

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 молоткової дробарки для подрібнення насіння»

КРБ.133ГМбд_32[2].07.00.00.000 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[2]
НІКОЛАЄНКО Назар

Керівник: БІЛОВОД Олександра

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

Назар НІКОЛАЄНКО

1 Тема роботи: *«Удосконалення молоткової дробарки для подрібнення насіння»*

керівник роботи ***канд. техн. наук, доцентка БІЛОВОД Олександра,***
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: *кресленок загального виду дробарки; складальний кресленок вузла дробарки, що виноситься на розгляд; робочі кресленки деталей дробарки.*

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 _____ Назар НІКОЛАЄНКО
(підпис)

Керівник роботи _____ Олександра БІЛОВОД
(підпис)

РЕФЕРАТ

Пояснювальна записка: 4 розділи, 1 додаток, 7 рисунків, 14 таблиць, 23 використаних джерел, 50 сторінок.

Об'єкт розробки – процес подрібнення насіння у молотковій дробарці.

Предмет розробки – конструкція молоткової дробарки.

Постановка актуальної технічної задачі – дослідити шляхи підвищення ефективності процесу подрібнення насіння шляхом удосконалення конструкції молоткової дробарки та на основі проведеного аналізу розробити комплект конструкторської документації.

Мета кваліфікаційної роботи бакалавра – удосконалення конструкції молоткової дробарки для підвищення продуктивності, покращення якості подрібнення насіння та зниження експлуатаційних витрат.

Практичне значення кваліфікаційної роботи бакалавра – підвищення довговічності робочих органів дробарки, зниження витрат на ремонт і технічне обслуговування обладнання, а також покращення техніко-економічних показників процесу подрібнення.

У **загальному розділі** наведено аналіз процесу подрібнення насіння, розглянуто способи подрібнення та існуючі конструкції дробарок, виконано аналіз молоткових дробарок і обґрунтовано напрямки їх удосконалення.

У **технологічному розділі** розроблено технологічний процес виготовлення деталі «Кришка», виконано аналіз технологічності конструкції, вибір заготовки, визначено режими механічної обробки, схеми базування, маршрут виготовлення та розраховано припуски на обробку.

У **конструкторському розділі** запропоновано удосконалення молоткової дробарки шляхом заміни плоских молотків на П-подібні та встановлення деки з трапецієвидним профілем зуба замість гребітьового сита. Виконано конструктивні розрахунки робочих органів та перевірку їх працездатності.

У **розділі економіки, охорони праці та навколишнього середовища** визначено економічну ефективність запропонованої модернізації, розроблено заходи з безпечної експлуатації обладнання та зменшення негативного впливу виробництва на довкілля.

					КРБ.133ГМбд_32[2] 67.00.00.000 ПЗ	4
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дат		

Практичні результати роботи – розроблено удосконалену конструкцію молоткової дробарки для подрібнення насіння та комплект конструкторської документації для її виготовлення.

Рекомендації щодо використання результатів роботи – запропонована конструкція може бути використана на комбікормових підприємствах, зернопереробних виробництвах та інших підприємствах агропромислового комплексу.

Сфера застосування результатів роботи – підприємства агропромислового комплексу, комбікормові заводи, фермерські господарства та виробництва з переробки зернової сировини.

Графічна частина роботи становить 3 аркуші формату А1.

Результат перевірки тексту пояснювальної записки на плагіат за допомогою сервісу StrikePlagiarism: унікальність 97,77 %.

АНОТАЦІЯ

Кваліфікаційна робота бакалавра присвячена удосконаленню молоткової дробарки для подрібнення насіння. Запропоновано конструктивні зміни робочих органів дробарки, спрямовані на підвищення продуктивності, покращення якості подрібнення та збільшення строку служби обладнання. Виконано технологічні, конструктивні та економічні розрахунки, що підтверджують доцільність впровадження розробки.

МОЛОТКОВА ДРОБАРКА, НАСІННЯ, ПОДРІБНЕННЯ, МОЛОТОК, ДЕКА, РОТОР, ПРОДУКТИВІСТЬ, ЕФЕКТИВІСТЬ

ANNOTATION

The bachelor's qualification work is devoted to the improvement of a hammer crusher for seed grinding. Design modifications of the crusher working elements are proposed to increase productivity, improve grinding quality and extend equipment service life. Technological, design and economic calculations were carried out, confirming the feasibility of the proposed solution.

HAMMER CRUSHER, SEEDS, GRINDING, HAMMER, DECK, ROTOR, PRODUCTIVITY, EFFICIENCY

					КРБ.133ГМбд_32[2] 97.00.00.000 ПЗ	5
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дат		

ЗМІСТ

ВСТУП	7
1. ЗАГАЛЬНИЙ РОЗДІЛ	9
1.1 Значення процесу подрібнення насіння в агропромисловому виробництві	9
1.2 Способи подрібнення насіння та їх особливості	10
1.3 Аналіз існуючих конструкцій дробарок	13
1.4 Аналіз конструкцій молоткових дробарок та напрямки їх удосконалення	15
1.5 Обґрунтування конструктивної розробки	17
2. ТЕХНОЛОГІЧНИЙ РОЗДІЛ	19
2.1 Аналіз технологічності деталі	19
2.2 Аналіз діючого технологічного процесу виготовлення деталі	21
2.3 Обробка поверхонь	23
2.4 Розробка схем базування деталі	25
2.5 Розробка маршруту виготовлення деталі	26
2.6 Визначення припусків на обробку та операційних розмірів	28
3. КОНСТРУКТОРСЬКИЙ РОЗДІЛ	31
3.1 Опис запропонованого технічного рішення, принцип роботи обладнання	31
3.2 Конструктивні розрахунки молоткової дробарки	37
РОЗДІЛ 4. ЕКОНОМІКА, ОХОРОНА ПРАЦІ ТА НАВКОЛИШНЬОГО СЕРЕДОВИЩА	40
4.1 Техніко-економічне обґрунтування розробки	40
4.2 Охорона праці	45
4.3 Охорона навколишнього середовища	47
ВИСНОВКИ	50
ПЕРЕЛІК ДЖЕРЕЛ ПОСИЛАННЯ	51
ДОДАТКИ	53

КРБ.133ГМбд_32[2].07.00.00.000 ПЗ							
Змн	Арк	№ докум.	Підпис	Дата			
Розробив		Ніколаєнко Н.Є			Лім.	Арк.	Аркушів
Перевінив		Біловод О.І.				6	50
Н. Контр.		Біловод О.І.			ПДАУ, каф. МЕІ		
Керівник		Біловод О.І.					
Зав.кафедр		Попов С.В.					

ВСТУП

Ефективний розвиток агропромислового комплексу України значною мірою залежить від рівня механізації та технічного оснащення виробничих процесів. Однією з важливих операцій у технологіях виробництва кормів, олійної продукції та переробки сільськогосподарської сировини є подрібнення зерна і насіння. Від якості виконання цього процесу залежать продуктивність технологічних ліній, енергетичні витрати, а також якість кінцевої продукції [1, 3, 17].

Серед машин для подрібнення рослинної сировини найбільшого поширення набули молоткові дробарки. Вони відрізняються простотою конструкції, універсальністю, високою продуктивністю та можливістю переробки різних видів матеріалів. Разом з тим існуючі конструкції молоткових дробарок мають ряд недоліків, серед яких значні енерговитрати, нерівномірність гранулометричного складу подрібненого продукту, підвищене зношування робочих органів та недостатня ефективність подрібнення окремих видів насіння [18, 20, 21].

У сучасних умовах господарювання особливого значення набуває створення та удосконалення машин, які забезпечують зниження питомих витрат енергії, підвищення продуктивності та покращення якості подрібнення. Тому розробка вдосконаленої конструкції молоткової дробарки є актуальним технічним завданням, спрямованим на підвищення ефективності процесів переробки сільськогосподарської продукції.

Метою кваліфікаційної роботи є удосконалення конструкції молоткової дробарки для подрібнення насіння з метою підвищення продуктивності роботи, покращення якості подрібнення та зниження енерговитрат.

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

- провести аналіз існуючих конструкцій дробарок та технологій подрібнення насіння;

					КРБ.133ГМбд_32[2] 97.00.00.000 ПЗ	7
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дат		

- дослідити особливості процесу подрібнення та фактори, що впливають на його ефективність;
- розробити конструктивні заходи щодо удосконалення молоткової дробарки;
- виконати необхідні конструкторські розрахунки елементів конструкції;
- оцінити техніко-економічну ефективність запропонованої розробки;
- розглянути питання охорони праці та охорони навколишнього середовища під час експлуатації обладнання.

Об'єктом дослідження є процес подрібнення насіння у молотковій дробарці.

Предметом дослідження є конструкція молоткової дробарки.

Практичне значення роботи полягає у розробленні технічних рішень щодо удосконалення молоткової дробарки, які можуть бути використані на підприємствах агропромислового комплексу для підвищення ефективності переробки насіння та виробництва кормів.

					КРБ.133ГМбд_32[2] 97.00.00.000 ПЗ	8
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дат		

РОЗДІЛ 1. ЗАГАЛЬНИЙ

1.1 Значення процесу подрібнення насіння в агропромисловому виробництві

Подрібнення є однією з найважливіших технологічних операцій у сільському господарстві та переробній промисловості. Від якості виконання цього процесу значною мірою залежить ефективність подальших технологічних операцій, продуктивність обладнання та якість готової продукції. Особливо важливим є подрібнення насіння зернових, зернобобових та олійних культур, які широко використовуються для виробництва комбікормів, кормових добавок, харчових продуктів та технічної сировини [3, 17].

У сучасному агропромисловому комплексі подрібнене насіння використовується як складова комбікормів для великої рогатої худоби, свиней, птиці та інших видів тварин. Зменшення розмірів частинок сприяє кращому засвоєнню поживних речовин організмом тварин, підвищенню перетравності кормів та покращенню продуктивності тваринництва. Для деяких видів насіння подрібнення є обов'язковою операцією перед змішуванням з іншими компонентами кормових сумішей [1, 3].

Крім кормовиробництва, подрібнення насіння широко застосовується у виробництві рослинних олій. Руйнування клітинної структури насіння перед пресуванням або екстрагуванням дозволяє значно підвищити вихід олії та зменшити енерговитрати на подальшу переробку. Особливо це стосується насіння соняшнику, ріпаку, сої та інших олійних культур [22, 24].

Якість подрібнення характеризується гранулометричним складом отриманого продукту, рівномірністю частинок та відсутністю надмірного утворення пилу. Надто великі частинки знижують ефективність наступних технологічних процесів, тоді як надмірне подрібнення призводить до збільшення енерговитрат і втрати частини цінних компонентів сировини. Тому одним із

головних завдань сучасних подрібнювальних машин є забезпечення оптимального ступеня подрібнення при мінімальних витратах енергії.

В умовах зростання цін на енергоресурси особливої актуальності набуває підвищення енергоефективності обладнання для подрібнення. За даними виробничої практики, на процес подрібнення може припадати до 40–60 % усіх енергетичних витрат у технологічних лініях підготовки кормів. Саме тому удосконалення конструкцій дробарок спрямоване на зниження питомих витрат електроенергії та підвищення продуктивності машин [18, 20, 21].

Важливою вимогою до сучасних подрібнювальних машин є універсальність їх використання. Одне й те саме обладнання повинно забезпечувати якісне подрібнення різних видів насіння, які відрізняються фізико-механічними властивостями, вологістю, твердістю та розмірами. Це потребує застосування конструктивних рішень, які дозволяють регулювати режими роботи та адаптувати машину до конкретних виробничих умов [19–23].

Таким чином, процес подрібнення насіння є важливою складовою сучасних технологій виробництва кормів та переробки сільськогосподарської продукції. Підвищення ефективності цього процесу шляхом удосконалення конструкції молоткових дробарок є актуальним завданням галузевого машинобудування та має важливе практичне значення для агропромислового комплексу України.

1.2 Способи подрібнення насіння та їх особливості

Подрібнення є механічним процесом руйнування твердих матеріалів під дією зовнішніх сил з метою зменшення розмірів частинок до заданих значень. У сільськогосподарському виробництві цей процес широко застосовується під час підготовки кормів, переробки зернових та олійних культур, виробництва комбікормів і харчових продуктів. Вибір способу подрібнення залежить від фізико-механічних властивостей матеріалу, необхідного ступеня подрібнення та вимог до якості готового продукту [17, 19].

					КРБ.133ГМбд_32[2] 97.00.00.000 ПЗ	10
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дат		

Руйнування частинок матеріалу може здійснюватися різними способами: роздавлюванням, ударом, стиранням, різанням, сколюванням або комбінованою дією декількох видів навантажень. Кожен спосіб має свої переваги та недоліки, а також певну сферу застосування.

Подрібнення роздавлюванням відбувається внаслідок стискання матеріалу між двома робочими поверхнями. Цей спосіб характеризується порівняно невеликими енерговитратами та забезпечує одержання продукту з відносно рівномірним гранулометричним складом. Найчастіше він використовується у валкових дробарках, де матеріал проходить між двома валками, що обертаються назустріч один одному. Валкові дробарки ефективно працюють при подрібненні зерна та насіння з невисокою вологістю, однак мають обмежену продуктивність і складніше регулювання ступеня подрібнення [19, 21].

Подрібнення ударом є одним із найпоширеніших способів руйнування зернових матеріалів. Руйнування частинок відбувається внаслідок зіткнення з робочими органами машин, які рухаються з великою швидкістю. Ударне подрібнення забезпечує високу продуктивність і можливість переробки широкого спектра матеріалів. Саме цей принцип реалізований у молоткових дробарках, які набули найбільшого поширення в кормовиробництві та агропромисловому комплексі [18, 20].

Стирання передбачає руйнування матеріалу внаслідок тертя між робочими поверхнями або між частинками матеріалу. Такий спосіб застосовується у жорнових та деяких дискових дробарках. Він дозволяє отримати дрібнодисперсний продукт, однак характеризується підвищеним зношуванням робочих органів та значними витратами енергії.

Подрібнення різанням здійснюється за допомогою ножів або лез. Цей спосіб найбільш ефективний для волокнистих матеріалів, зеленої маси, стебел рослин та кормових культур. Для зернових матеріалів його застосування є обмеженим через високу твердість насіння та швидке загуплення ріжучих елементів.

На практиці більшість сучасних машин використовують комбіновані способи подрібнення. Наприклад, у молоткових дробарках одночасно діють удар, стирання та частково різання. Завдяки цьому забезпечується висока ефективність руйнування матеріалу та універсальність використання обладнання [20, 23].

За конструктивним виконанням машини для подрібнення насіння поділяються на валкові, дискові, ножові, штифтові та молоткові дробарки. Кожен тип обладнання має свої конструктивні особливості, які визначають сферу його застосування.

Валкові дробарки складаються з двох або більше валків, між якими проходить матеріал. Їх перевагами є невеликі витрати енергії та відносно рівномірний гранулометричний склад продукту. До недоліків належать обмежена продуктивність і складність роботи з вологими матеріалами [17, 19].

Дискові дробарки використовують систему обертових дисків із робочими виступами або рифленням. Вони забезпечують якісне подрібнення, але характеризуються підвищеним зношуванням робочих поверхонь та значною складністю конструкції.

Ножові дробарки застосовуються переважно для подрібнення рослинних решток, грубих кормів та інших волокнистих матеріалів. Для насіння їх використання є менш ефективним через високі навантаження на ножі та необхідність частого заточування.

Штифтові дробарки забезпечують дуже дрібне подрібнення матеріалу завдяки взаємодії штифтів ротора і статора. Однак вони відрізняються значними енерговитратами та складністю виготовлення.

Найбільшого поширення набули молоткові дробарки. Їх популярність пояснюється простотою конструкції, універсальністю, високою продуктивністю та можливістю подрібнення різноманітних видів зерна і насіння. У таких машинах основним робочим органом є ротор із шарнірно закріпленими молотками, які під час обертання завдають ударів по частинках матеріалу.

Остаточний розмір продукту визначається отворами решета, через які проходить подрібнений матеріал [18, 20, 21].

Аналіз сучасних способів подрібнення свідчить про те, що саме молоткові дробарки найбільш повно відповідають вимогам сільськогосподарського виробництва. Вони забезпечують високу продуктивність, прості в обслуговуванні, мають відносно невисоку вартість і можуть використовуватися для переробки різних видів насіння. Разом з тим існують резерви підвищення їх ефективності шляхом удосконалення конструкції ротора, молотків, системи подачі матеріалу та сепарційних елементів [20, 21].

1.3 Аналіз існуючих конструкцій дробарок

Подрібнення зернових та олійних культур є однією з найбільш енергоємних операцій у технологічних процесах виробництва комбікормів, підготовки насіння до переробки та виготовлення харчової продукції. Для виконання цієї операції застосовується значна кількість машин різного конструктивного виконання, які відрізняються принципом дії, продуктивністю та якістю отриманого продукту [17, 18].

Найпростішими за конструкцією є валкові дробарки. Робочими органами таких машин є два валки, які обертаються назустріч один одному. Матеріал захоплюється валками та руйнується під дією стиснення і часткового стирання. Валкові дробарки забезпечують достатньо рівномірний гранулометричний склад продукту, характеризуються порівняно невеликими питомими енерговитратами та не створюють значної кількості пилу. Однак вони мають обмежену продуктивність і недостатньо ефективні при подрібненні матеріалів з підвищеною вологістю [3, 17].

Дискові дробарки здійснюють подрібнення між двома дисками, один із яких зазвичай є нерухомим, а другий обертається. На поверхнях дисків виконуються спеціальні канавки або виступи, що сприяють руйнуванню матеріалу. Перевагою таких машин є можливість отримання дрібнодисперсного

продукту, проте вони мають складнішу конструкцію та потребують підвищеної точності виготовлення робочих органів [17, 19].

Ножові дробарки застосовуються переважно для подрібнення стеблових кормів, трав, коренеплідів та інших волокнистих матеріалів. Руйнування відбувається за рахунок різання матеріалу гострими ножами. Для подрібнення насіння їх використання є менш ефективним через швидке затуплення ріжучих елементів та значні витрати на технічне обслуговування.

Штифтові дробарки використовують систему штифтів, розташованих на роторі та статорі. Матеріал руйнується під час проходження через зону взаємодії штифтів. Такі машини дозволяють отримувати дуже дрібний продукт, однак характеризуються високими енерговитратами та інтенсивним зношуванням робочих поверхонь.

Найбільш поширеними у сільському господарстві є молоткові дробарки. Їх популярність пояснюється універсальністю простотою конструкції, високою продуктивністю та можливістю переробки широкого спектра матеріалів. Основними елементами дробарки є корпус, ротор, молотки, решето, приймальна та розвантажувальна системи [18, 20].

Під час роботи матеріал подається до робочої камери, де піддається багаторазовим ударам молотків, що обертаються з великою швидкістю. Подрібнені частинки проходять крізь отвори решета та виводяться з машини. Розмір отриманих частинок визначається діаметром отворів решета, частотою обертання ротора та конструкцією молотків [20, 21].

Аналіз існуючих конструкцій показує, що саме молоткові дробарки найкраще відповідають вимогам сучасного агропромислового виробництва. Водночас їх експлуатація супроводжується значними витратами електроенергії, підвищеним зношуванням робочих органів і нерівномірністю гранулометричного складу готового продукту. Саме тому удосконалення конструкції молоткових дробарок залишається актуальним напрямком розвитку галузевого машинобудування.

1.4 Аналіз конструкції молоткових дробарок та напрямки їх удосконалення

Сучасні молоткові дробарки відрізняються між собою конструкцією ротора, формою молотків, способом кріплення робочих органів, системою подачі матеріалу та організацією процесу сепарації подрібненого продукту. Незважаючи на різноманітність конструктивних рішень, принцип їх роботи залишається однаковим і базується на використанні ударного руйнування матеріалу [18, 20, 21].

Рисунок 1.1 – Схема молоткової дробарки

Основним робочим органом дробарки є ротор із шарнірно або жорстко закріпленими молотками. Під час обертання ротора молотки набувають значної кінетичної енергії та завдають ударів по частинках матеріалу. Крім ударної дії, додаткове подрібнення відбувається внаслідок тертя частинок об поверхню решета та внутрішні стінки корпусу [20, 23].

Дослідження роботи молоткових дробарок показують, що ефективність процесу значною мірою залежить від форми молотків. Найчастіше застосовуються прямокутні пластинчасті молотки, які прості у виготовленні та мають достатню міцність. Проте вони створюють значний опір руху повітря всередині камери подрібнення, що збільшує енергоспоживання машини [18, 20].

Одним із напрямків удосконалення є використання молотків спеціального профілю, які забезпечують більш інтенсивний вплив на матеріал та покращують аеродинамічні характеристики робочої камери. Такі рішення дозволяють зменшити питомі витрати електроенергії та підвищити продуктивність дробарки [21, 22].

Важливим фактором є також конструкція ротора. У традиційних дробарках молотки розміщуються рівномірно по колу (рис.1.2)

Рисунок 1.2 – Схема традиційного ротора молоткової дробарки з рівномірним розташуванням молотків по колу

Однак сучасні дослідження свідчать про доцільність використання багаторядних роторів зі зміщеним розташуванням молотків, що сприяє більш рівномірному завантаженню робочої камери та підвищенню якості подрібнення [20, 23].

Рисунок 1.3 – Схема багаторядного ротора зі зміщеним розташуванням молотків

Суттєвий вплив на роботу дробарки має система подачі матеріалу. Нерівномірне надходження насіння призводить до перевантаження окремих зон ротора, збільшення навантаження на електродвигун та зниження продуктивності. Тому сучасні конструкції обладнуються дозувальними пристроями та системами автоматичного регулювання подачі [20, 21].

Окремі уваги заслуговує питання сепарації готового продукту. У традиційних дробарках використовуються змінні решета з різним діаметром отворів. Проте значна частина енергії витрачається на повторне подрібнення частинок, які вже досягли необхідних розмірів. Для усунення цього недоліку застосовують пневматичні системи видалення готового продукту та вдосконалені конструкції решіт [18, 22].

Аналіз літературних джерел та виробничого досвіду показує, що основними напрямками удосконалення молоткових дробарок є підвищення продуктивності, зниження енергоємності процесу, покращення якості подрібнення, збільшення довговічності робочих органів та автоматизація роботи машини. Реалізація зазначених заходів дозволяє підвищити техніко-економічні показники обладнання та забезпечити його конкурентоспроможність.

1.5 Обґрунтування конструктивної розробки

Аналіз існуючих машин для подрібнення насіння показав, що найбільш перспективним обладнанням для агропромислового комплексу є молоткові дробарки. Вони забезпечують високу продуктивність, прості у виготовленні та експлуатації, а також можуть використовуватися для переробки різних видів зерна і насіння.

Разом із тим сучасні конструкції мають ряд недоліків. До них належать значні витрати електроенергії, нерівномірність гранулометричного складу подрібненого продукту, підвищене зношування молотків і решіт, а також недостатня ефективність використання кінетичної енергії ротора. Частина

енергії витрачається на циркуляцію повітря та повторне подрібнення вже готових частинок [18, 21, 23].

У зв'язку з цим виникає необхідність удосконалення конструкції дробарки шляхом модернізації робочих органів та покращення умов протікання технологічного процесу. Запропоноване удосконалення спрямоване на підвищення ефективності використання енергії удару, покращення руху матеріалу в робочій камері та забезпечення більш рівномірного подрібнення насіння.

Очікується, що модернізована конструкція забезпечить підвищення продуктивності машини, зменшення питомих витрат електроенергії, зниження зношування робочих органів та покращення якості готового продукту. Це дозволить підвищити економічну ефективність експлуатації обладнання та знизити собівартість виробництва кормів і продуктів переробки насіння.

Таким чином, удосконалення молоткової дробарки є технічно обґрунтованим та економічно доцільним рішенням, що відповідає сучасним вимогам агропромислового виробництва та сприяє підвищенню ефективності процесів подрібнення сільськогосподарської сировини.

РОЗДІЛ 2. ТЕХНОЛОГІЧНИЙ

2.1 Аналіз технологічності деталі

Кришка належить до деталей типу тіл обертання класу фланців. Виріб виконує функцію опорного елемента у складі молоткової дробарки для подрібнення насіння, фіксує підшипниковий вузол ротора та закриває корпусну порожнину від проникнення пилу. Габаритні розміри деталі обмежені діаметром $\varnothing 208$ мм і довжиною 132 мм при товщині фланця 33 мм. Конструкція симетрична відносно осі обертання, центральний посадковий отвір $\varnothing 12H8$ утворює відповідальну поверхню сполучення з зовнішнім кільцем підшипника [11, 15].

Матеріал деталі СЧ 20 за ДСТУ 8833:2019 відноситься до сірих чавунів з пластинчастою фермою графіту. Така структура забезпечує задовільну оброблюваність різанням, добрі демпфувальні властивості та достатню зносостійкість опорних поверхонь. Хімічний склад та механічні характеристики матеріалу наведені у таблиці 2.1 [7].

Таблиця 2.1 – Характеристика матеріалу СЧ 20 ДСТУ 8833:2019

Параметр	C, %	Si, %	Mn, %	S, %	P, %
Хімічний склад	3,3–3,5	1,4–2,2	0,7–1,0	до 0,15	до 0,2
Параметр	σ_B , МПа	HB	ρ , кг/м ³	δ , %	Категорія
Значення	200	170–229	7200	0,5	СЧ

Сірий чавун СЧ 20 поєднує литвостатність із достатньою міцністю для деталей корпусних груп. Графітні включення пластинчастої форми діють як концентратори напружень при розтягуванні. При стисканні та згинанні матеріал поводить себе задовільно. Для умов роботи кришки переважають стискальні та згинальні навантаження від кріплення, що відповідає міцнісним характеристикам обраного чавуну [7, 15].

Якісна оцінка технологічності виконана за такими ознаками. Форма деталі утворена циліндричними та плоскими поверхнями, доступ ріжучого інструмента

до них вільний. Конусоподібні відхилення відсутні. Внутрішня порожнина має ступінчасту форму з діаметрами Ø80, Ø130, Ø147 та Ø180 мм, переходи виконані без піднутрень. Формувальні ухили 3° полегшують вилучення моделі з форми при литті. Глухих отворів немає, шість кріпильних отворів Ø10 виконані наскрізними. Радіуси переходів між ступенями достатні для застосування стандартної різального інструмента [11, 15].

Точнісні вимоги до деталі помірні. Висока точність задана лише для центрального отвору Ø112H8 та параметра площинності торця 0,02 мм відносно бази А. Решта поверхонь виконуються за квалітетами H14 для отворів, h14 для валів, IT14/2 для інших розмірів. Шорсткість більшості поверхонь Ra 16, опорний торець та посадковий отвір Ø112H8 мають шорсткість Ra 1,6. Перелік відповідальних поверхонь представлений у таблиці 2.2 [13, 14].

Таблиця 2.2 – Параметри точності та шорсткості поверхонь

Поверхня	Розмір, мм	Квалітет	Ra, мкм	Призначення
Центральний отвір	Ø112H8	H8	1,6	посадка підшипника
Торець фланця	...	...	1,6	база А, площинність 0,02
Зовнішня циліндрична	Ø208	h14	16	вільна поверхня
Кріпильні отвори	Ø10	H14	16	болтове з'єднання
Зенковка	Ø16	H14	16	розміщення головки гвинта
Внутрішня ступінь	Ø130	H14	16	вільна поверхня

Кількісну оцінку технологічності виконано за коефіцієнтом точності обробки. Середній квалітет точності визначається за виразом [13; 14]:

$$A_{cp} = \frac{\sum A \cdot n}{\sum n} \quad (2.1)$$

Підставивши значення квалітетів та кількості поверхонь, отримуємо $A_{cp} = 13,2$. Коефіцієнт точності обчислюється як:

					КРБ.133ГМбд_32[2] 97.00.00.000 ПЗ	20
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дат		

$$K_{Tч} = 1 - \frac{1}{A_{cp}} = 1 - \frac{1}{13,2} = 0,924 \quad (2.2)$$

Отримане значення $K_{Tч}$ перевищує нормативну межу 0,8, тому за критерієм точності деталь визнається технологічною. Аналогічно для шорсткості: середня шорсткість $B_{cp} = 12,8$ при середній шорсткості еквівалента $Ra \ 14,2$. Коефіцієнт шорсткості $K_{ш} = 1/B_{cp} = 0,078$ знаходиться в межах допустимого діапазону для деталей корпусної групи. Сукупність якісних і кількісних показників підтверджує технологічність конструкції [15].

2.2 Аналіз діючого технологічного процесу виготовлення деталі

Чинний технологічний процес виготовлення кришки сформований під дрібносерійний тип виробництва з річною програмою випуску 500 одиниць. Тип виробництва підтверджується розрахунком коефіцієнта закріплення операцій $K_{zo} = 18$, що знаходиться в межах від 10 до 20 згідно з ДСТУ 3.1.108. Заготовка отримується методом литва у піщано-глинисті форми за разовою моделлю. Такий спосіб обґрунтований невеликою партією, складною конфігурацією внутрішніх порожнин і прийнятними економічними показниками при виготовленні чавунних деталей. Загальна характеристика заготовки наведена у таблиці 2.3 [8, 15].

Таблиця 2.3 – Характеристика заготовки

Параметр	Значення	Норматив
Спосіб отримання	лиття у піщано-глинисті форми	ДСТУ 8836:2019
Клас точності	9т	ДСТУ 8836:2019
Ряд припусків	4	ДСТУ 8836:2019
Маса заготовки	4,8 кг	розрахункове
Маса деталі	3,2 кг	за креслеником
Коефіцієнт використання матеріалу	0,67	розрахункове
Шорсткість поверхні заготовки	$Ra \leq 320$	ДСТУ 8836:2019

Аналіз існуючого маршруту виявив певні недоліки. Базування на першій механічній операції виконується по литій зовнішній поверхні Ø208 мм без попередньої підготовки чорнової бази, що знижує точність наступних установок. Чорнове та чистове точіння центрального отвору Ø112 розділені проміжними операціями, через що порушується принцип сталості баз. Свердління шести кріпильних отворів виконується на радіально-свердильному верстаті з ручним поворотом ділильної головки, тривалість допоміжного часу при цьому досягає 35 % штучного часу. Послідовність операцій чинного технологічного процесу представлена у таблиці 2.4 [13,14, 15].

Таблиця 2.4 – Структура чинного технологічного процесу

№	Назва операції	Обладнання	Основний зміст
005	Заготівельна	ливарна дільниця	випуск у форму
010	Термічна	піч відпалу	відпал на зняття внутрішніх напружень
015	Токарна чорнова	1K62	точіння торця та зовнішнього діаметра
020	Токарна чорнова	1K62	точіння другого торця, розточення Ø112
025	Токарна чистова	1K62	чистове точіння Ø112Н8, торця
030	Свердильна	2A55	свердління 6 отворів Ø10, зенковка Ø16
035	Контрольна	контрольний стіл	перевірка розмірів і шорсткості

Удосконалення технопроцесу пропонується за двома напрямками. Перший напрям передбачає об'єднання чорнового та чистового точіння Ø112 на одному верстаті токарно-гвинторізного типу з ЧПК моделі 16K20Ф3, що скорочує число встановлень з трьох до двох. Другий напрям полягає у виконанні шести кріпильних отворів на свердильному верстаті з координатним столом за один установ із застосуванням кондукторної плити. Такий підхід усуває похибку ділення та зменшує штучний час на операції 030 приблизно на 40 % [15].

2.3 Обробка поверхонь

Вибір методів обробки виконано на основі заданих квалітетів точності, параметрів шорсткості та вимог до взаємного розташування поверхонь. Для зовнішньої циліндричної поверхні Ø208 з квалітетом h14 і шорсткістю Ra 16 достатньо одного чорнового точіння. Внутрішні поверхні Ø80, Ø130, Ø147 та Ø180 виконуються чорновим розточуванням. Центральний отвір Ø112H8 з шорсткістю Ra 1,6 потребує послідовності чорнового, напівчистового та чистового розточування. Торцева поверхня бази А з площинністю 0,02 мм формується чистовим точінням після підрізування у попередній установці. Кріпильні отвори Ø10 виконуються свердлінням за кондуктором, zenковки Ø16 виконуються суміщеним zenкеруванням за допомогою комбінованого інструменту. Зведення методів обробки представлено у таблиці 2.5 [13,14, 15].

Таблиця 2.5 – Методи обробки поверхонь деталі

Поверхня	Квалітет	Ra, мкм	Метод обробки	Число переходів
Ø208 зовнішня	h14	16	точіння чорнове	1
Торець бази А	...	1,6	точіння чорнове + чистове	2
Торець протилежний	...	16	точіння чорнове	1
Ø112H8	H8	1,6	розточення чорнове, напівчистове, чистове	3
Ø130 ступінь	H14	16	розточення чорнове	1
Ø80 отвір	H14	16	розточення чорнове	1
6 отворів Ø10	H14	16	свердління за кондуктором	1
6 zenковок Ø16	H14	16	zenкерування комбінованим інструментом	1

Режими різання розраховані за нормативною методикою для механічної обробки чавунних деталей. Швидкість різання при точінні визначається з виразу [15]:

$$v = \frac{C_v}{T^{m \cdot t^x \cdot s^y}} \cdot K_v \quad (2.3)$$

У формулі позначено: C_v як коефіцієнт умов обробки; T як стійкість інструмента у хвилинах; t як глибина різання у міліметрах; s як подача у мм/об; m , x , y як показники степеня; K_v як загальний поправочний коефіцієнт. Для чорнового точіння чавуну СЧ 20 різцем з пластиною ВК6 при $t = 2,5$ мм і $s = 0,5$ мм/об розраховане значення швидкості $v = 92$ м/хв. Частота обертання шпинделя визначається стандартним співвідношенням.

$$n = \frac{1000 \cdot v}{\pi \cdot D} \quad (2.4)$$

Для зовнішньої поверхні $\varnothing 208$ мм частота $n = 141$ об/хв. За паспортом верстата 16K20F3 приймається найближча менша пст = 125 об/хв. Уточнена швидкість різання $v_d = \pi \cdot D \cdot \text{пст} / 1000 = 81,7$ м/хв. Зведені дані за основними операціями наведено у таблиці 2.6 [15].

Таблиця 2.6 – Режими різання для основних переходів

Перехід	t, мм	s, мм/об	v, м/хв	n, об/хв	Інструмент
Точіння $\varnothing 208$ чорнове	2,5	0,50	81,7	125	різець ВК6
Підрізування торця бази А чорнове	2,0	0,40	85,0	160	різець ВК6
Підрізування торця бази А чистове	0,4	0,15	120,0	250	різець Т15К6
Розточення $\varnothing 112$ чорнове	2,0	0,30	78,0	200	розточний різець ВК8
Розточення $\varnothing 112$ напівчистове	0,8	0,20	95,0	270	розточний різець ВК6
Розточення $\varnothing 112$ Н8 чистове	0,3	0,10	130,0	370	розточний різець Т15К6
Свердління $\varnothing 10$	5,0	0,25	32,0	1000	свердло Р6М5
Зенкерування $\varnothing 16$	3,0	0,30	28,0	560	зенкер Р6М5

2.4 Розробка схем базування деталі

Вибір технологічних баз виконано за принципом єдності та сталості баз. Як єдина настановна база для більшості операцій механічної обробки обрана торцева площина фланця, позначена на креслеюку як база А. Ця поверхня задана конструктором як вимірювальна, її використання уникне внесення похибки переходу від конструкторської до технологічної бази. Як друга база приймається центральний отвір Ø112Н8, який реалізує подвійну напрямну функцію через короткий розжимний опрацювання. На першій механічній операції, де чистових баз ще немає, як чорнова база використовується зовнішня литва поверхня Ø208 і протилежний торець виливка. Розподіл баз за операціями показано в таблиці 2.7 [13, 14, 15].

Таблиця 2.7 – Базування деталі за операціями

Опер.	Технологічна база	Реалізація	Позбавляє ступенів вільності
010	литва зовнішня Ø208 + торець	трикулачковий патрон + упор	5
015	оброблений торець + Ø208	патрон зі сирими кулачками	5
020	торець бази А + Ø112Н8	розжимна оправка + упор	6
025	торець бази А + Ø112Н8	оправка пневматична + упор	6
030	торець бази А + Ø112Н8 + штифт	кондуктор з пальцем	6

Похибка базування для кожної з сформованих схем оцінювалась окремо. Для розміру Ø112Н8, що обробляється на операції 015 при базуванні по обробленому

торцю та зовнішній поверхні, похибка базування єб дорівнює нулю, оскільки технологічна база суміщена з вимірною. Для розміру 33 мм при базуванні на оправці похибка єб визначається зазором у спряженні оправки з отвором та становить 0,012 мм, що менше 1/5 від допуску розміру 0,62 мм. Це підтверджує правильність вибору схеми [13, 14].

На свердлильній операції 030 застосовується кондукторна плита з шістьма направляючими втулками. Базування за центральним отвором реалізується пальцем оправки, кутова орієнтація фіксується ромбічним пальцем у спеціальному пазу або упорним штифтом по зовнішньому контуру. Така схема позбавляє заготовку всіх шести ступенів вільності та забезпечує позиційний допуск розташування отворів у межах $\pm 0,1$ мм. Зведення теоретичних схем базування подане у таблиці 2.8 [11, 15].

Таблиця 2.8 – Теоретичні схеми базування

Спер.	Опорні точки	Тип бази	єб для основного розміру, мм
010	3 у площині торця, 2 на циліндрі, 1 кутова	настановна + подвійна напрямна	0,30
015	3 на торці, 2 на Ø208, 1 опорна	настановна + напрямна + опорна	0,05
020	3 на торці А, 2 на Ø112Н8, 1 кутова	настановна + подвійна напрямна	0
025	3 на торці А, 2 на Ø112Н8, 1 опорна	повна, шість ступенів вільності	0
030	3 на торці А, 2 на Ø112Н8, 1 кутова на штифті	повна, шість ступенів вільності	0,012

2.3 Розробка маршруту виготовлення деталі

Маршрут виготовлення кришки побудований з урахуванням принципів концентрації переходів і послідовного підвищення точності. На першому етапі виконується відливання заготовки у піщано-глинисту форму з наступним

відпалом для зняття внутрішніх напружень. Термообробка проводиться при температурі 550–600 °С з витримкою 2 години та повільним охолодженням у печі. Така обробка стабілізує розміри та запобігає короблінню при подальшій механічній обробці. Подальший маршрут ґрупується за обладнанням і охоплює токарну, свердлильну та контрольну ділянки. Загальна послідовність наведена у таблиці 2.9 [8, 15].

Таблиця 2.9 – Удосконалений маршрут виготовлення деталі

№	Назва операції	Тип обладнання	Зміст операції
005	Заготівельна	ливарна дільниця	лиття заготовки масою 4,8 кг у ліщано-глинисту форму
010	Термічна	піч відпалу СНО-6.12.4/7	відпал при 580 °С, витримка 2 год, охолодження з піччю
015	Контроль виливка	контрольний стіл	візуальний огляд, контроль розмірів виливка
020	Токарна з ЧПК	16K20Ф3	точіння Ø208, торця, чорнове розточення Ø112 і Ø130
025	Токарна з ЧПК	16K20Ф3	підрізування торця А, напівчистове і чистове розточення Ø112Н3
030	Свердлильна	2А554Ф1 з кондуктором	свердління 6 отворів Ø10 і зенкерування 6 зенковок Ø16
035	Слюсарна	верстак	зачищення гострих кромek, видалення задирок
040	Контрольна	контрольний стіл, ОМЗ	перевірка розмірів, шорсткості, площинності 0,02 мм
045	Мийна	мийна машина	промивання у мийному розчині, сушіння
050	Консерваційна	стіл консервації	нанесення інгібіторного покриття, пакування

Основний технологічний час для кожної операції визначається за формулою:

$$T_o = \frac{L_o}{n} \quad (2.5)$$

У формулі L відповідає розрахунковій довжині обробки з урахуванням врізання та перебігу у міліметрах; i позначає число робочих ходів; n характеризує частоту обертання шпинделя у об/хв; s відповідає подачі у мм/об. Для чистового розточення Ø112H8 при $L = 35$ мм, $n = 370$ об/хв, $s = 0,1$ мм/об, $i = 1$ основний час становить $T_0 = 0,95$ хв. Штучний час визначається з урахуванням допоміжного, оперативного та підготовчо-завершального часу за нормативами. Зведений перелік обладнання наведено у таблиці 2.10 [15].

Таблиця 2.10 – Обладнання та оснащення за операціями

№	Модель верстата	Технічні характеристики	Технологічне оснащення
020	16K20Ф3	Рдв 11 кВт, n 12,5–2000 об/хв, ЧПК NC-201	патрон тризахватний, різці BK6, BK8
025	16K20Ф2	Рдв 11 кВт, ЧПК NC-201	оправка пневматична, різці T15K6
030	2A554Ф1	Рдв 5,5 кВт, n 31,5–1400 об/хв, координатний стіл	кондуктор спеціальний, свердло P6M5 Ø10, зенкер P6M5 Ø16
040		ОМЗ ББ-155, мікрометри МК 0–25, нутроміри НН 100–160	плита перевірочна 400×400, шаблони

2.6 Визначення припусків на обробку та операційних розмірів

Розрахунок припусків виконано аналітичним методом для відповідального центрального отвору Ø112H8 та табличним методом для інших поверхонь. Мінімальний міжопераційний припуск на діаметральний розмір визначається за виразом [8, 13, 15]:

$$2 \cdot Z_{min} = 2 \cdot (Rz_{i-1} + h_{i-1} + \sqrt{\rho_{i-1}^2 + \varepsilon_i^2}) \quad (2.6)$$

У формулі Rz_{i-1} позначає висоту нерівностей профілю на попередньому переході; h_{i-1} позначає глибину дефектного шару; ρ_{i-1} відповідає сумарному

просторовому відхиленню розташування поверхні; ε_i характеризує похибку установки на даному переході. Для вилівка значення $R_z = 320$ мкм, $h = 350$ мкм, $\rho = 600$ мкм визначені за ДСТУ 8826:2019. Похибка установки на оправці $\varepsilon_y = 25$ мкм. Результати поетапного розрахунку для отвору Ø112H8 представлені у таблиці 2.11.

Таблиця 2.11 – Розрахунок припусків і операційних розмірів для Ø112H8

Перехід	R_z , мкм	h , мкм	ρ , мкм	ε , мкм	$2Z_{\min}$, мкм	D_p , мм
Заготовка (вилівок)	320	350	600	...	...	108,40
Розточення чорнове	80	80	36	100	2380	111,16
Розточення напівчистове	32	50	18	60	470	111,90
Розточення чистове	10	20	9	25	230	112,00

Сумарний припуск на діаметр становить $2Z_{\text{заг}} = 3,60$ мм, що відповідає рекомендованому значенню для виливків 9-го класу точності діаметром до 120 мм. Граничні значення припусків розраховуються з урахуванням допусків попередніх переходів. Операційні розміри за переходами визначаються від конкретного розміру за кресленням з урахуванням мінімального припуску та допуску на даному переході. Загальне співвідношення для діаметральних розмірів отвору [8, 13, 14]:

$$D_{i-1} = D_i - 2 \cdot Z_{\min,i} - T_i \quad (2.7)$$

У формулі D_i відповідає розміру на даному переході; D_{i-1} відповідає розміру на попередньому переході; $2Z_{\min,i}$ позначає мінімальний припуск на даному переході; T_i відповідає допуску на попередньому переході. Для решти поверхонь припуски прийняті за таблицями нормативів механічної обробки. Для зовнішньої циліндричної поверхні Ø208 при одному робочому ході припуск становить $2Z = 4,0$ мм. Для підрізування торця бази А загальний припуск 2,4 мм

розподіленні як 2,0 мм на чорнове і 0,4 мм на чистове підрізування. Підсумкові операційні розміри по всіх поверхнях деталі зведені у таблиці 2.12.

Таблиця 2.12- Операційні розміри по поверхнях деталі

Поверхня	Розмір за кресленням	Розмір заготовки	Чорнова обробка	Напівчистова	Чистова
Ø112Н8	Ø112+0,054	Ø108,4	Ø111,16	Ø111,90	Ø112,00
Ø208h14	Ø208-1,15	Ø212,0	Ø208,0	...	...
Ø130H14	Ø130+1,0	Ø126,0	Ø130,0	...	...
Ø80H14	Ø80+0,74	Ø76,5	Ø80,0	...	...
Торець бази А	...	+2,4	+0,4	...	0
Торець протилежний	...	+2,5	0	...	...
Загальна довжина 132	132±0,5	134,9	132,0	...	...

Аналіз отриманих операційних розмірів показав, що при призначених припусках забезпечується гарантоване зняття дефектного поверхневого шару виливка та досягнення потрібної точності кінцевих розмірів. Допуски на проміжних переходах узгоджені з технологічними можливостями обраного обладнання. Сумарна маса знятого металу за всіма поверхнями становить 1,6 кг, що дає коефіцієнт використання матеріалу $K_{\text{вм}} = 0,67$ і відповідає галузевим показникам для навантажуваних корпусних деталей дрібносерійного виробництва [13, 14, 15].

Висновки.

Виконано аналіз технологічності конструкції, обґрунтовано вибір заготовки, визначено режими механічної обробки, схеми базування та маршрут виготовлення деталі. Розраховані припуски забезпечують отримання необхідної точності та якості поверхонь при мінімальних витратах матеріалу і трудомісткості.

РОЗДІЛ 3 КОНСТРУКТОРСЬКИЙ

3.1 Опис запропонованого технічного рішення, принцип роботи обладнання

Молоткові дробарки широко використовуються на підприємствах агропромислового комплексу для подрібнення зернових матеріалів, компонентів комбікормів та іншої рослинної сировини. Незважаючи на значну кількість існуючих конструкцій, більшість таких машин оснащуються ситовими поверхнями, через які проходить подрібнений продукт. Під час роботи матеріал багаторазово контактує з ситом, що спричиняє його інтенсивне абразивне зношування та поступове погіршення експлуатаційних характеристик дробарки [3, 17, 20].

Проведений аналіз показав, що значна частина енергії приводу витрачається не безпосередньо на руйнування частинок матеріалу, а на їх багаторазове переміщення всередині робочої камери до моменту проходу крізь отвори сита. У результаті підвищуються енерговитрати та прискорюється спрацювання робочих органів.

З метою усунення зазначених недоліків у роботі запропоновано модернізувати серійну дробарку типу А1-ДМ2Р-6 шляхом зміни конструкції основних робочих органів. Удосконалення передбачає встановлення деки замість традиційного сита та використання молотків П-подібного профілю замість плоских пластинчастих елементів (рис.3.1) [20, 21].

Рисунок 3.1 – Схема молотків: а) П-подібний; б) плоский

					КРБ.133ГМбд_32[2] 97.00.00.000 ПЗ	31
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дат		

Запропонована форма молотка забезпечує збільшення його жорсткості та опору деформаціям під час ударних навантажень. Завдяки наявності бічних стінок конструкція набуває більшої міцності при незначному збільшенні маси. Крім того, контактна поверхня молотка з матеріалом стає більшою, що сприяє рівномірнішому передаванню ударної енергії частинкам зерна [20, 22].

Додатковою перевагою П-подібного профілю є збільшення площі зношування робочих поверхень. Це дозволяє більш раціонально використовувати матеріал молотка та збільшити його ресурс до граничного стану. Порівняльний аналіз показує, що робоча поверхня модернізованого молотка майже удвічі перевищує аналогічний показник традиційного пластинчастого виконання, що позитивно впливає на довговічність вузла (рис.3.2) [20, 22].

Рисунок 3.2 – Ступінь зношування молотків: а) П-подібний; б) плоского

Для виготовлення запропонованих молотків передбачено використання конструкційної сталі Ст3. Застосування цього матеріалу дає можливість суттєво зменшити витрати на виготовлення та ремонт робочих органів без істотного зниження їх експлуатаційних показників. При необхідності робочі поверхні можуть піддаватися зміцнювальній термічній або наплавній обробці [5, 6].

Другим напрямком модернізації є заміна ситової поверхні на деку із трапецієвидним профілем зубців. Така конструкція забезпечує активнішу

взаємодію між частинками матеріалу та робочими органами дробарки (рис.3.3) [18, 20, 21].

Рисунок 3.3 – Ступінь зношування зубців дек: а) трапезієвидного профілю; б) трикутного профілю

Подрібнення відбувається інтенсивніше, а необхідна крупність продукту досягається за меншу кількість циклів його переміщення всередині робочої камери.

На відміну від трикутного профілю зубців, трапезієвидна форма характеризується більшою площею робочої поверхні та нижчою інтенсивністю локального зношування. У процесі експлуатації геометрія зубців зберігається довше, а величина робочого зазору між молотками та декою збільшується повільніше. Завдяки цьому забезпечується стабільність технологічного процесу протягом тривалого періоду роботи [21, 22].

Дробарка А1-ДМ2Р-6 (рис.3.4) призначена для механічного подрібнення зернових культур, зернобобової сировини, кормових сумішей, гранульованого трав'яного борошна, шроту та інших компонентів, що використовуються у виробництві комбікормів і кормових добавок [3, вні вузли: станину, несучу раму, корпус, молотковий ротор, сервісні дверцята, привідну муфту, живильний пристрій, вибухорозрядний вузол та систему електрообладнання (рис. 3.4).

Головним робочим елементом дробарки є ротор, який обертається на валу, встановленому в підшипникових опорах. На валу змонтовані диски з осями для підвішування молотків. Крайні диски виконують функцію фіксації осей та забезпечують можливість балансування ротора. Для запобігання осьовому переміщенню осі закріплюються спеціальними заглушками. При проведенні технічного обслуговування або заміні молотків заглушки повертають у

зворотному напрямку, після чого осі легко демонтуються. Робочі молотки встановлюються на чотирьох осях [20, 23].

1 – станина; 2 – шарикопідшипники; 3 – вибухорозрядник; 4 – живильник;
5 – електродвигун; 6 – муфта; 7 – корпус; 8 – дверка; 9 – молоток; 10 – дека;
11 – ілємний ящик; 12 – ротор; 13 – ротор

Рисунок 3.4 – Загальний вигляд дробарки А1-ДМ2Р

Обертання ротора здійснюється від електродвигуна через еластичну муфту, яка компенсує незначні перекоси валів та знижує динамічні навантаження під час роботи. Електродвигун і підшипникові вузли розміщені на зварній станині, виготовленій зі сталевих профілів. Для зменшення передачі коливань на фундамент станина обладнана вібропоглинальними опорами [3, 17].

Несуча рама також виконана зі сталевих швелерів і слугує основою для монтажу корпусу дробарки, станини та електротехнічного обладнання. Для надійного закріплення машини на виробничому майданчику конструкцією передбачені фундаментні болти.

Корпус дробарки складається з верхньої та нижньої секцій і використовується для розміщення та кріплення дек, а також напрямних елементів. Нижня частина корпусу має зварну конструкцію та через фланцеві з'єднання кріпиться до рами. Передбачена можливість підключення як

самопливної системи відведення продукту, так і пневмотранспортного обладнання.

Особливістю конструкції є відокремлення корпусу від станини, завдяки чому зменшується передача вібрацій на основні несучі елементи машини.

Для забезпечення доступу до внутрішніх вузлів під час ремонту та обслуговування корпус обладнаний двома дверцятами, встановленими на вертикальних шарнірах. Їх відкривання в різні боки дозволяє швидко виконувати огляд, очищення та заміну робочих органів.

Живильний пристрій забезпечує безперервне та рівномірне надходження сировини до робочої камери дробарки. Крім дозування матеріалу, він виконує функцію очищення потоку від металоманітних включень. До складу живильника входять корпус, магнітний барабан, привідний механізм та система регулювання подачі [1, 3].

Для технічного обслуговування живильника передбачені оглядові дверцята. У середині корпусу встановлений висувний лоток із магнітними елементами, який періодично очищується від металевих частинок, що потрапляють разом із сировиною.

Регулювання продуктивності здійснюється за допомогою двох заслінок. Керування ними може виконуватися автоматично, дистанційно або вручну за допомогою маховика. Зміна положення заслінок дозволяє встановлювати необхідну інтенсивність подачі матеріалу залежно від режиму роботи дробарки.

Муфта, розташована між електродвигуном і валом ротора, складається з двох напівмуфт, з'єднаних гнучкими гумотканинними елементами. Таке рішення сприяє плавній передачі крутного моменту та підвищує надійність приводу.

Вибухорозрядний пристрій являє собою металевий короб із декількома технологічними отворами для приєднання запобіжного обладнання. Конструкція забезпечує можливість адаптації вузла до різних схем монтажу.

Система електрообладнання підтримує декілька режимів роботи: автоматичний, дистанційний та ручний. Крім того, реалізовано функції реверсування ротора, блокування запуску при відкритих дверцятах, контролю положення дек і захисту від перевантаження в разі порушення роботи транспортного обладнання [1; 9].

					КРБ.133ГМбд_32[2] 97.00.00.000 ПЗ	35
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дат		

Технологічний процес подрібнення відбувається таким чином. Сировина через самоплив надходить до живильника, де очищується від металевих домішок і рівномірно розподіляється по ширині робочої камери. Далі матеріал потрапляє в зону дії ротора, де зазнає багаторазових ударів молотків. Додаткове руйнування частинок відбувається під час їх взаємодії з декою та відбивними поверхнями корпусу. Після досягнення необхідного ступеня подрібнення готовий продукт видаляється з дробарки через розвантажувальний канал [17,20].

Основні характеристики дробарки А1-ДМ2Р наведені в таблиці 3.1.

Таблиця 3.1 Основні характеристики дробарки А1-ДМ2Р

Назва параметру	Значення
Технічна продуктивність, т/год.	6
Потужність електродвигуна, кВт	37
Розміри ротора, мм	
діаметр	646
ширина	460
Кількість молотків, шт	24
Зазор між декою та молотками, мм	15
Колова швидкість молотків, м/с	98
Розміри молотків, мм	
довжина	90
ширина	40
висота	60
товщина	4
Частота обертів ротора, об/хв	1500
Габаритні розміри, мм: (довжина x ширина x висота)	1850x1985x1220
Маса, кг	1800

Очікується, що впровадження запропонованих конструктивних змін дозволить підвищити продуктивність дробарки, зменшити питомі витрати електроенергії, збільшити строк служби робочих органів та скоротити витрати на їх заміну. Крім того, покращаться показники якості подрібнення, що є важливим фактором для виробництва комбікормів і підготовки насіння до подальшої переробки [20, 21, 22].

3.2 Конструктивні розрахунки молоткової дробарки

Для обґрунтування працездатності удосконаленої молоткової дробарки необхідно виконати основні конструктивні розрахунки робочих органів. У даній роботі модернізація передбачає заміну серійних плоских молотків на П-подібні молотки та встановлення замість сита деки з трапецієвидним профілем зуба. Таке рішення спрямоване на підвищення інтенсивності подрібнення, збільшення строку служби робочих органів та зниження витрат на обслуговування машини [15, 20].

Розрахунок колової швидкості молотків

Ефективність роботи молоткової дробарки значною мірою залежить від колової швидкості молотків. При недостатній швидкості ударна дія буде слабкою, що знижує якість подрібнення. При надмірній швидкості зростають витрати електроенергії, шум, вібрація та інтенсивність зношування робочих органів [15, 20].

Колова швидкість молотків визначається за формулою:

$$v = \pi \cdot D \cdot n / 60, \text{ м/с}, \quad (3.1)$$

де v – колова швидкість молотків, м/с;

D – діаметр ротора по кінцях молотків, м;

n – частота обертання ротора, об/хв.

$$v = 3,14 \cdot 0,6 \cdot 3000 / 60 = 94,2 \text{ м/с}.$$

Розрахунок кутової швидкості ротора

Кутову швидкість ротора визначаємо за формулою:

$$\omega = \pi \cdot n / 30, \text{ рад/с}, \quad (3.2)$$

де ω – кутова швидкість ротора, рад/с;

n – частота обертання ротора, об/хв.

$$\omega = 3,14 \cdot 3000 / 30 = 314 \text{ рад/с}.$$

Розрахунок маси молотка [5,15]

Масу молотка визначаємо за формулою:

$$m = \rho \cdot V, \text{ кг}, \quad (3.3)$$

де ρ – густина матеріалу, кг/м³,

V – об'єм молотка, м³.

$$m = 7850 \cdot 0,0000696 = 0,55 \text{ кг}.$$

Розрахунок кінетичної енергії молотка [15, 20]

Кінетична енергія молотка:

$$E = m \cdot v^2 / 2, \text{ Дж}, \quad (3.4)$$

Де m – маса молотка, кг;

v – колова швидкість молотка, м/с.

$$E = 0,55 \cdot 94,2^2 / 2 = 2440 \text{ Дж}.$$

Розрахунок відцентрової сили [15]

Відцентрову силу визначаємо за формулою:

$$F_{\text{ц}} = m \cdot v^2 / r, \text{ Н}, \quad (3.5)$$

де m – маса молотка, кг;

v – колова швидкість молотка, м/с;

r – радіус обертання молотка, м.

$$F_{\text{ц}} = 0,55 \cdot 94,2^2 / 0,3 = 16270 \text{ Н}.$$

Перевірка осі молотка на зріз [15]

Напруження зрізу:

$$\tau = F_{\text{ц}} / (2 \cdot A), \text{ МПа}, \quad (3.6)$$

де $F_{\text{ц}}$ – відцентрова сила, Н,

A – площа поперечного перерізу осі, мм².

Площа перерізу осі:

$$A = \pi \cdot d^2 / 4, \text{ мм}^2 \quad (3.7)$$

$$A = 3,14 \cdot 16^2 / 4 = 201 \text{ мм}^2.$$

$$\text{Тоді: } \tau = 16270 / (2 \cdot 201) = 40,5 \text{ МПа}.$$

Допустиме напруження:

$$[\tau] = 80 \text{ МПа}.$$

Оскільки: $40,5 < 80 \text{ МПа}$, міцність осі забезпечена.

Коефіцієнт запасу міцності

					КРБ.133ГМбд_32[2] 97.00.00.000 ПЗ	38
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дат		

$$n = [\tau] / \tau, \quad (3.8)$$

$$n = 80 / 40,5 = 1,98.$$

Розрахунок збільшення площі зношування [20, 22]

Коефіцієнт збільшення площі:

$$K = F_2 / F_1, \quad (3.9)$$

де $F_1 = 8,8 \text{ см}^2$ – площа зношування плоского молотка;

$F_2 = 15,6 \text{ см}^2$ – площа зношування П-подібного молотка.

$$K = 15,6 / 8,8 = 1,77.$$

Відсоток збільшення:

$$\Delta F = (F_2 - F_1) \cdot 100 / F_1, \% . \quad (3.10)$$

$$\Delta F = (15,6 - 8,8) \cdot 100 / 8,8 = 77,3 \%.$$

Отже, розроблено удосконалену конструкцію молоткової дробарки для подрібнення насіння. Запропоновано заміну плоских молотків на П-подібні та встановлення деки з трапецієвидним профілем зуба замість сита. Виконані розрахунки підтвердили працездатність і міцність конструкції [20, 21].

У результаті модернізації підвищується довговічність робочих органів, покращується якість подрібнення, зменшуються витрати на ремонт і технічне обслуговування обладнання. Запропонована конструкція є технічно обґрунтованою та придатною для використання на підприємствах агропромислового комплексу.

РОЗДІЛ 4. ЕКОНОМІКА, ОХОРОНА ПРАЦІ ТА НАВКОЛИШНЬОГО СЕРЕДОВИЩА

4.1 Техніко-економічне обґрунтування розробки

У даній кваліфікаційній роботі запропоновано удосконалення молоткової дробарки для подрібнення насіння. Суть модернізації полягає у заміні плоских молотків на П-подібні та встановленні замість сита деки з трапецієвидним профілем зуба.

Економічний ефект від модернізації досягається за рахунок збільшення строку служби робочих органів, зменшення кількості замін сита, скорочення простоїв обладнання та зниження витрат на ремонт і технічне обслуговування.

Вихідні дані для розрахунку

Таблиця 4.1 – Вихідні дані

Показник	Позначення	Значення
Продуктивність дробарки	Q	3,6 т/год
Потужність електродвигуна	N	40 кВт
Кількість робочих днів на рік	Д _р	250 днів
Тривалість зміни	t _{зм}	8 год
Коефіцієнт використання часу	K _ч	0,75
Вартість 1 кВт·год електроенергії	Ц _е	8 грн
Вартість одного сита	С _с	3500 грн
Строк служби сита	Г _с	7 днів
Вартість однієї деки	С _д	9000 грн
Строк служби деки	Т _д	105 днів
Кількість молотків	z	64 шт.
Вартість одного серійного молотка	С _{м1}	180 грн
Вартість одного П-подібного молотка	С _{м2}	120 грн
Вартість люд.-год ремонтника	С _{лр}	250 грн/год

Розрахунок річного фонду роботи дробарки

Річний фонд роботи дробарки визначаємо за формулою:

$$T_p = D_p \cdot t_{зм} \cdot K_{ч}, \text{ год}, \quad (4.1)$$

де D_р – кількість робочих днів на рік;

t_{зм} – тривалість зміни, год;

K_q – коефіцієнт використання робочого часу.

$$T_p = 250 \cdot 8 \cdot 0,75 = 1500 \text{ год.}$$

Отже, дробарка працює протягом року 1500 год.

Розрахунок річного обсягу подрібнення

Річний обсяг подрібнення визначаємо за формулою:

$$W = Q \cdot T_p, \text{ т,} \quad (4.2)$$

де Q – продуктивність дробарки, т/год;

T_p – річний фонд роботи, год.

$$W = 3,6 \cdot 1500 = 5400 \text{ т}$$

Отже, за рік дробарка може подрібнити 5400 т насіння [17].

Розрахунок витрат на електроенергію

Річні витрати електроенергії визначаємо за формулою:

$$E = N \cdot T_p, \text{ кВт·год,} \quad (4.3)$$

де N – потужність електродвигуна, кВт;

T_p – річний фонд роботи, год.

$$E = 40 \cdot 1500 = 60000 \text{ кВт·год.}$$

Вартість електроенергії:

$$C_e = E \cdot C_e, \text{ грн,} \quad (4.4)$$

де C_e – вартість 1 кВт·год електроенергії, грн.

$$C_e = 60000 \cdot 8 = 480000 \text{ грн.}$$

Розрахунок витрат на заміну сита у базовому варіанті

Кількість замін сита за рік визначаємо за формулою:

$$n_c = D_p / T_c, \quad (4.5)$$

де D_p – кількість робочих днів на рік,

T_c – строк служби сита, днів.

$$n_c = 250 / 7 = 35,7$$

Приймаємо 36 замін за рік.

Річні витрати на придбання сит:

$$C_{c,p} = n_c \cdot C_c, \text{ грн,} \quad (4.6)$$

$$C_{c,p} = 36 \cdot 3500 = 126000 \text{ грн.}$$

Витрати праці на заміну сита приймаємо 2 год на одну заміну:

$$З_c = n_c \cdot 2 \cdot \text{Слг, грн,} \quad (4.7)$$

$$З_c = 36 \cdot 2 \cdot 250 = 18000 \text{ грн.}$$

Загальні витрати на сита у базовому варіанті:

$$B_6 = C_{c.p} + З_c, \text{ грн,} \quad (4.8)$$

$$B_6 = 126000 + 18000 = 144000 \text{ грн.}$$

Розрахунок витрат на деку у модернізованому варіанті

Кількість заміни деки за рік:

$$n_d = D_p / T_d \quad (4.9)$$

де T_d – строк служби деки, днів.

$$n_d = 250 / 105 = 2,38.$$

Приймаємо 3 заміни за рік.

Річні витрати на придбання дек:

$$C_{d.p} = n_d \cdot C_d, \text{ грн,} \quad (4.10)$$

$$C_{d.p} = 3 \cdot 9000 = 27000 \text{ грн.}$$

Витрати праці на заміну деки приймаємо 3 год на одну заміну:

$$З_d = n_d \cdot 3 \cdot \text{Слг, грн,} \quad (4.11)$$

$$З_d = 3 \cdot 3 \cdot 250 = 2250 \text{ грн.}$$

Загальні витрати на деки у модернізованому варіанті:

$$B_{m1} = C_{d.p} + З_d, \text{ грн.} \quad (4.12)$$

$$B_{m1} = 27000 + 2250 = 29250 \text{ грн.}$$

Економія за рахунок заміни сита на деку:

$$E_1 = B_6 - B_{m1}, \text{ грн,} \quad (4.13)$$

$$E_1 = 144000 - 29250 = 114750 \text{ грн.}$$

Розрахунок економії на молотках

Вартість комплексу серійних молотків:

$$C_{m.c} = z \cdot C_{m1}, \text{ грн,} \quad (4.14)$$

$$C_{m.c} = 64 \cdot 180 = 11520 \text{ грн.}$$

Вартість комплексу П-подібних молотків:

$$C_{m.p} = z \cdot C_{m2}, \text{ грн,} \quad (4.15)$$

					КРБ.133ГМбд_32[2] 97.00.00.000 ПЗ	42
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дат		

$$C_{м.п} = 64 \cdot 120 = 7680 \text{ грн.}$$

Економія на одному комплекті молотків:

$$E_m = C_{м.с} - C_{м.п}, \text{ грн.} \quad (4.16)$$

$$E_m = 11520 - 7680 = 3840 \text{ грн.}$$

З урахуванням того, що П-подібні молотки мають більшу площу зношування та довший строк служби, приймаємо, що протягом року замість двох комплектів серійних молотків використовується один комплект П-подібних.

Річні витрати на серійні молотки.

$$B_{м.с} = 2 \cdot 11520 = 23040 \text{ грн.}$$

Річні витрати на П-подібні молотки:

$$B_{м.п} = 1 \cdot 7680 = 7680 \text{ грн.}$$

Річна економія на молотках.

$$E_2 = B_{м.с} - B_{м.п}, \text{ грн.} \quad (4.17)$$

$$E_2 = 23040 - 7680 = 15360 \text{ грн.}$$

Загальна річна економія

Загальна річна економія визначається за формулою:

$$E_{\text{заг}} = E_1 + E_2, \text{ грн.} \quad (4.18)$$

$$E_{\text{заг}} = 114750 + 15360 = 130110 \text{ грн.}$$

Отже, загальна річна економія від модернізації становить 130110 грн.

Розрахунок додаткових капітальних вкладень

Додаткові капітальні вкладення включають витрати на виготовлення П-подібних молотків, виготовлення деки та монтажні роботи.

Таблиця 4.2. Додаткові капітальні вкладення

Стаття витрат	Сума, грн
Виготовлення комплекту П-подібних молотків	7680
Виготовлення деки з трапецієвидним зубом	9000
Монтаж і налагодження	5000
Інші витрати	3000
Разом	24680

Отже, додаткові капітальні вкладення становлять: $K_d = 24680$ грн.

Розрахунок строку окупності

Строк окупності визначаємо за формулою:

$$T_{ок} = K_d / E_{заг}, \text{ років,} \quad (4.19)$$

де K_d – додаткові капітальні вкладення, грн;

$E_{заг}$ – загальна річна економія, грн.

$$T_{ок} = 24680 / 130110 = 0,19 \text{ року} = 2,3 \text{ міс.}$$

Отже, строк окупності модернізації становить приблизно 2,3 місяця.

Розрахунок коефіцієнта економічної ефективності

Коефіцієнт економічної ефективності визначаємо за формулою:

$$E_k = E_{заг} \cdot K_d, \quad (4.20)$$

$$E_k = 130110 / 24680 = 5,27.$$

Оскільки коефіцієнт економічної ефективності більший за нормативне значення, модернізація є економічно доцільною [20, 21].

Таблиця 4.3 – Техніко-економічні показники

Показник	Значення
Продуктивність дробарки, т/год	3,6
Річний фонд роботи, год	1500
Річний обсяг подрібнення, т	5400
Потужність електродвигуна, кВт	40
Річні витрати електроенергії, грн	480000
Економія від заміни сита на деку, грн	114750
Економія від застосування П-подібних молотків, грн	15369
Загальна річна економія, грн	130110
Додаткові капітальні вкладення, грн	24680
Строк окупності, міс.	2,3
Коефіцієнт економічної ефективності	5,27

Виконані економічні розрахунки показали, що удосконалення молоткової дробарки є економічно доцільним. Застосування П-подібних молотків і деки з трапецієвидним профілем зуба дозволяє знизити витрати на ремонт і заміну робочих органів, підвищити надійність обладнання та скоротити простої під час експлуатації [18; 20; 22].

Річна економія від впровадження розробки становить 130,1 тис. грн, а строк окупності додаткових капітальних вкладень не перевищує 3 місяців. Отримані результати підтверджують ефективність запропонованої модернізації та доцільність її впровадження у виробництво.

4.2 Охорона праці

Молоткова дробарка належить до обладнання підвищеної небезпеки через наявність швидкообертливих робочих органів, електричного приводу та значних динамічних навантажень під час роботи. Безпечна експлуатація машини забезпечується дотриманням вимог технологічного регламенту, своєчасним технічним обслуговуванням та використанням справних захисних пристроїв [2, 9,10].

Перед запуском дробарки оператор повинен перевірити надійність кріплення молотків, стан деки, відсутність сторонніх предметів у робочій камері та справність систем блокування. Пуск обладнання дозволяється лише після встановлення всіх захисних кожухів та закриття сервісних дверцят.

Під час роботи забороняється відкривати дверцята корпусу, виконувати очищення або регулювання робочих органів. Усі роботи з ремонту та технічного обслуговування повинні проводитися тільки після повної зупинки ротора та відключенні електроживлення.

Вимоги безпеки при технічному обслуговуванні

Для підтримання працездатності дробарки необхідно регулярно виконувати огляд та технічне обслуговування її вузлів. Особливу увагу слід приділяти стану молотків, осей підвіски, деки, підшипникових вузлів та електродвигуна.

Заміна молотків повинна здійснюватися комплектно, щоб уникнути порушення балансування ротора. Після проведення ремонтних робіт необхідно перевіряти легкість обертання ротора та відсутність сторонніх шумів.

Під час демонтажу робочих органів працівники повинні використовувати захисні рукавиці, спецодяг та захисні окуляри. Для виконання вантажопідіймальних операцій необхідно застосовувати справні підйомні пристрої та дотримуватися встановлених правил стропування.

Забезпечення санітарно-гігієнічних умов праці

Процес подрібнення зерна супроводжується утворенням пилу, який негативно впливає на органи дихання людини. Для підтримання нормативних параметрів повітряного середовища виробниче приміщення повинно бути обладнане припливно-витяжною вентиляцією та аспіраційною системою.

Для зниження рівня шуму рекомендується встановлювати дробарку на вібропоглинальних опорах та одночасно виконувати балансування ротора. Працівники, які обслуговують обладнання, повинні користуватися навушниками або протишумними вкладишами.

Мікроклімат виробничих приміщень повинен відповідати вимогам чинних санітарних норм. Температура повітря в холодний період року має підтримуватися на рівні 16–18 °С, відносна вологість – у межах 40–60 %.

Електробезпека під час роботи дробарки

Джерелом підвищеної небезпеки є електродвигун та електрообладнання установки. Для захисту персоналу від ураження електричним струмом усі металеві частини обладнання повинні бути приєднані до контуру захисного заземлення.

Електричні шафи необхідно обладнати попереджувальними знаками безпеки. Ремонт електрообладнання дозволяється виконувати лише працівникам, які мають відповідну групу допуску з електробезпеки.

Для аварійного вимкнення дробарки біля робочого місця повинен бути встановлений кнопковий пост «Стоп», який забезпечує миттєве відключення електродвигуна від мережі.

Заходи щодо попередження аварійних ситуацій

Основними причинами аварій під час експлуатації дробарок є потрапляння сторонніх предметів у робочу камеру, руйнування молотків, перевантаження електродвигуна та займання зернового пилу.

Для запобігання аварійним ситуаціям необхідно:

- здійснювати регулярний контроль технічного стану обладнання;
- використовувати магнітні уловлювачі металевих домішок;

- своєчасно замінювати зношені робочі органи;
- підтримувати справність систем автоматичного захисту;
- виконувати очищення обладнання від пилу та залишків сировини.

Запропоновані заходи спрямовані на забезпечення безпечної експлуатації удосконаленої молоткової дробарки, зниження ризику виробничого травматизму та створення належних умов праці для обслуговуючого персоналу. Виконання вимог охорони праці дозволить підвищити надійність роботи обладнання, зменшити кількість аварійних зупинок і забезпечити стабільність технологічного процесу подрібнення насіння.

4.3 Охорона навколишнього середовища

Підприємства, діяльність яких пов'язана з подрібненням зернової та насінневої сировини, можуть чинити певний вплив на навколишнє природне середовище. Основними джерелами такого впливу є викиди пилу в атмосферне повітря, утворення виробничих відходів, споживання електричної енергії та виникнення шумового навантаження [16].

У процесі роботи молоткової дробарки утворюються дрібнодисперсні частинки зернового пилу. За відсутності ефективної аспірації вони можуть потрапляти в атмосферу виробничих приміщень і навколишнє середовище. Пил не лише погіршує санітарний стан підприємства, а й може негативно впливати на стан атмосферного повітря.

Додатковим фактором впливу є споживання електроенергії приводом дробарки. Зменшення енергоємності процесу подрібнення сприяє скороченню загального споживання енергетичних ресурсів та зниженню непрямого екологічного навантаження [16, 29].

Для забезпечення екологічної безпеки виробництва необхідно передбачити комплекс технічних та організаційних заходів.

Одним із найбільш ефективних способів зменшення викидів пилу є застосування аспіраційних установок із циклонами та рукавними фільтрами. Такі

системи забезпечують очищення повітря від твердих частинок і повернення очищеного повітря до виробничого приміщення або атмосфери.

Для зниження енергоспоживання рекомендується використовувати енергоефективні електродвигуни та своєчасно виконувати технічне обслуговування обладнання. Запропонована модернізація дробарки дозволяє скоротити витрати електроенергії за рахунок більш ефективного використання енергії удару та зменшення втрат на повторне подрібнення матеріалу [16, 20].

Особливу увагу слід приділяти герметизації стиків обладнання, що запобігає розповсюдженню пилу за межі робочої камери та транспортних комунікацій.

Під час експлуатації дробарки утворюється незначна кількість виробничих відходів, до яких належать зношені молотки, деки, підшипники, ущільнювальні елементи та відпрацьовані мастильні матеріали.

Металеві деталі після завершення строку експлуатації повинні передаватися на спеціалізовані підприємства для подальшої переробки як вторинна сировина. Відпрацьовані мастила необхідно збирати в герметичні ємності та передавати організаціям, які мають дозвіл на поводження з небезпечними відходами.

Забороняється складування відходів безпосередньо на території підприємства або їх потрапляння в ґрунт і водні об'єкти.

Одним із напрямів підвищення екологічної ефективності виробництва є раціональне використання матеріальних та енергетичних ресурсів. Удосконалення конструкції молоткової дробарки сприяє збільшенню ресурсу робочих органів, що зменшує потребу у виготовленні запасних деталей та скорочує витрати металу.

Використання П-подібних молотків і деки з трапецієвидним профілем зубців дозволяє збільшити міжремонтний період роботи обладнання та зменшити кількість замін робочих елементів протягом року. Це сприяє зниженню матеріаломісткості виробництва та більш раціональному використанню природних ресурсів.

					КРБ.133ГМбд_32[2] 97.00.00.000 ПЗ	48
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дат		

Крім того, зменшення енергоспоживання обладнання позитивно впливає на екологічні показники підприємства та відповідає сучасним принципам енергозбереження.

Запропоноване удосконалення молоткової дробарки має не лише технічні та економічні, а й екологічні переваги. Завдяки підвищенню довговічності молотків і деки зменшується кількість металевих відходів. Скорочення енерговитрат сприяє раціональному використанню паливно-енергетичних ресурсів. Більш стабільна робота обладнання забезпечує зниження втрат сировини та кількості пилових викидів.

У результаті впровадження модернізованої конструкції створюються передумови для підвищення екологічної безпеки виробництва та зменшення негативного впливу на навколишнє природне середовище.

Отже, розглянуто основні екологічні аспекти експлуатації молоткової дробарки та визначено заходи щодо зниження її впливу на довкілля. Встановлено, що найбільшу екологічну небезпеку становлять пилові викиди, шум та виробничі відходи. Запропоновані технічні рішення щодо аспірації, енергозбереження та раціонального поводження з відходами забезпечують підвищення екологічної безпеки виробництва. Модернізація дробарки сприяє зменшенню споживання ресурсів, скороченню кількості відходів і відповідає сучасним вимогам охорони навколишнього середовища.

ВИСНОВКИ

У кваліфікаційній роботі розглянуто питання підвищення ефективності процесу подрібнення насіння шляхом удосконалення конструкції молоткової дробарки. Проведено аналіз існуючих способів подрібнення та конструкцій подрібнювального обладнання, на основі якого встановлено доцільність модернізації молоткової дробарки як найбільш універсальної та продуктивної машини.

Запропоновано конструктивне удосконалення дробарки, яке полягає у заміні есрійних плоских молотків на П-подібні та встановленні деки з трапецієвидним профілем зуба замість традиційного сита. Виконані конструктивні розрахунки підтвердили працездатність і надійність запропонованого технічного рішення.

У результаті модернізації підвищується довговічність робочих органів, покращується якість подрібнення насіння, знижуються витрати на ремонт і технічне обслуговування обладнання. Виконані економічні розрахунки підтвердили доцільність впровадження розробки, а отриманий економічний ефект та короткий строк окупності свідчать про її практичну цінність.

Розроблені технічні рішення можуть бути використані на підприємствах агропромислового комплексу комбікормових заводах та інших виробництвах, пов'язаних із переробкою зерна і насіння, що сприятиме підвищенню ефективності технологічних процесів та зниженню собівартості продукції.

					КРБ.133ГМбд_32[2] 97.00.00.000 ПЗ	50
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дат		

ПЕРЕЛІК ДЖЕРЕЛ ПОСИЛАННЯ

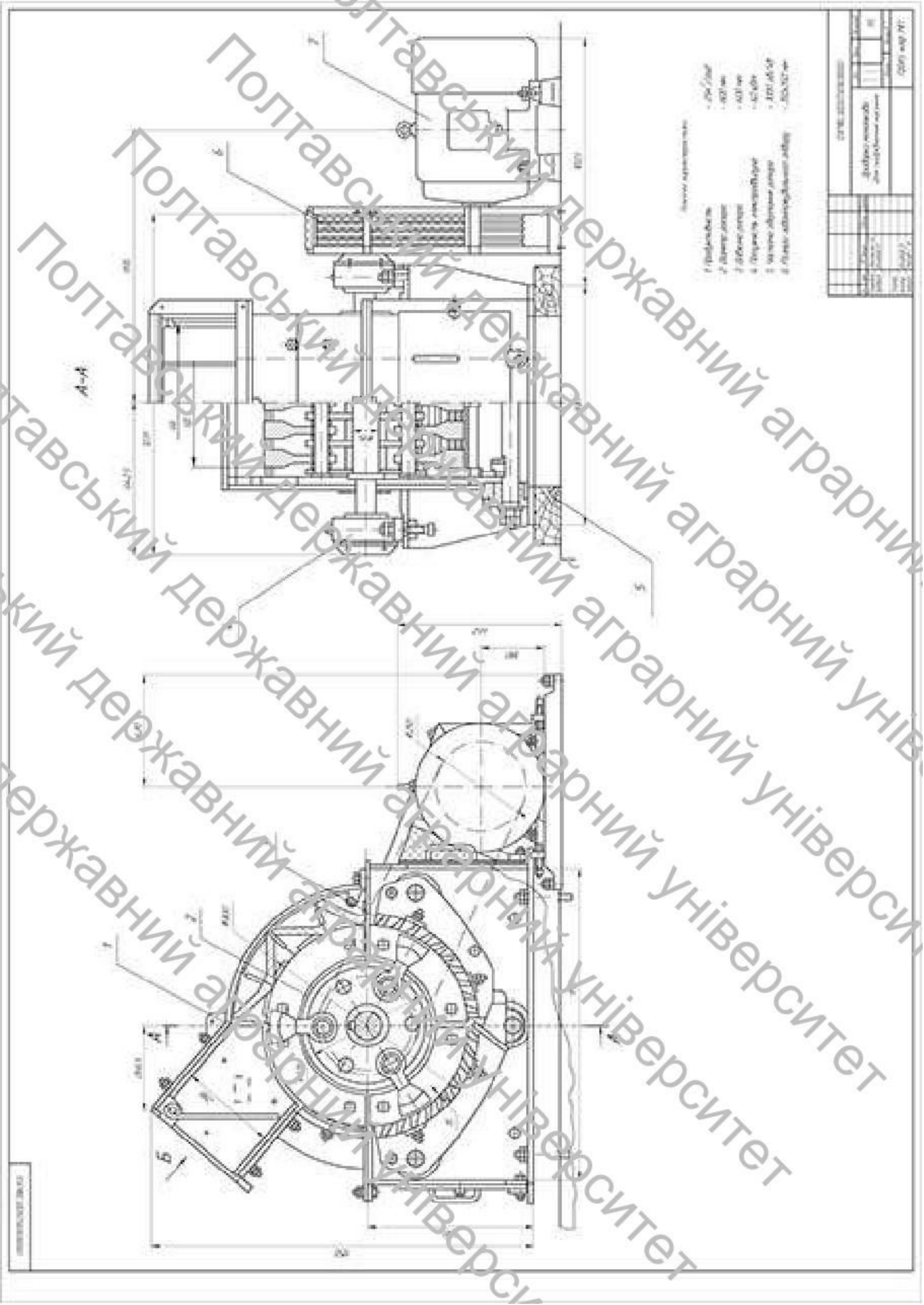
1. Автоматизація сільськогосподарського виробництва : навч. посіб. / О. А. Горбенко та ін. Миколаїв : МНАУ, 2020. 280 с.
2. Войналович О. В., Іванюта В. В. Охорона праці в галузі : навч. посіб. Київ : Ліра-К, 2020. 292 с.
3. Горбенко О. А. Машини і механізми виробничих процесів у тваринництві та переробці продукції : лабораторний практикум. Миколаїв : МНАУ, 2025. 126 с.
4. Горбенко О. А. Проектування технологічних процесів переробки сільськогосподарської продукції: конспект лекцій. Миколаїв. МНАУ, 2025 112с.
5. ДСТУ 2651:2005. Сталь вуглецева звичайної якості. Марки. Київ : Держспоживстандарт України, 2005.
6. ДСТУ 8540:2015. Прокат сортовий і фасонний зі сталі вуглецевої звичайної якості. Загальні технічні умови. Київ : ДП «УкрНДНЦ», 2016.
7. ДСТУ 8833:2019. Виливки із сірого чавуну з пластинчастим графітом. Загальні технічні умови. Київ : ДП «УкрНДНЦ», 2019.
8. ДСТУ 8836:2019. Виливки із металів та сплавів. Загальні технічні умови. Київ : ДП «УкрНДНЦ», 2019.
9. ДСТУ EN ISO 12100:2016. Безпечність машин. Загальні принципи проектування. Оцінювання ризиків та зниження ризиків. Київ : ДП «УкрНДНЦ», 2016.
10. ДСТУ EN ISO 13857:2016. Безпечність машин. Безпечні відстані для запобігання досягання небезпечних зон верхніми та нижніми кінцівками. Київ : ДП «УкрНДНЦ», 2016.
11. ДСТУ EN ISO 6411:2018. Кресленики технічні. Спрощене подання центральних творів. Київ : ДП «УкрНДНЦ», 2018.
12. ДСТУ EN ISO 9692-2:2014. Зварювання та споріднені процеси. Рекомендації щодо підготування зварних з'єднань. Частина 2. Дугове зварювання сталей під флюсом. Київ : Мінекономіки України, 2014.

					КРБ.133ГМбд_32[2] 97.00.00.000 ПЗ	51
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дат		

13. ДСТУ ISO 286-1:2002. Допуски і посадки за системою ISO. Частина 1. Основи допусків, відхилів та посадок. Київ : Держспоживстандарт України, 2002.
14. ДСТУ ISO 286-2:2002. Допуски і посадки за системою ISO. Частина 2. Таблиці квалітетів стандартних допусків і граничних відхилів отворів і валів. Київ : Держспоживстандарт України, 2002.
15. Козаченко О. В. Технологія виготовлення деталей машин : навч. посіб. Суми : СумДУ, 2021. 198 с.
16. Лімаренко С. М., Кравченко М. В. Охорона навколишнього середовища на виробничих підприємствах : навч. посіб. Кривий Ріг : КНУ, 2022. 188 с.
17. Технологічне оснадження галузі : конспект лекцій для здобувачів спеціальності 181 «Харчові технології». Миколаїв : МНАУ, 2025. 142 с.
18. Al-Eid M., Alharthi A., Alharthi A. Optimization of key operating parameters to enhance performance and energy efficiency of a hammer mill for corn grinding. Discover Applied Sciences. 2025. Vol. 7. Article 7263.
19. Ämmälä A., Kinnunen P., Illikainen M. Comparison of Pin Mill and Hammer Mill in the Fine Grinding of Dried Sphagnum Moss. Energies. 2023. Vol. 16 No. 5. Article 2437.
20. Braun M., Wecker H., Dunmire K., Evans C., Sodak M. W., Kapetanovich M., Shepherd J., Fisher R., Coble K., Paulk C. Evaluation of Hammermill Tip Speed, Air Assist, and Screen Hole Diameter on Ground Corn Characteristics. Processes. 2021. Vol. 9 No. 10. Article 1768.
21. Paraschiv G., Moiceanu G., Voicu G., Dinca M. Optimization Issues of a Hammer Mill Working Process Using Statistical Modelling. Sustainability. 2021. Vol. 13 No. 2. Article 973.
22. Vidosavljević S., Fištesh A., Rakić D., Pajin B., Šoronja-Simović D. Optimization of Grinding Process of Sunflower Meal for Obtaining Protein-Enriched Fractions. Processes. 2022. Vol. 10, No. 12. Article 2704.
23. Wang X., Li Y., Zhang Y., Chen J. Numerical Simulation and Experimental Study of Corn Straw Grinding Process Based on Computational Fluid Dynamics–Discrete Element Method. Agriculture. 2024. Vol. 14, No. 2. Article 325.

ДОДАТКИ

					КРБ.133ГМбд_32[2] 97.00.00.000 ПЗ	53
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дат		



1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	32	33	34	35	36	37	38	39	40	41	42	43	44	45	46	47	48	49	50	51	52	53	54	55	56	57	58	59	60	61	62	63	64	65	66	67	68	69	70	71	72	73	74	75	76	77	78	79	80	81	82	83	84	85	86	87	88	89	90	91	92	93	94	95	96	97	98	99	100
1. Name of the project: _____ 2. Location: _____ 3. Date: _____ 4. Time: _____ 5. Weather: _____ 6. Wind direction: _____ 7. Wind speed: _____ 8. Air temperature: _____ 9. Water temperature: _____ 10. Soil temperature: _____ 11. Humidity: _____ 12. Cloud cover: _____ 13. Visibility: _____ 14. Barometric pressure: _____ 15. Precipitation: _____ 16. Other observations: _____																																																																																																			

