний стіл	Контроль усіх розмірів

Аналіз верстатного парку, заданого у виробництві, показав, що застосовуване обладнання є морально застарілим, проте забезпечує необхідну точність обробки за умови належного технологічного оснащення. Для поліпшення якості обробки доцільним є впровадження верстатів із числовим програмним керуванням на чистовій токарній операції

Таблиця 2.4 – Оцінка відповідності операцій вимогам креслення

Операція	Досягнутий квалітет	Необхідний квалітет	Відповідність
Чорнова токарна	IT12–IT13	IT12–IT14	Відповідає
Чистова токарна	IT9–IT10	IT9–IT10	Відповідає
Фрезерна (паз)	IT9	IT9 (6H9)	Відповідає
Шліфування $\varnothing 35k6$	IT6	IT6	Відповідає
Шліфування $\varnothing 28p8$	IT8	IT8	Відповідає
Нарізання різьби M18	6g	–	Відповідає

2.3 Обробка поверхень

Вибір методів обробки окремих поверхонь визначається вимогами до їхньої точності та шорсткості, що зазначені на кресленні. Поверхні валу можна розділити на три групи: вільні поверхні (Ra 12,5, точність за IT14), поверхні під підшипники та посадкові місця (Ra 0,63-1,25, точність IT6-IT8) та функціональні елементи (різьба, паз, канавка).

Для поверхні $\varnothing 46$ з шорсткістю Ra 12,5 та вільними розмірами достатньо одноразового чорнового точіння. Поверхні $\varnothing 28$ р8 та обидві шійки $\varnothing 35$ к6 вимагають послідовного застосування чорнового точіння, чистового точіння та шліфування. Шліфування є завершальним методом, який забезпечує досягнення шорсткості Ra 0,63 та точності відповідно до квалітету к6.

Різьба M18 нарізається на токарному верстаті різцем або мітчиком після остаточного формування зовнішнього діаметра. Шпонковий паз 21-0,2 глибиною до $\varnothing 25$ (де 6H9 – допуск пазу) оброблюється кінцевою фрезою діаметром 6 мм за два проходи: чорновий та чистовий. Шорсткість бокових поверхонь пазу – Ra 2,5, що досягається при чистовому фрезеруванні.

Кільцева канавка у перерізі Б-Б шириною 4 мм, глибиною 2 мм, з радіусом дна R5 виготовляється канавковим різцем з радіусною заточкою. Фаски $2 \times 45^\circ$ знімаються стандартним фасочним різцем або підрізним різцем, встановленим під кутом. Торці підрізаються на чорновій та чистовій токарних операціях.

Маршрут обробки кожної поверхні відповідає принципу поступового підвищення точності: від грубих методів з великими припусками до фінішних методів з мінімальним зніманням матеріалу. Це забезпечує необхідну якість поверхневого шару та відповідність геометричних параметрів вимогам конструкторської документації [2, 3, 19].

					КРБ.133ГМбд_32[2].01.00.00.000 ПЗ	Арк. 18
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Таблиця 2.5 – Маршрут обробки основних поверхонь валу

Поверхня	Шорсткість Ra, мкм	Маршрут обробки	Кількість переходів
Ø46 (середній пояс)	12,5	Точіння чорнове	1
Ø28r8	1,25	Точіння чорнове → чистове → шліфування	3
Ø35к6 (>2)	0,63	Точіння чорнове → чистове → шліфування	3
Ø32 (права частина)	1,25	Точіння чорнове → чистове	2
Різьба М18	–	Точіння заготовки → нарізання різьби	2
Шпонковий паз	2,5	Фрезерування чорнове → чистове	2
Кільцева канавка	–	Точіння канавки (1 перехід)	1
Фаски 2×45°	–	Зняття фаски різцем	1

Розрахунок режимів різання виконується для кожного переходу окремо. Для чистового точіння посадочної шийки Ø35к6 зі сталі 45 рекомендовано такі режими: швидкість різання $v = 120-160$ м/хв, подача $S = 0,1-0,15$ мм/об, глибина різання $t = 0,3-0,5$ мм. Для шліфування шийки Ø35к6 рекомендовано: швидкість шліфувального круга $v_k = 35$ м/с, швидкість заготовки $v_z = 20-30$ м/хв, поперечна подача $S_t = 0,01-0,02$ мм/хід [19].

Основний технологічний час для кожного переходу визначається за формулою [19]:

$$T_0 = \frac{L+l_1+l_2}{n \cdot S}, \quad (2.3)$$

де L – довжина обробки, мм;

l_1, l_2 – величини зрізання та перебігу, мм;

n – частота обертання шпинделя, об/хв

S – подача, мм/об.

					КРБ.133ГМбд_32[2].01.00.00.000 ПЗ	Арк. 19
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Таблиця 2.6 – Рекомендовані режими різання для основних операцій

Операція / Перехід	v , м/хв	S , мм/об (мм/хід)	t , мм	n , об/хв
Чорнове точіння $\varnothing 46$	80–100	0,3–0,5	2,5–3,0	500–630
Чистове точіння $\varnothing 35к6$	120–160	0,10–0,15	0,3–0,5	1000–1250
Нарізання різьби М18	10–15	2,5 (крок)	–	160–200
Фрезерування пазу (чорн.)	25–30	0,05/зуб	5,0	800–1000
Фрезерування пазу (чист.)	35–40	0,03/зуб	0,3	1250–1600
Шліфування $\varnothing 35к6$	$v_k = 35$ м/с	0,015–0,020	0,01–0,02	–

2.4 Розробка схем базування деталі

Базування деталі є одним із ключових елементів технологічного проектування, оскільки від правильного вибору баз залежить точність обробки, продуктивність та можливість застосування прогресивного оснащення. При базуванні валу застосовуються настановні, направляючі та опорні бази відповідно до принципу єдності і сталості баз.

На токарних операціях базування здійснюється у центрах (подвійне центрування: передній та задній центри) з приводом через повідковий муфрон. Така схема реалізує принцип сталості баз і дозволяє за одне встановлення обробити більшість зовнішніх циліндричних поверхонь. Центровий отвір, виконаний на заготовельній операції, є технологічною базою протягом усього процесу механічної обробки [19].

Теоретична схема базування в центрах позбавляє деталь п'яти ступенів вільності: три поступальних та два обертальних. Один ступінь свободи – обертання навколо власної осі – не усувається, оскільки деталь обертається під час обробки. Передача обертання здійснюється через хомутки або рифлений повідковий центр.

Для фрезерної операції (фрезерування шпindelового пазу) застосовується базування в призмах. Деталь встановлюється у дві призми (з кутом 90°) і фіксується

					КРБ.133ГМбд_32[2].01.00.00.000 ПЗ	Арк.
						20
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

прихватами. Ця схема забезпечує самоцентрування деталі та постійне положення осі валу відносно ріжучого інструмента незалежно від відхилень діаметра заготовки у межах допуску.

Базування при шліфуванні виконується аналогічно токарній обробці – в центрах. Використання тих самих технологічних баз (центрових отворів) для обох операцій мінімізує похибку базування та забезпечує виконання принципу єдності баз. Радіальне биття шліфованих шийок відносно осі центрових отворів не перевищує допустимого значення [9, 10].

Таблиця 2.7 – Схеми базування деталі на операціях технологічного процесу

Операція	Схема базування	Тип баз	Кількість усунутих ступенів свободи
Токарна чорнова	У центрах + повідок	Подвійна центруюча + опорна	5
Токарна чистова	У центрах + повідок	Подвійна центруюча + опорна	5
Фрезерна	У призмах + прихвати	Подвійна центруюча + опорна	5
Шліфувальна	У центрах + повідок	Подвійна центруюча + опорна	5
Контрольна	На призмах	Настановна	3-5

Похибка базування при встановленні в центрах визначається точністю виготовлення центрових отворів та зносом центрів. Для запобігання похибок, пов'язаних зі зміщенням осі деталі, рекомендується застосовувати плаваючий передній центр, який компенсує відхилення довжини заготовки і торцеве биття.

$$\varepsilon_b = 0 \text{ (при збігу виміральної та технологічної баз)} [19],$$

де ε_b – похибка базування.

Оскільки у більшості операцій вимірвальна база збігається з технологічною (вісь деталі), похибка базування дорівнює нулю або є мінімальною. Виняток

становить обробка шпонкового пазу, де можлива похибка базування по ширині пазу.

$$\varepsilon_6 = \frac{T_d}{2} \cdot \frac{(1 - \sin(\frac{\alpha}{2}))}{\sin(\frac{\alpha}{2})}, \quad (2.4)$$

T_d – допуск на діаметр базової поверхні;

α – кут призми (90°).

При $T_d = 0,025$ мм та $\alpha = 90^\circ$ маємо $\varepsilon_6 \approx 0,005$ мм, що є прийнятним для даного якості [3, 19].

Таблиця 2.8 – Аналіз похибок базування за операціями

Операція	Тип базування	Похибка базування ε_6 , мм	Допустима похибка, мм
Чорнова токарна	В центрах	0–0,03	0,2–0,5
Чистова токарна	В центрах	0–0,02	0,05–0,1
Фрезерна (паз)	У призмах	$\approx 0,005$	0,026 (IT9)
Шліфування	В центрах	0–0,005	0,016 (IT6)

2.5 Розробка маршруту виготовлення деталі

Маршрут виготовлення валу розробляється з урахуванням вимог конструкторської документації, типу виробництва (дрібно-серійне), наявного обладнання та принципів раціональної організації технологічного процесу.

Маршрут будується за принципом поступового наближення форми та розмірів заготовки до готової деталі [19]. Маршрутна та операційна карта наведені у таблицях А.1 та А.2.

Перша операція – заготовельна: відрізання прутка діаметром 50 мм та довжиною 320 мм. Припуск 5 мм на довжину передбачає підрізання торців та обробку центрових отворів. Наступна – центрувальна операція, де свердлюються центрові отвори з обох торців за ГОСТ 14034–74 (тип А, $d = 3,15$ мм). Ця операція є критично важливою, оскільки центрові отвори слугують технологічними базами протягом усього подальшого процесу [3].

					КРБ.133ГМбд_32[2].01.00.00.000 ПЗ	Арк.
						22
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Операція 015 – токарна чорнова – виконується на токарно-гвинторізному верстаті з базуванням у центрах. Обточуються усі ступені валу: $\varnothing 20$ (під різьбу М18), $\varnothing 30$ (під $\varnothing 28r8$), $\varnothing 37$ (під $\varnothing 35k6$), $\varnothing 48$ (під $\varnothing 46$), $\varnothing 37$ (під $\varnothing 35k6$ справа), $\varnothing 34$ (під $\varnothing 32$). Залишається припуск 1,5–2 мм на бік для подальшої чистової обробки. На цій же операції знімаються фаски.

Операція 025 – токарна чистова – включає точне точіння шийок до розмірів з припуском під шліфування (0,3–0,4 мм на бік), нарізання різьби М18, підрізання торців у розмір, точіння кільцевої канавки. Після цього виконується фрезерна операція 030 для виготовлення шпонкового пазу на правому кінці валу з базуванням у призмах.

Операція 040 – шліфувальна – є фінішною для посадочних шийок. Шліфуються $\varnothing 35k6$ (обидві шийки) та $\varnothing 28r8$ до остаточних розмірів. Шліфування виконується в декілька проходів: чорнові проходи зі зніманням 0,1–0,15 мм, чистові – зі зніманням 0,01–0,02 мм, вихреві (калібруючі) без поперечної подачі. Завершується процес контрольною операцією 050 [3, 19].

Таблиця 2.9 – Маршрут виготовлення валу

Таблиця 5.1 – Маршрут виготовлення валу	Таблиця 5.1 – Маршрут виготовлення валу	Таблиця 5.1 – Маршрут виготовлення валу	Таблиця 5.1 – Маршрут виготовлення валу	Таблиця 5.1 – Маршрут виготовлення валу
005	Заготівельна	Відрізний верстат 8Б66	Лещата	Відрізний диск
010	Центрувальна	Токарний 16К20 або центр. верст.	Патрон	Центрівка ГОСТ 14952
015	Токарна чорнова	Токарний 16К20	Центри + повідок	Прохідний різець Т15К6
025	Токарна чистова	Токарний 16К20	Центри + повідок	Прохідн., різьб. різець Т30К4
030	Фрезерна	Вертикально- фрезерний 6Р12	Призми + прихвати	Кінцева фреза $\varnothing 6$, Т6М5
040	Шліфувальна	Кругло- шліфувальний 3М151	Центри	Шліф. круг 1- 600×50×305
050	Контрольна	Контрольний стіл	Призми	Мікрометр, індикатор, профілометр

Розроблений маршрут відповідає принципам: спочатку обробляються поверхні, які будуть слугувати технологічними базами; потім – поверхні з більшими припусками; наприкінці – точні посадочні поверхні, щоб виключити їхнє пошкодження на наступних операціях. Введення центрувальної операції на початку процесу дозволяє уніфікувати базування та підвищити точність взаємного розташування поверхонь.

Таблиця 2.10 – Послідовність обробки поверхонь за операціями маршруту

Поверхня	005	010	015	025	030	040	050
Торці (підрізання)	-	-	+	+	-	-	К
Ø46 (середній пояс)	-	-	+	-	-	-	К
Ø35к6 (×2)	-	-	+ч	+ч	-	+ш	К
Ø28р8	-	-	+ч	+ч	-	+ш	К
Ø32 (права)	-	-	+ч	+ч	-	-	К
Різьба М18	-	-	+д	+р	-	-	К
Щонковий паз	-	-	-	-	+ф	-	К
Кільцева канавка	-	-	-	+к	-	-	К
Фаски	-	-	+	+	-	-	К

Умовні позначення: + – виконання операції; +ч – чорновий прохід;

+ш – шліфування; +д – діаметр під різьбу; +р – нарізання різьби;

+ф – фрезерування; +к – канавка; К – контроль

2.6 Визначення припусків на обробку та операційних розмірів

Визначення припусків на механічну обробку є важливим етапом технологічного проектування, оскільки від їх правильного встановлення залежить витрата матеріалу, трудомісткість обробки та собівартість виготовлення деталі. Припуск має бути мінімальним, але достатнім для усунення всіх дефектів попереднього переходу.

Розрахунок мінімального припуску виконується за методом диференційованого розрахунку (метод ВНІТ). Мінімальний припуск на обробку зовнішньої циліндричної поверхні при обробці в центрах визначається за формулою [3, 19]:

$$2 \cdot Z_{min} = 2(R_{z(i-1)} + h_{(i-1)} + \sqrt{(\Delta^2 \sigma_{(i-1)} + \varepsilon^2 \delta)}), \quad (2.5)$$

де $R_z(i-1)$ – висота нерівностей профілю на попередньому переході, мкм;

$h(i-1)$ – глибина дефектного шару після попереднього переходу, мкм;

				КРБ.133ГМбд_32[2].01.00.00.000 ПЗ		Арк.
						24
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

$\Delta\sigma(i-1)$ – просторові відхилення заготовки (відхилення від прямолінійності осі), мкм;

ε_6 – похибка базування, мкм.

Для прокатної заготовки із сталі 45 діаметром 50 мм: $Rz = 160$ мкм, $h = 250$ мкм. Питома кривизна прокату $\delta_k = 1,0$ мкм/мм, звідси загальна кривизна заготовки:

$$\Delta\sigma = \delta_k \cdot l_k = 1,0 \cdot 315 = 315 \text{ мкм,}$$

де l_k – відстань від опори до середини заготовки.

Після чорнового точіння залишковий коефіцієнт уточнення $K_y = 0,06$, тому просторові відхилення після чоргової токарної обробки: $\Delta 1 = 0,06 \cdot 315 \approx 19$ мкм; після чистового точіння: $\Delta 2 = 0,04 \cdot 19 \approx 0,8$ мкм, після шліфування: $\Delta 3 \approx 0,1$ мкм.

Мінімальний припуск на чорнове точіння поверхні $\varnothing 35k6$:

$$2 \cdot Z_{1min} = 2 \cdot (160 + 250 + \sqrt{(315^2 + 0^2)}) = 2 \cdot (410 + 315) = 1450 \text{ мкм} \approx 1,5 \text{ мм}$$

Мінімальний припуск на чистове точіння:

$$2 \cdot Z_{2min} = 2 \cdot (50 + 50 + 19) = 2 \cdot 119 = 238 \text{ мкм} \approx 0,25 \text{ мм}$$

Мінімальний припуск на шліфування:

$$2 \cdot Z_{3min} = 2 \cdot (5 + 15 + 0,8) = 2 \cdot 20,8 \approx 42 \text{ мкм} \approx 0,04 \text{ мм}$$

Таблиця 2.11 – Розрахунок припусків та операційних розмірів для $\varnothing 35k6$

Перехід	Rz, мкм	h , мкм	$\Delta\sigma$, мкм	$2Z_{min}$, мм	Допуск T_d , мм	Операційний розмір, мм
Заготовка (прокат)	160	250	315	–	2,0	$\varnothing 50$ (прокат $\varnothing 50$)
Чорнове точіння	50	50	19	1,45	0,50	$\varnothing 37,5 +0,0/-0,50$
Чистове точіння	20	25	0,8	0,24	0,10	$\varnothing 35,5 +0,0/-0,10$
Шліфування (чист.)	5	15	0,1	0,04	0,016	$\varnothing 35,018 +0,002/+0,018$

Операційні розміри визначаються від кінцевого розміру деталі шляхом послідовного додавання мінімальних припусків та округлення до технологічно зручних значень. Загальний (сумарний) припуск на обробку поверхні $\varnothing 35k6$ від прокату до готової деталі:

					КРБ.133ГМбд_32[2].01.00.00.000 ПЗ	Арк.
						25
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

$$2 \cdot Z_{\text{сум}} = (D_{\text{за}} - D_{\text{дет}}) = 50 - 35,009 = 14,991 \text{ мм.}$$

Таким чином, загальне знімання металу становить близько 15 мм по діаметру, або 7,5 мм на сторону. Розподіл цього припуску між операціями здійснено так: на чорнове точіння – 12,5 мм по діаметру, на чистове точіння – 2,0 мм, на шліфування – 0,5 мм.

Аналогічним чином визначаються припуски для поверхні $\varnothing 28r8$. Після прокату залишається заготовчий розмір $\varnothing 30$ (після чорнового точіння до $\varnothing 50$), а чистова обробка ведеться від $\varnothing 30$ до $\varnothing 28,4$ (чистове точіння) і далі до $\varnothing 28,033$ (шліфування, оскільки r8 дає верхнє відхилення +0,041, нижнє +0,020, тобто розмір 28,020–28,041 мм) [2, 3, 19].

Таблиця 2.12 – Зведена відомість припусків на обробку поверхонь валу

Поверхня	Розмір деталі, мм	Розмір заготовки, мм	Загальний припуск $2Z_{\text{сум}}$, мм	Кількість переходів
$\varnothing 35k6$ (шийки $\times 2$)	$\varnothing 35,002 \dots \varnothing 35,018$	$\varnothing 50$ (прокат)	14,99	3 (Тч + Чч + Ш)
$\varnothing 28r8$	$\varnothing 28,020 \dots \varnothing 28,041$	$\varnothing 50$ (прокат)	21,96	3 (Тч + Чч + Ш)
$\varnothing 46$	46 (вільн.)	$\varnothing 50$ (прокат)	4,0	1 (Тч)
$\varnothing 32$	$\varnothing 32$ (вільн.)	$\varnothing 50$ (прокат)	18,0	2 (Тч + Чч)
Різьба M18	M18 \times 2,5	$\varnothing 20$ (для Тч)	2,0	2 (точ. діам. + різьба)
Шпонковий паз	21-0,2 мм	суцільно	21,0 мм (ширина)	2 (чорн. + чист. фрез.)
Торці	315 мм	320 мм	5,0 (сумарно)	2 (Тч + Чч)

Висновки. Наведені розрахунки свідчать про раціональний розподіл припусків між переходами і відповідність операційних розмірів вимогам кресленика. Мінімізація припусків на чистових і фінішних переходах дозволяє знизити трудомісткість і підвищити якість поверхневого шару шийок валу, які є найвідповідальнішими з погляду умов експлуатації пристосування для подрібнення зерна.

РОЗДІЛ 3 КОНСТРУКТОРСЬКИЙ

3.1 Будова та принцип роботи удосконаленого пристосування

Завантажувальний пристрій призначений для подачі зерна до шнекового валу екструдера, а також для часткового подрібнення зерна при виготовленні комбікормів. Дана розробка підвищить продуктивність екструдера, а також покращить якість комбікормів за рахунок часткового подрібнення зерна перед подачею до шнеку (рис.3.1) [20].

1 – бункер завантажувальний, 2 – корпус пристосування, 3 – шпильовий вал ведучий, 4 – шліцьовий вал ведений, 5 – зубчасте колесо ведуче, 6 – зубчасте колесо ведене, 7 – ведучий вал, 8 – ведений шків, 9 – натяжний пристрій пасової передачі, 10 – кронштейн опори веденого шківа, 11 – станина екструдера.

Рисунок 3.1 – Конструктивна схема удосконаленого пристосування (додаток Б)

					КРБ.133ГМбд_32[2].01.00.00.000 ПЗ	Арк. 27
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Завантажувальний пристрій складається з двох шліцьових валів, які обертаються назустріч один одному, пасової і зубчастої передач. Пасова передача, яка забезпечує обертання шліцьових валів, приводиться в рух від основного валу екструдера [20, 22].

Шліцьові вали обертаються на шарикопідшипниках, які розміщені в рухомих корпусах. При необхідності регулювання зазору між шліцами двох валів потрібно змістити корпуси підшипників в відповідному напрямку. Якщо зерно вологе то міжцентрову відстань потрібно установити в межах 98-100 мм. При сухому насінні міжцентрова відстань повинна становити 94-97 мм.

Завантажувальний пристрій встановлюється зверху на станину екструдера і кріпиться болтами. Також до станини кріпиться кронштейн, що має опорою для введеного шківів, натяжник для пасової передачі.

Обертання шліцьових валів назустріч один одному забезпечують зубчасті передачі.

Між пасовою і зубчастою передачею встановлена запобіжна муфта. Вона служить запобіжним пристроєм при попаданні в завантажувач металевих частинок, і запобігання попаданню їх в шнек екструдера.

Для забезпечення нормальної роботи завантажувача потрібно розрахувати пасову передачу [14, 15].

3.2 Кінематичний розрахунок

Розроблене пристосування призначене для попереднього подрібнення зерна перед його подачею до робочої камери шнекового екструдера. Подрібнення здійснюється двома шліцьовими валами з ріжучими елементами, які обертаються назустріч один одному. Завдяки цьому зернова маса захоплюється, частково руйнується і рівномірно подається до шнекового валу екструдера.

Вихідні параметри для розрахунку:

Потужність, що передається на пристрій	N	1,5 кВт
Частота обертання ведучого вала	n_1	250 об/хв.
Кількість подрібнювальних валів		2

										КРБ.133ГМбд_32[2].01.00.00.000 ПЗ	Арк. 28
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата							

Передаточне відношення зубчастої передачі	u_3	1
Кількість зубців першого колеса	z_1	52
Кількість зубців другого колеса	z_2	52
Модуль зубчастих коліс	m	5 мм
Матеріал валів		сталь 40Х
ККД зубчастої передачі	η_3	0,97
ККД лішипників	$\eta_{\text{лп}}$	0,99

Передаточне відношення зубчастої передачі

Передаточне відношення зубчастої передачі визначається за формулою [11, 16, 17]:

$$u_3 = \frac{z_2}{z_1}, \quad (3.1)$$

$$u_3 = \frac{52}{52} = 1.$$

Отже, зубчаста передача не змінює частоту обертання, а лише забезпечує обертання другого подрібнювального вала у протилежному напрямку.

$$n_2 = n_1 = 250 \text{ об/хв.}$$

Кутова швидкість валів

Кутова швидкість визначається за формулою [2, 8]:

$$\omega = \frac{\pi n}{30}, \quad (3.2)$$

$$\omega = \frac{3,14 \cdot 250}{30} = 26,2 \text{ рад/с}$$

Отже, $\omega_1 = \omega_2 = 26,2 \text{ рад/с}$

Обертний момент на ведучому валу

Обертний момент визначається за формулою [2, 9]:

$$T = \frac{9550N}{n}, \quad (3.3)$$

де N – потужність, кВт; n – частота обертання, об/хв.;

9550 – це результат перерахунку одиниць з кВт у Вт та частоти обертання з об/хв. у рад/с.

$$T = \frac{9550 \cdot 1,5}{250} = 57,3 \text{ Н} \cdot \text{м}$$

З урахуванням втрат у зубчастій передачі момент на другому валу:

						КРБ.133ГМбд_32[2].01.00.00.000 ПЗ	Арк. 29
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата			

$$T_2 = T_1 \cdot \eta_3 \cdot \eta_n, \quad (3.4)$$

$$T_2 = 57,3 \cdot 0,97 \cdot 0,99 = 55,1 \text{ Н}\cdot\text{м}$$

Отже, для подрібнювальних валів приймемо:

$$T = 57 \text{ Н}\cdot\text{м}$$

Розрахунок зубчастих передач

Ділильні діаметри зубчастих коліс визначаються за формулою [11, 16, 17]:

$$d = mz, \quad (3.5)$$

де ділильний коловий модуль нормальний $m_n = 5 \text{ мм}$ і дорівнює торцевому модулю m_t , отже $m_t = m_n = 5 \text{ мм}$ (для циліндричних зубчастих передач).

Для першого зубчастого колеса:

$$d_1 = 5 \cdot 52 = 260 \text{ мм.}$$

Для другого зубчастого колеса:

$$d_2 = 5 \cdot 52 = 260 \text{ мм}$$

Оскільки кількість зубців однакова, зубчасті колеса мають однакові ділильні діаметри.

Міжосьова відстань визначається за формулою:

$$a = \frac{d_1 + d_2}{2}, \quad (3.6)$$

Отже, відстань між осями подрібнювальних валів:

$$a = 260 \text{ мм.}$$

Діаметри вершин зубців:

$$d_a = m(z + 2), \quad (3.7)$$

$$d_a = 5(52 + 2) = 270 \text{ мм}$$

Діаметри западин зубців:

$$d_f = m(z - 2,5), \quad (3.8)$$

$$d_f = 5(52 - 2,5) = 247,5 \text{ мм}$$

Ширину зубчастого колеса приймемо:

$$b = (8 \dots 12)m$$

Приймаємо: $b = 10m$, $b = 10 \cdot 5 = 50 \text{ мм}$

Отже, ширина зубчастих коліс: $b = 50 \text{ мм}$.

					КРБ.133ГМбд_32[2].01.00.00.000 ПЗ	Арк. 30
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Розрахунок сил у зубчастій передачі

Окружна сила на зубчастому колесі визначається за формулою [11, 16, 17]:

$$F_t = \frac{2T}{d}, \quad (3.9)$$

де $T = 57,3 \text{ Н}\cdot\text{м}$; $d = 0,26 \text{ м}$.

$$F_t = \frac{2 \cdot 57}{0,26} = 440,8 \text{ Н}$$

Приймаємо $F_t = 441 \text{ Н}$.

Радіальна сила для прямозубої циліндричної передачі:

$$F_r = F_t \cdot \operatorname{tg} \alpha, \quad (3.10)$$

де $\alpha = 20^\circ$.

$$F_r = 441 \cdot \operatorname{tg} 20^\circ = 441 \cdot 0,364 = 160,5 \text{ Н}$$

Приймаємо: $F_r = 161 \text{ Н}$.

Повна сила в зачепленні:

$$F = \sqrt{F_t^2 + F_r^2}, \quad (3.11)$$

$$F = \sqrt{441^2 + 161^2} = 469,5 \text{ Н}$$

Приймаємо: $F = 470 \text{ Н}$.

3.3 Конструктивний розрахунок подрібнювального вала

Попередній розрахунок діаметра вала

Діаметр вала визначаємо з умови міцності на кручення [7, 16, 20]:

$$d = \sqrt[3]{\frac{16T}{\pi[\tau]}} \quad (3.12)$$

де T – обертовий момент, $\text{Н}\cdot\text{мм}$;

$$T = 57,3 \text{ Н}\cdot\text{м} = 57300 \text{ Н}\cdot\text{мм}$$

Допустиме напруження кручення для сталі 40Х приймаємо: $[\tau] = 35 \text{ МПа}$

Тоді:

$$d = \sqrt[3]{\frac{16 \cdot 57300}{3,14 \cdot 35}} = 20,3 \text{ мм}$$

					КРБ.133ГМбд_32[2].01.00.00.000 ПЗ	Арк. 31
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

З урахуванням шліцьових пазів, ударних навантажень і роботи з зерною масою приймаємо конструктивно

$$d = 35 \text{ мм}$$

для посадочних місць під підшипники $d_1 = 40 \text{ мм}$

Довжина робочої частини вала

Робочу довжину подрібнювального вала приймаємо відповідно до ширини завантажувального отвору бункера: $L_p = 300 \text{ мм}$

З урахуванням місць під підшипники, зубчасте колесо та шків загальна довжина вала: $L = 500 - 550 \text{ мм}$

Приймаємо: $L = 520 \text{ мм}$

Конструкція робочої поверхні вала

На робочій частині вала передбачаються ріжучі або шліцьові виступи.

Кількість виступів приймаємо: $z_p = 8$

Глибина шліца: $h = 4 - 6 \text{ мм}$

Приймаємо: $h = 5 \text{ мм}$

Крок розміщення ріжучих елементів по довжині

$$t = \frac{L_p}{i}, \quad (3.13)$$

де i – кількість рядів ріжучих елементів; приймаємо $i = 10$.

$$t = \frac{300}{10} = 30 \text{ мм}$$

Розрахунок пасової передачі

Пасова передача призначена для передачі обертального руху від основного вала екструдера до ведучого подрібнювального вала.

Приймаємо, що частота обертання основного вала екструдера $n_0 = 250 \text{ об/хв.}$

Оскільки необхідна частота обертання подрібнювального вала також становить: $n_1 = 250 \text{ об/хв.}$ передаточне відношення пасової передачі:

$$u_{\Gamma} = \frac{n_0}{n_1}, \quad (3.14)$$

$$u_{\Gamma} = \frac{250}{250} = 1.$$

Отже, діаметри шківів можна прийняти однаковими.

					КРБ.133ГМбд_32[2].01.00.00.000 ПЗ	Арк. 32
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Приймаємо діаметр ведучого шківа: $D_1 = 160$ мм

Тоді діаметр веденого шківа: $D_2 = D_1 \cdot u_{п}$,

$$D_2 = 160 \cdot 1 = 160 \text{ мм}$$

Швидкість паса:

$$v = \frac{\pi D_1 n_1}{60 \cdot 1000} \quad (3.15)$$

$$v = \frac{3,14 \cdot 160 \cdot 250}{60 \cdot 1000} = 2,09 \text{ м/с}$$

Ця швидкість є допустимою для клинопасової передачі невеликої потужності.

Розрахунок підшипників [7]

Для опор подрібнювальних валів приймаємо радіальні кулькові підшипники.

Діаметр посадочного місця вала $d_{п} = 40$ мм

Можна прийняти підшипник: № 208

Основні параметри підшипника 208:

Внутрішній діаметр 40 мм, зовнішній – 80 мм; ширина 18 мм

Підшипники встановлюються у корпусах з обох боків кожного подрібнювального вала

Розрахунок продуктивності пристосування

Орієнтовну продуктивність можна визначити за формулою:

$$Q = 3600 \cdot F \cdot v_m \cdot \rho \cdot \varphi \quad (3.16)$$

де F – площа прохідного перерізу, м²;

v_m – швидкість переміщення зерна, м/с;

ρ – насипна густина зерна, кг/м³;

φ – коефіцієнт заповнення.

Приймаємо: $F = 0,03$ м²; $v_m = 0,05$ м/с; $\rho = 750$ кг/м³; $\varphi = 0,35$

Тоді:

$$Q = 3600 \cdot 0,03 \cdot 0,05 \cdot 750 \cdot 0,35 = 1417,5 \text{ кг/год.}$$

Отже, орієнтовна продуктивність пристосування становить $Q \approx 1,4$ т/год.

					КРБ.133ГМбд_32[2].01.00.00.000 ПЗ	Арк. 33
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

У результаті кінематичних і конструктивних розрахунків встановлено основні параметри пристосування для попереднього подрібнення зерна. Подрібнювальний механізм складається з двох валів, які обертаються назустріч один одному з частотою 250 об/хв. Передача руху між валами здійснюється парою однакових зубчастих коліс з кількістю зубів 52 і модулем 5 мм. Передаточне відношення зубчастої передачі дорівнює 1, що забезпечує однакову частоту обертання обох валів.

Розрахунковий обертовий момент на валу становить приблизно 57 Н·м. За умовою міцності мінімальний діаметр вала становить близько 20 мм, однак з урахуванням ударного навантаження, наявності шліцьових пазів і конструктивної надійності прийнято діаметр робочої частини 35 мм, а посадочних місць під підшипники – 40 мм.

Запропонована конструкція забезпечує попереднє руйнування зернової маси, рівномірну подачу матеріалу до шнека екструдера та зменшення навантаження на основний робочий орган машини.

					КРБ.133ГМбд_32[2].01.00.00.000 ПЗ	Арк. 34
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

4. ЕКОНОМІКА, ОХОРОНА ПРАЦІ ТА НАВКОЛИШНЬОГО СЕРЕДОВИЩА

4.1 Економічне обґрунтування розробки

У кваліфікаційній роботі запропоновано удосконалення завантажувального пристрою екструдера шляхом встановлення двох шліцьових валів для попереднього подрібнення зерна. Конструкція забезпечує рівномірну подачу матеріалу до шнекового валу, покращує якість підготовки зернової маси та зменшує навантаження на основний робочий орган екструдера.

Внаслідок удосконалення досягаються:

- підвищення продуктивності екструдера;
- зменшення енергоспоживання;
- зниження зносування шнека;
- покращення якості комбікорму;
- скорочення простоїв обладнання.

1. Визначення вартості виготовлення пристрою

Таблиця 4.1 – Вартість основних матеріалів

Найменування матеріалу	Кількість	Ціна за одиницю, грн	Сума, грн
Сталь 40Х для валів	18 кг	85	1530
Листова сталь	12 кг	60	720
Підшипники	4 шт.	320	1280
Шкври	2 шт.	550	1100
Пас клиновий	1 шт.	450	450
Кріпильні елементи	комплект	400	400
Фарбування та допоміжні матеріали	-	-	350
Разом			5830

2. Витрати на виготовлення деталей

Таблиця 4.2 – Трудомісткість механічної обробки

Вид операції	Тривалість, год.	Вартість 1 год, грн	Сума, грн
Токарна обробка	8	220	1760
Фрезерування	5	240	1200
Свердління	2	180	360
Шліфування	3	230	690
Зварювальні роботи	4	250	1000
Складання та монтаж	5	200	1000
Разом			6010

3. Загальні капітальні витрати

Повна собівартість визначається за формулою [1]:

$$K = C_{\text{мат}} + C_{\text{виг}} + C_{\text{накл}}, \quad (4.1)$$

де $C_{\text{мат}}$ – витрати на матеріали;

$C_{\text{виг}}$ – витрати на виготовлення;

$C_{\text{накл}}$ – накладні витрати.

Накладні витрати приймаємо у розмірі 25% від витрат на виготовлення:

$$C_{\text{накл}} = 0,25 \cdot 6010 = 1502,5 \text{ грн}$$

Тоді повна собівартість становить:

$$K = 5830 + 6010 + 1502,5 = 13342,5 \text{ грн}$$

4. Експлуатаційні витрати

Витрати електроенергії:

Потужність приводу: $N = 1,5 \text{ кВт}$

Тривалість роботи за рік: $t = 1200 \text{ год.}$

Тариф на електроенергію: $C_e = 6,5 \text{ грн/кВт}\cdot\text{год.}$

Річні витрати електроенергії [6, 19].

$$C_{\text{ел}} = N \cdot t \cdot C_e \quad (4.2)$$

$$C_{\text{ел}} = 1,5 \cdot 1200 \cdot 6,5 = 11700 \text{ грн}$$

Витрати на технічне обслуговування:

					КРБ.133ГМбд_32[2].01.00.00.000 ПЗ	Арк.
						36
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Витрати на технічне обслуговування приймаємо у розмірі 8 % від капітальних витрат [1]:

$$C_{\text{ТО}} = 0,08 \cdot 13342,5 = 1067,4 \text{ грн}$$

Амортизаційні відрахування:

Норму амортизації приймаємо: $A = 15\%$.

Річні амортизаційні витрати:

$$C_{\text{ам}} = 0,15 \cdot 13342,5 = 2001,3 \text{ грн}$$

Загальні річні експлуатаційні витрати:

$$C_{\text{експ}} = 11700 + 1067,4 + 2001,3 = 14768,7 \text{ грн}$$

5. Економічний ефект

В результаті використання пристрою:

- продуктивність екструдера збільшується приблизно на 10–15%;
- енерговитрати зменшуються на 8–10%;
- знижується зношування шнекового валу;
- скорочуються витрати на ремонт і технічне обслуговування.

Прийmemo:

- річна економія електроенергії – 4200 грн;
- економія на ремонтах – 3800 грн;
- зменшення простоїв – 5200 грн.

Тоді річний економічний ефект:

$$E = 4200 + 3800 + 5200 = 13200 \text{ грн/рік}$$

Термін окупності [6, 19]:

$$T = \frac{C}{E}, \quad (4.3)$$

$$T = \frac{14768,7}{13200} = 1,1 \text{ р.}$$

Отже, термін окупності конструкторської розробки 1,1 року.

Економічна ефективність:

Коефіцієнт економічної ефективності:

$$E_{\text{еф}} = \frac{1}{T}, \quad (4.4)$$

					КРБ.133ГМбд_32[2].01.00.00.000 ПЗ	Арк. 37
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

$$E_{\text{еф}} = \frac{1}{1,1}$$

Оскільки $E_{\text{еф}} > 0,15$ впровадження пристосування є економічно доцільним.

Основні техніко-економічні показники наведені в таблиці 4.3.

Таблиця 4.3 – Основні техніко-економічні показники

Показники	Базова конструкція	Удосконалена конструкція	Відхилення, %
Продуктивність, т/год	1,1	1,4	+27
Потужність приводу, кВт	1,8	1,5	-16
Нерівномірність подачі зерна	значна	незначна	покращення
Навантаження на шнек екструдера	високе	знижене	покращення
Якість попереднього подрібнення	низька	підвищена	покращення
Кількість простоїв обладнання	12 год./рік	5 год./рік	-58
Витрати на ремонт, грн/рік	8200	4400	-46
Річні експлуатаційні витрати, грн	18400	14768,7	-17
Річний економічний ефект, грн	-	13200	-
Термін окупності, років	-	1,1	-

Висновок. В результаті проведених економічних розрахунків встановлено, що впровадження пристосування для попереднього подрібнення зерна є економічно ефективним. Загальні капітальні витрати на виготовлення та монтаж конструкції становлять близько 13342,5 грн.

Використання розробленого пристосування забезпечує зниження експлуатаційних витрат, покращення умов роботи екструдера та підвищення продуктивності технологічного процесу. Річний економічний ефект становить 13200 грн, а термін окупності конструкції - 1,1 року.

Отримані результати підтверджують доцільність використання запропонованої конструкції у технологічних лініях виробництва комбікормів.

						КРБ.133ГМбд_32[2].01.00.00.000 ПЗ	Арк.
							38
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата			

4.2 Охорона праці

Охорона праці є важливою складовою організації виробничого процесу в галузі машинобудування та агропромислового комплексу. Під час експлуатації обладнання для попереднього подрібнення зерна необхідно забезпечити безпечні умови праці обслуговуючого персоналу, запобігти виробничому травматизму та професійним захворюванням.

Робота подрібнювального обладнання супроводжується дією небезпечних та шкідливих виробничих факторів, до яких належать [15]:

рухомі частини машин та механізмів;

підвищений рівень шуму та вібрації;

запиленість повітря робочої зони;

можливість ураження електричним струмом;

підвищене фізичне навантаження від час технічного обслуговування обладнання.

Для забезпечення безпечної експлуатації удосконаленого пристосування необхідно передбачити комплекс організаційних та технічних заходів.

Усі рухомі елементи конструкції, зокрема приводи, вали та подрібнювальні механізми, повинні бути закриті захисними кожухами, які унеможливають випадковий контакт працівника з небезпечними зонами машини. Конструкція захисних огорожень має забезпечувати швидкий доступ до вузлів обладнання під час ремонту та технічного обслуговування.

Для зменшення рівня шуму та вібрації рекомендується застосовувати балансування обертових деталей, пружні амортизатори та віброізолюючі елементи. Рівень шуму на робочому місці не повинен перевищувати допустимих санітарних норм.

Під час роботи обладнання утворюється зерновий пил, який негативно впливає на органи дихання працівників та може створювати вибухонебезпечне середовище. Для зниження концентрації пилу необхідно передбачити систему

					КРБ.133ГМбд_32[2].01.00.00.000 ПЗ	Арк. 39
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

вентиляції та аспірації. Працівники повинні використовувати засоби індивідуального захисту: респиратори, захисні окуляри, спецодяг та рукавиці.

Електрообладнання повинно відповідати вимогам електробезпеки. Усі металеві частини машин підлягають заземленню, а електричні мережі – обладнанню автоматичними засобами захисту від перевантажень та короткого замикання. Пускові пристрої мають бути зручними та безпечними в експлуатації.

Важливим заходом безпеки є проведення інструктажів з охорони праці, навчання персоналу правилам експлуатації обладнання та дотримання вимог пожежної безпеки. На робочому місці повинні бути розміщені засоби пожежогасіння та інструкції щодо дій у разі аварійної ситуації.

Рациональна організація робочого місця, достатнє освітлення, дотримання санітарно-гігієнічних вимог та своєчасне технічне обслуговування обладнання сприяють підвищенню безпеки праці та зменшенню ризику травматизму.

4.3 Охорона навколишнього середовища

Під час роботи обладнання для попереднього подрібнення зерна необхідно враховувати вплив виробничого процесу на навколишнє середовище та забезпечувати дотримання екологічних норм.

Основними джерелами негативного впливу є [6]:

викиди пилу в атмосферу;

шумове забруднення;

відходи мастильних матеріалів та зношених деталей;

споживання електричної енергії.

Для зменшення запиленості атмосферного повітря рекомендується використовувати аспіраційні системи та пиловловлюючі установки. Зібраний пил може повторно використовуватись у технологічному процесі або утилізуватись відповідно до екологічних вимог.

Зниження шумового впливу досягається застосуванням сучасних конструктивних рішень, шумоізолюючих матеріалів та своєчасним технічним

					КРБ.133ГМбд_32[2].01.00.00.000 ПЗ	Арк. 40
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

обслуговуванням обладнання. Це сприяє покращенню умов праці та зменшенню негативного впливу на довкілля.

Відпрацьовані мастильні матеріали, технічні рідини та зношені деталі повинні збиратися у спеціальні контейнери та передаватися на утилізацію відповідно до чинних екологічних норм. Забороняється злив мастил та інших шкідливих речовин у ґрунт або каналізацію.

Удосконалення конструкції пристосування для попереднього подрібнення зерна дозволяє зменшити енергоспоживання обладнання, що позитивно впливає на екологічні показники виробництва та сприяє раціональному використанню енергетичних ресурсів [6].

Таким чином, дотримання вимог охорони праці та навколишнього середовища забезпечує безпечну експлуатацію обладнання, підвищує надійність виробничого процесу та сприяє зменшенню негативного впливу на довкілля.

					КРБ.133ГМбд_32[2].01.00.00.000 ПЗ	Арк. 41
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

ВИСНОВКИ

У кваліфікаційній роботі бакалавра виконано удосконалення конструкції пристосування для попереднього подрібнення зерна у складі екструдерної установки для виробництва комбікормів. Проведено аналіз існуючих конструкцій обладнання для підготовки зернової сировини та встановлено необхідність підвищення ефективності процесу попереднього подрібнення перед екструзійною обробкою.

У результаті виконання роботи розроблено конструкцію пристосування, яка складається із завантажувального бункера, двох подрібнювальних валів, зубчастої та пасової передач. Запропоноване технічне рішення забезпечує часткове руйнування зернової маси, рівномірну подачу матеріалу до робочої камери екструдера та зменшення навантаження на основний робочий орган.

У конструкторському розділі виконано кінематичні, силові та конструктивні розрахунки приводу, зубчастої передачі, валів і опорних вузлів. Визначено основні геометричні та експлуатаційні параметри конструкції, виконано вибір матеріалів і стандартних елементів. Розроблено комплект конструкторської документації.

У технологічному розділі розроблено технологічний процес виготовлення подрібнювального вала, визначено режими механічної обробки, вимоги до точності та шорсткості поверхонь, а також наведено маршрут виготовлення деталі.

В економічній частині визначено техніко-економічні показники конструкції, встановлено економічну доцільність її використання та розраховано термін окупності, який становить близько 1,1 року. Порівняння базової та удосконаленої конструкцій підтвердило зниження експлуатаційних витрат, підвищення продуктивності та покращення умов роботи обладнання.

У розділі охорони праці та навколишнього середовища запропоновано заходи щодо безпечної експлуатації обладнання, зниження рівня шуму й вібрації, а також мінімізації негативного впливу виробничого процесу на довкілля.

Отримані результати свідчать про технічну та економічну ефективність запропонованої конструкції. Розроблене пристосування може бути використане у фермерських господарствах і на підприємствах агропромислового комплексу для підвищення ефективності процесу підготовки зернової сировини при виробництві комбікормів.

					КРБ.133ГМбд_32[2].01.00.00.000 ПЗ	Арк. 42
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

ПЕРЕЛІК ДЖЕРЕЛ ПОСИЛАННЯ

1. Алієв Е. Б. Техніко-технологічне забезпечення безвідходної переробки зернової сировини у харчові продукти і корми : монографія. Дніпро : ДДАЕУ, 2022. 234 с.
2. Архіпова Т. Ф., Осадчук А. Ю., Байло М. Ю. Технологія металів і матеріалознавство : конспект лекцій. Вінниця : ВНТУ, 2014. 124 с.
3. Базієвський С. Д., Дмитринин В. В. Взаємозамінність, стандартизація та технічні вимірювання : підручник. Київ : Либідь, 2004. 504 с.
4. Благий О. С. Моделювання процесу екструзії зернової сировини в робочій зоні прес-екструдера : монографія. Луцьк : ЛНТУ, 2021. 168 с. *(Одне з найновіших досліджень динаміки подрібнення та плавлення зерна).*
5. Бурдо О. Г., Безбах І. В. Технологічне обладнання галузі (зернопереробні та комбікормові виробництва) : навч. посіб. Одеса : ОНАХТ, 2014. 142 с.
6. Бойчук Ю. Д., Солошенко Е. М., Бугай О. В. Екологія і охорона навколишнього середовища : навч. посіб. Суми : Університетська книга, 2025. 316 с.
7. Гайдамака А. В. Деталі машин. Основи теорії та розрахунків : навчальний посібник для студентів машинобудівних спеціальностей усіх форм навчання. Харків : НТУ «ХП», 2020. 275 с.
8. Галузеве машинобудування : підручник / В. Е. Тарельник, Є. В. Коноплянченко, В. М. Зубко та ін. Суми : Мрія, 2023. 544 с.
9. Голуб Є. В. Обґрунтування конструктивно-технологічних параметрів робочих органів одношнекового прес-екструдера для виробництва комбікормів : автореф. дис. ... канд. техн. наук : 05.05.11. Вінниця : ВНАУ, 2016. 20 с.
10. Кобець А. С., Бугач А. М. Машини і обладнання для зберігання та комплексної обробки зерна : навч. посіб. Дніпропетровськ : ДДАУ, 2013. 148 с.
11. Машини та апарати харчових виробництв : підручник : у 2 кн. Кн. 1 / І. Ф. Малезик та ін. ; за ред. І. Ф. Малезика. 2-ге вид., переробл. і доповн. Київ : Центр учбової літератури, 2023. 514 с. *(Містить розділи про шнекові преси та екструзійне обладнання).*
12. Методичні рекомендації до виконання кваліфікаційної роботи на здобуття ступеня бакалавра здобувачами вищої освіти зі спеціальності 133 Галузеве машинобудування за освітньо-професійною програмою «Машини та

					КРБ.133ГМбд_32[2].01.00.00.000 ПЗ	Арк.
						43
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

обладнання сільськогосподарського виробництва» галузі знань 13 Механічна інженерія. Попов С. Полтава: ПДАУ, 2024. 32 с.

13. Обладнання зернопереробних та олійних виробництв : підручник / О. В. Дацишин та ін. ; за ред. О. В. Дацишина. Вінниця : Нова Книга, 2011. 760 с.

14. Панченко А. І., Волошина С. Ю. Технологічне обладнання підприємств зберігання та переробки зерна : курс лекцій. Мелітополь : ТДАТУ, 2020. 215 с.

15. Пістун І.П., Стець Є.Р., Трунова І.О. Охорона праці в галузі машинобудування: навч. посіб. Суми: Університетська книга, 2011. 557 с

16. Рудь Ю.С. Основи конструювання машин: підручник для студентів інженерно-технічних спеціальностей вищих навчальних закладів. 2-е вид., переробл. Кривий Ріг: Видавель ФО-П Чернявський Д.О., 2015. 492 с.

17. Солома О. В., Купчук І.М. Практикум з теорії механізмів і машин: навч. посіб. Вінниця: ВНАУ, ТОВ «Друк», 2020. 252 с.

18. Технологічне обладнання галузі : лабораторний практикум / уклад. О. С. Благий, В. П. Оліферчук. Луцьк : ЛНТУ, 2023. 112 с. *(Опис роботи сучасних лабораторних та промислових екструдерів).*

19. Технології виготовлення деталей складної форми. Частина 2 [Електронний ресурс] : навч. посіб. для студ. спеціальності 131 «Прикладна механіка» освітньо-професійної програми «Технології машинобудування» / КПІ ім. Ігоря Сікорського; Ю.В.Петраков, С.В. Сохань, В.К. Фролов, В.М. Кореньков. Київ: КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2020.102 с.

20. Щербина В.Ю. Конструкторське проектування обладнання. Конспект лекцій / КПІ ім. Ігоря Сікорського. Київ, 2018. 83 с.
URL: <http://ela.kpi.ua/handle/123456789/25669>

21. Панченко А. І., Волошина С. Ю. Технологічне обладнання підприємств зберігання та переробки зерна : курс лекцій. Мелітополь : ТДАТУ, 2020. 215

22. Ялпачик Г. С., Кюрчев С. В. Обладнання та технологія переробки сільськогосподарської продукції : навч. посіб. Мелітополь : ТДАТУ, 2010. 340 с.

					КРБ.133ГМбд_32[2].01.00.00.000 ПЗ	Арк. 44
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

ДОДАТКИ

					КРБ.133ГМбд_32[2].01.00.00.000 ПЗ	Арк. 45
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

