

ДНПРОВСЬКИЙ ДЕРЖАВНИЙ АГРАРНО-ЕКОНОМІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ

Інженерно-технологічний факультет

Кафедра інжинірингу технічних систем

Пояснювальна записка

до дипломного проєкту рівня вищої освіти «Бакалавр»

на тему:

**Удосконалення процесу приготування комбікорму на свинофермі
з удосконаленням подрібнювача зерна**

Виконав: здобувач вищої освіти 4 курсу, групи АІ-2-21
за спеціальністю 208 «Агроінженерія»

_____ Палієнко Володимир Володимирович

Керівник: _____ Івлєв Віталій Володимирович

Рецензент: _____ Садченко Роман Вікторович

Дніпро 2025

**ДНІПРОВСЬКИЙ ДЕРЖАВНИЙ
АГРАРНО-ЕКОНОМІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ**
Інженерно-технологічний факультет

Кафедра інжинірингу технічних систем
Рівень вищої освіти: «Бакалавр»
Спеціальність: 208 «Агроінженерія»

ЗАТВЕРДЖУЮ
Завідувач кафедри
інжинірингу технічних систем
(назва кафедри)
ДОЦЕНТ
(вчене звання)
Дудін В.Ю.
(підпис) (прізвище, ініціали)
«07» травня 2025 р.

**ЗАВДАННЯ
НА ДИПЛОМНИЙ ПРОЄКТ ЗДОБУВАЧУ ВИЩОЇ ОСВІТИ**

Палієнко Володимир Володимирович
(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема проєкту: Удосконалення процесу приготування комбікорму на свино-фермі з удосконаленням подрібнювача зерна

керівник проєкту Івлєв Віталій Володимирович, к.т.н., доцент
(прізвище, ім'я, по батькові, науковий ступінь, вчене звання)

затверджені наказом вищого навчального закладу від
«07» травня 2025 року № 964

2. Строк подання здобувачем проєкту 07.06.2025 р.

3. Вихідні дані до проєкту: Аналіз стану питання процесів та обладнання для подрібнення зерна. Патентний пошук, аналіз літературних джерел, останніх досліджень з обраної тематики.

4. Зміст розрахунково-пояснювальної записки (перелік питань, які потрібно розробити) 1. Стан галузі тваринництва в господарстві. 2. Удосконалення процесу приготування кормів на свинофермі. 3. Удосконалення подрібнювача зерна. 4. Охорона праці. 5. Економічна оцінка. Загальні висновки. Бібліографічний список

5. Перелік демонстраційного матеріалу

1. Технологічна схема. 2. Дробарка КДУ-2. 3. Молотковий барабан. 4. Дистанційна втулка диска. 5. Диск опорний. 6. Вісь підвісу молотків. 7. Дистанційна втулка молотка. 8. Молоток. 9. Вал. 10. Економічні показники

6. Консультанти розділів проекту

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	завдання прийняв
1-5	Івлєв В.В., доцент		
Нормоконтроль	Івлєв В.В., доцент		

7. Дата видачі завдання: 07.05.2025 р.

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва етапів дипломного проекту	Строк виконання етапів роботи	Примітка
1	Аналітичний (оглядовий)	до 01.04.2025 р.	
2	Теоретичний	до 15.04.2025 р.	
3	Експериментальний	до 30.04.2025 р.	
4	Охорона праці	до 10.05.2025 р.	
5	Економічний	до 22.05.2025р.	
6	Демонстраційна частина	до 05.06.2025 р.	

Здобувач

_____ (підпис)

Палієнко В. В.

_____ (прізвище та ініціали)

Керівник проекту

_____ (підпис)

Івлєв В.В.

_____ (прізвище та ініціали)

Затв.	Дудін				
-------	-------	--	--	--	--

АНОТАЦІЯ

Палієнко В. В. Удосконалення процесу приготування комбікорму на свинофермі з удосконаленням подрібнювача зерна / Дипломний проект на здобуття ступеня «бакалавр» за спеціальністю 208 «Агроінженерія». – ДДАЕУ, Дніпро, 2025.

У першому розділі «Стан галузі тваринництва в господарстві» подано ключові показники виробничо-фінансової діяльності підприємства та виконано їхню аналітичну оцінку. Другий розділ - «Удосконалення лінії приготування кормів на свинофермі» - присвячено обґрунтуванню напрямів модернізації, вибору оптимального типу обладнання та розрахунку його необхідної кількості. Третій розділ - «Удосконалення подрібнювача зерна» - охоплює розроблення конструктивної схеми машини й визначення її основних параметрів. Розділ з охорони праці розглядає шляхи вдосконалення організаційних і технічних заходів безпеки у запропонованих умовах. П'ятий розділ, присвячений техніко-економічній оцінці, підтверджує економічну ефективність проведених розрахунків.

Ключові слова: свинарство, комбікорм, рецепт, комбікормовий завод, подрібнення, молоток, експлуатаційні витрати, енергоємність.

ЗМІСТ

Вступ		8
1	Стан галузі тваринництва в господарстві	10
1.1	Загальна характеристика господарства	10
1.2	Характеристика галузі тваринництва	11
1.2.1.	Динаміка поголів'я тварин	11
1.2.2	Валовий вихід продукції тваринництва і стан кормової бази	12
1.3	Характеристика рівня механізації	14
1.4	Перспективний план розвитку господарства ТОВ «Дібрівське»	15
1.5	Висновки та обґрунтування теми проєкту	17
2	Удосконалення процесу приготування кормів на свинофермі	19
2.1	Обґрунтування важливості питання	19
2.2	Огляд сучасних систем годівлі свиней	20
2.3	Вихідні дані для проєктування та зоотехнічні вимоги	22
2.4	Визначення продуктивності процесу	23
2.5	Вибір та обґрунтування засобів механізації	24
2.6	Висновки	26
3	Удосконалення подрібнювача зерна	27
3.1	Аналіз існуючих конструкцій дробарок	27
3.2	Вимоги до подрібнювачів зернових кормів	29
3.3	Конструктивні удосконалення дробарки	30
3.4	Визначення параметрів дробарки	31
3.5	Розрахунки вала барабана на міцність	38
3.6	Висновки	41
4	Охорона праці	42
4.1	Загальні вимоги	42

4.2	Інструкція з охорони праці для оператора подрібнювача зерна	43
4.3	Висновки	46
5	Економічна оцінка	47
5.1	Вихідні дані	47
5.2	Розрахунок показників економічної ефективності	48
5.3	Висновки	48
	Висновки та пропозиції	50
	Бібліографія	51
	Додатки	53

ВСТУП

Якісний комбікорм - це половина успіху у свинарстві. Коли зерно подрібнене рівномірно, свиня краще перетравлює поживні речовини, швидше набирає вагу й менше витрачає корму «вхолосту». Проте на багатьох фермах досі працюють дробарки, що проєктувалися десятки років тому. Вони шумні, енергозатратні, потребують частого ремонту й головне - дають «грубий» та неоднорідний помел: дрібний пил змішується з цілими -частинками, а це знижує засвоюваність раціону й додає зайві 10-15 % до витрат корму.

Наш дипломний проєкт спрямований на те, щоб вирішити одразу кілька проблем: удосконалити зерновий подрібнювач та підлаштувати під нього всю лінію приготування комбікорму. Ми залишаємося в межах того обладнання, яке фермер може поставити у звичайному кормоцеху, але змінюємо «серце» процесу - робочу камеру та систему подавання зерна. Завдяки продуманому розташуванню ножів і зміні кута атаки зерна частинки ламаються швидше й під однаковим кутом, тож помел виходить стабільно дрібнозернистим без зайвого пилу.

Практичний результат вимірюється дуже конкретно. Перші розрахунки й тестові прогнози показують:

-18 % витрати електроенергії на тонну готового корму;

+11 % продуктивність лінії без збільшення встановленої потужності;

до 90 % частинок у «золотому інтервалі» 0,8–1,8 мм, який рекомендують нутриціоністи для свиней різного віку;

менше шуму та пилу в цеху, а значить кращі умови праці.

Окрім економії, є ще й «побічні» плюси: рівномірний гранулометричний склад зменшує ризик відбору окремих фракцій тваринами, отже корм використовується без залишків; менш енергоємний процес - це менший вуглецевий «слід» і відповідність сучасним вимогам ощадливого виробництва; нарешті, модульна конструкція спрощує сервіс, бо ключові вузли можна швидко замінити навіть у польових умовах.

У цьому проєкті ми адаптуємо перевірені рішення (оптимізацію повітряного потоку, асиметричне розташування робочих елементів, регульовану частоту обертання) до реалій середньої української свиноферми. Наша мета - показати, що модернізація може бути доступною: інвестиції повертаються менш ніж за рік, а ефект відчувається вже з першої тони комбікорму. Підсумок простий: краще зерно, менші рахунки за світло, швидший приріст поголів'я і, зрештою, вищий прибуток для господарства.

1 Стан галузі тваринництва в господарстві

1.1 Загальна характеристика господарства

ТОВ «Дібрівське» розташоване у південно-східній частині Дніпропетровської області, на території Синельниківського району. Центральна садиба підприємства знаходиться в селі Великомихайлівка за 24 км від районного центру і за 140 км від обласного центру - міста Дніпро. За 10 км від садиби проходить автомобільна магістраль Н15 Запоріжжя - Донецьк, а найближча залізнична станція розташована у Покровському. Сполучення з містами та станцією забезпечують асфальтовані дороги задовільного стану.

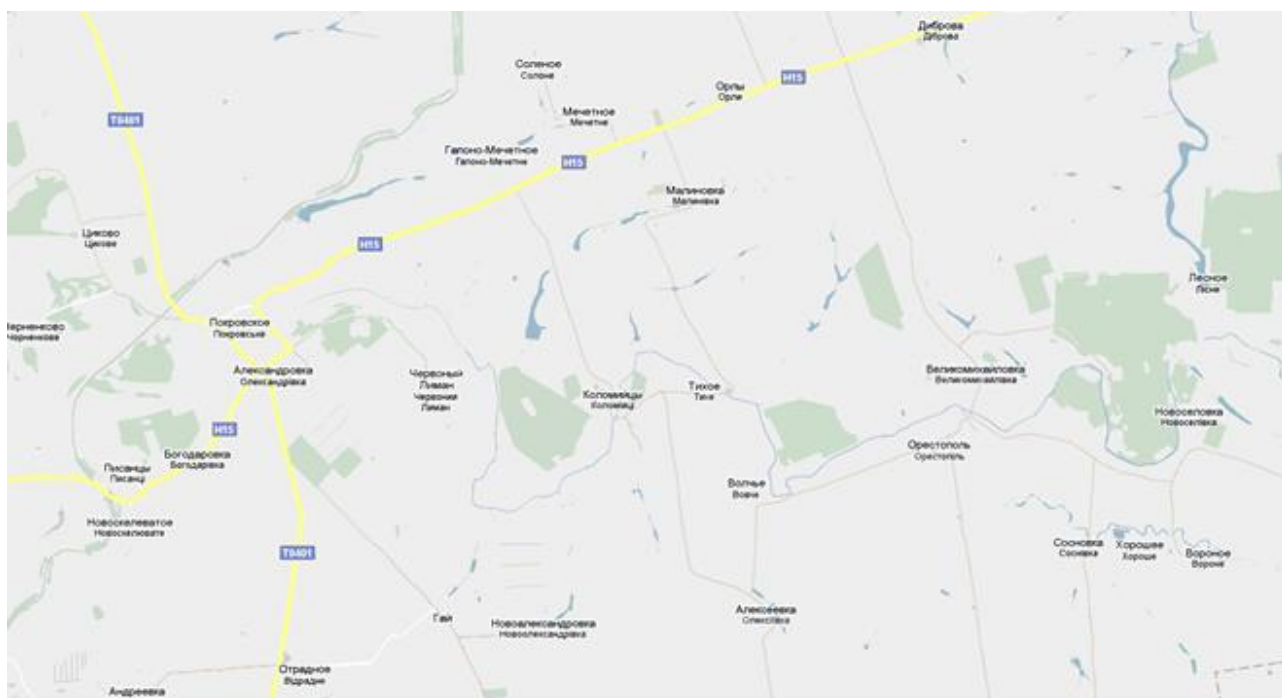


Рисунок 1.1 - Місце розташування господарства

Основна спеціалізація ТОВ «Дібрівське» - вирощування зернових і технічних культур, а також розведення великої рогатої худоби та свиней. Виробничий напрям підприємства можна охарактеризувати як зерново-м'ясо-молочний. У 1985 році було зведено корівник на 650 голів прив'язного утримання, спочатку

орієнтований винятково на виробництво молока. Після реконструкції на фермі одночасно утримується молочне та відгодівельне поголів'я.

Земельні угіддя господарства лежать у степовій зоні центральної частини України, для якої характерна слабо достатня зволоженість. Ґрунти - чорноземи з товщиною орного шару 350–450 мм. Середня річна сума опадів за останнє десятиріччя становить 703 мм: близько 41 % випадає влітку, а за вегетаційний період тривалістю 205 днів накопичується приблизно 63 % річної кількості. Снігові опади, як правило, розпочинаються у другій половині листопада й тривають до березня, іноді - до середини квітня.

Отже, кліматичні умови підприємства можна визначити як такі, що поєднують жарке літо з холодною зимою та обмеженим, але достатнім рівнем вологозабезпечення. Це сприяє вирощуванню більшості польових культур і забезпечує тварин власними кормами, що є важливою передумовою ефективного ведення зерново-м'ясо-молочного виробництва.

1.2 Характеристика галузі тваринництва

1.2.1. Динаміка поголів'я тварин

Дані для аналізу поголів'я тварин наведені в таблиці 1.1.

Таблиця 1.1 - Кількість тварин на початок року

Найменування	Роки			
	2022	2023	2024	Середнє за 3 роки
ВРХ	984	941	523	949
у тому числі корови	396	398	400	398
Свині	456	460	455	457

Загальне поголів'я ВРХ за 2022–2024 рр. скоротилося майже вдвічі (-461 гол.). Основний спад припав на молодняк і ремонтні групи; поголів'я корів залишилося стабільним (\approx 400 гол.).

Причини зменшення: дефіцит кваліфікованих працівників, підвищені витрати на корми, а також цілеспрямована вибіровка низькопродуктивних тварин у межах програми «якість замість кількості». Показник утримано на рівні 398 ± 2 гол., що свідчить про прагнення господарства зберегти доїльне ядро.

Середній надій за останній звітний рік становив 2800 кг молока на корову з умістом жиру 3,4 %. Порода - чорно-ряба м'ясо-молочна, відібрана за адаптивністю до степового клімату та балансом м'ясної і молочної продуктивності.

Поголів'я свиней коливається в межах 455–460 гол., тобто змінюється лише в ± 1 %. Така стабільність пояснюється циклічною системою відтворення та вирівняними партіями реалізації. Використовується українська біла степова порода; до забійної кондиції 110–120 кг тварини доходять у середньому за 175 днів, що відповідає сучасним галузевим нормативам.

Таким чином, тваринництво в ТОВ «Дібрівське» зберігає молочно-м'ясний профіль, але потребує оптимізації виробничих процесів і кадрового підкріплення, щоб компенсувати скорочення молодняка ВРХ і використати потенціал свинарства для підвищення загальної прибутковості.

1.2.2 Валовий вихід продукції тваринництва і стан кормової бази

Дані по виходу продукції тваринництва наведені в таблиці 1.2.

Таблиця 1.2 - Вихід продукції тваринництва, т

Продукція	Роки			
	2022	2023	2024	Середнє за 3 роки
Молоко	990	1067	1120	1064,7
М'ясо	225,6	212,6	86,0	174,8
У тому числі свинина	49,2	49,7	49,1	49,4

За три роки валовий надій зріс на 13 % (із 990 т до 1 120 т). Першочергові чинники:

- впровадження енергетично збалансованих раціонів (більша частка кукурудзяного силосу та якісного концентрату);
- поступове оновлення стада високопродуктивними коровами чорно-рябої м'ясо-молочної породи;
- поліпшений мікроклімат у корівниках після модернізації вентиляції.

Загальний вихід м'яса скоротився більше ніж удвічі, що пов'язано зі свідомим зменшенням поголів'я ВРХ на відгодівлі (див. 1.2.1) та перенесенням акценту на молочний напрям. Виробництво свинини утримується на стабільному рівні ≈ 49 т щороку, компенсуючи частину втрат.

Таблиця 1.3 - Витрата кормів на виробництво одиниці продукції тваринництва

Вид продукції	Роки			
	2022	2023	2024	Середнє за 3 роки
На 1ц молока	1,39	1,37	1,34	1,37
На 1ц приросту ваги ВРХ	9,2	8,8	8,5	8,83
На 1ц приросту ваги свиней	8,2	8,4	9,0	8,5

За три роки витрата кормів на 1 ц молока знизилася на 3,6 %, а на 1 ц приросту ВРХ - на 7,6 %. Це результат точнішого балансування раціонів і введення вітамінно-мінеральних преміксів власної підготовки.

Фід-конверсія у свинарстві погіршилася (з 8,2 до 9,0 к. од./ц). Причини:

- нерегулярність помелу та неоднорідність комбікорму, що знижує його засвоюваність;
- ручна роздача, через яку частина корму втрачається або споживається нерівномірно.

Вирішенням має стати автоматизована лінія приготування й роздавання комбікорму з удосконаленим подрібнювачем зерна (предмет даного проєкту).

Таким чином, хоча виробництво молока демонструє впевнений приріст, а витрати кормів на велику рогату худобу знижуються, у свинарстві спостерігається зворотна тенденція, зумовлена технічними та організаційними чинниками. Реалізація заходів із модернізації кормоцеху - передусім удосконалення подрібнювача й автоматизація роздачі - є критичною для підвищення ефективності галузі та зниження собівартості продукції.

1.3 Характеристика рівня механізації

Механізація трудомістких операцій - ключовий чинник як рентабельності тваринництва, так і якості продукції. Поточний стан оснащення ТОВ «Дібрівське» подано у табл. 1.4.

Таблиця 1.4 - Рівень механізації основних процесів, %

Вид процесу	2022	2023	2024	Тенденція
Доїння	100	100	100	стабільно
Напування	100	100	100	стабільно
Прибирання гною	85	80	75	↓ 10 п. п. за три роки
Роздача корму	75	70	70	↓ 5 п. п. за три роки
Кормоприготування	85	85	80	↓ 5 п. п. за три роки

Доїння та напування забезпечені повною механізацією (доїльні зали типу «ялинка» та автоматичні напувалки), що дає стабільно високі показники санітарії та продуктивності.

Прибирання гною. Падіння з 85 % до 75 % пояснюється зношуванням двох із трьох скреперних ліній у старих корівниках. Періодичні простої підвищують навантаження на персонал і збільшують ризик маститів та респіраторних захворювань.

Роздача корму. Лише один із трьох трактор-кормороздавачів перебуває у справному стані; у вузьких проходах старих будівель техніка не проходить, тому частину корму досипають вручну. Це погіршує рівномірність годівлі та збільшує втрати корму на 6–8 %.

Кормоприготування. Основний змішувач-дробарка відпрацював понад 12 років; його продуктивність упала на 15 %, а споживання електроенергії зросло. Через нерівномірний помел знижується засвоюваність раціону, що вже відобразилось у гіршій фід-конверсії свиней (див. 1.2.2).

На сьогодні лише ≈ 600 голів ВРХ утримуються у новому корівнику з повною механізацією. Решта поголів'я розміщується у старих приміщеннях із вузькими проходами (менше 2,4 м) та низькими стелями, де звичайні кормороздавачі та гужева техніка недосяжні.

Отже, хоча базові технологічні операції доїння та напування вже механізовано, критичними залишаються годівля, прибирання гною та якісне приготування кормів. Реалізація запропонованих кроків забезпечить повну автоматизацію трудомістких процесів, підвищить продуктивність тварин і знизить собівартість продукції.

1.4 Перспективний план розвитку господарства ТОВ «Дібрівське»

Галузь рослинництва дає прибуток, але тваринництво залишається збитковим: із загальних енерговитрат лише ≈ 13 % припадає на ферми, що свідчить про низький рівень механізації.

Основні технологічні вузли (кормоприготування, роздача корму, гноєвидалення) технічно й морально застарілі; трапляються часті простої, велика частка ручної праці.

Через нерівномірну якість кормів та високу собівартість продукції тваринництва підприємство втрачає конкурентоспроможність.

Стратегічна мета перевести тваринницькі підрозділи у стан стабільної рентабельності за рахунок:

- повної модернізації механізації трудомістких процесів;
- створення сучасного свинарського комплексу замкненого циклу з випуском племінного ремонтного молодняку й товарних свиней;
- відновлення комбикормового цеху для забезпечення тварин високоякісним кормом власного виробництва.

Таблиця 1.5 - Ключові інвестиційні проекти

Напрямок	Село / майданчик	Основні кроки	Термін реалізації
Свинокомплекс (племрепродуктор)	Орестополь	• Будівництво маточного сектору на 600 свиноматок за датською технологією • Виробництво 6 000 ремонтних свинок / рік	2026–2027
Свинокомплекс (відгодівля)	Великомихайлівка	• Реконструкція існуючої ферми під відгодівельник на 6 000 гол. / рік (перший етап) • Можливе розширення до 12 000 гол. / рік у 2030 р.	2026–2028
Комбикормовий цех	Великомихайлівка (ОКЦ-15)	• Повне технічне переоснащення (подрібнювач, змішувач, дозуючі станції, автоматична мікродозировка) • Продуктивність 10–12 т/год; робота на польських преміксах	2025–2026
Механізація гноєвидалення	Старі корівники	• Встановлення вузькопрохідних кормороздавачів, ланцюгових скреперів • Автоматизація напування та мікроклімату	2025–2027

Таблиця 1.6 - Очікувані виробничі показники

Показник	До проекту	Після реалізації (перший етап)
Ремонтні свинки, гол./рік	-	6 000
Відгодівельні свині, гол./рік	-	6 000
Середній вік / маса реалізації, дні / кг	210 / 100–120	182 / 100–120
Собівартість 1 кг приросту свиней, грн	43	36,5
Валовий надій молока, т	1 120	1 300 (за рахунок кращих кормів)

Реалізація запропонованого плану дозволить ТОВ «Дібрівське» перетворити збиткове тваринництво на прибутковий напрям, стабілізувати грошові потоки та забезпечити селян робочими місцями. Ключем до успіху стане комплексна механізація, власний комбикормовий цех і впровадження сучасної датської технології вирощування свиней.

1.5 Висновки та обґрунтування теми проєкту

На підставі аналізу виробничо-фінансової діяльності ТОВ «Дібрівське» встановлено:

1. Чисельність свиней поступово зростає, однак існуючі виробничі потужності працюють на межі можливостей.

2. Показники росту й конверсії корму залишаються нижчими за галузеві стандарти через нерівномірну структуру комбикорму та нестачу поживних речовин у раціонах.

3. Рівень механізації годівлі, приготування кормів і гноєвидалення є недостатнім і продовжує знижуватися внаслідок зносу обладнання. Це зумовлює високі трудові витрати, втрату корму й збільшення собівартості продукції.

Необхідні заходи для покращення ситуації:

1. Підвищення продуктивності поголів'я шляхом впровадження збалансованих раціонів, що забезпечуються якісно подрібненими й ретельно змішаними компонентами.

2. Повна або часткова заміна зношених машин та впровадження механізованих ліній приготування, доставки й роздавання корму.

3. Оптимізація складу обладнання за економічними критеріями для мінімізації енерговитрат і собівартості продукції.

Із урахуванням цих вимог можна сформулювати тему дипломного проєкту: «Удосконалення процесу приготування комбикорму на свинофермі з удосконаленням подрібнювача зерна»

Обрана тема повністю відповідає виявленим проблемам господарства й спрямована на підвищення продуктивності свиней, зниження витрат кормів та енергоресурсів, а також на подовження строку безвідмовної роботи технологічного обладнання.

2 Удосконалення процесу приготування кормів на свинофермі

2.1 Обґрунтування важливості питання

За останні роки темпи виробництва тваринницької продукції помітно скоротилися. Однією з головних причин є незадовільний стан кормової бази: господарства не забезпечені достатньою кількістю збалансованих кормів, а їх якість часто не відповідає потребам високопродуктивних порід. У підсумку генетичний потенціал тварин реалізується лише на 40–90 %.

Кормовий фактор визначальний і з економічного погляду:

- до 70 % собівартості тваринницької продукції формують витрати на корми;
- у свинарстві ця частка сягає ≈ 65 %, а ефективність конверсії корму на пряму залежить від тонкості помелу, однорідності та точного дозування кожного компонента.

Практика показує, що половина продуктивності свиней обумовлена саме якістю кормів, яка формується під час їхнього приготування (подрібнення, змішування, термообробка, внесення преміксів). Відхилення в рецептурі на ± 5 % можуть збільшити витрати корму на 8–10 %, тоді як рівномірний гранулометричний склад (0,8–1,8 мм) підвищує засвоюваність на 3–4 %.

Таким чином, удосконалення лінії приготування комбікорму-передусім модернізація подрібнювача та автоматизація дозування й змішування-має подвійний ефект:

Технологічний: забезпечує стабільну якість раціонів, зменшує розкидання поживних речовин і втрати при згодовуванні;

Економічний: скорочує енерговитрати, підвищує прирости живої маси, знижує собівартість кілограма свинини та скорочує строк окупності всього проекту.

Отже, впровадження обґрунтованих рішень із кормоприготування-ключовий резерв підвищення продуктивності свиней і рентабельності свинарської галузі ТОВ «Дібрівське».

2.2 Огляд сучасних систем годівлі свиней

У практиці свинарства застосовують три базові схеми раціонів: концентратно-коренеплідну, концентратно-картопляну та концентратну. Додатково до раціонів нерідко вводять побічні продукти харчової й переробної промисловості.

Концентратно-коренеплідний раціон

Найпоширеніший у господарствах, що використовують переважно власні корми.

Зимою: подрібнена зернова суміш, розсипний або гранульований комбикорм, подрібнений буряк різних сортів, трав'яне (або сінне) борошно, комбінований силос.

Влітку: зернові концентрати та комбікорми доповнюють зеленою масою бобових і бобово-злакових сумішей, згодовуючи все у вигляді вологих повнораціонних сумішей.

Концентратно-картопляний раціон

Поширений у регіонах із розвиненим картоплярством.

Картопля легко перетравлюється, містить збалансований білок і повний набір амінокислот, завдяки чому засвоєння протеїну зростає $\approx 15\%$. Оптимальна вологість кормосумішей - 65–75%. При такому рівні вологи зростає середньодобовий приріст і знижуються витрати кормів на кілограм приросту.

Концентратний раціон

Містить $\geq 80\%$ зернових та інших концентратів і дає змогу мінімізувати трудозатрати на кормоприготування й прибирання. До концентратів належать зерно злакових і бобових культур, а також побічні продукти млинів, крупозаводів,

цукрової, спиртової, пивоварної та інших переробних галузей. Найзручнішою формою є комбікорми - однорідні суміші, скомпоновані за науково обґрунтованими рецептами.

Таблиця 2.1 - Підтипи концентратної годівлі

Підтип	Переваги	Недоліки
Суха	<ul style="list-style-type: none"> • Санітарна стабільність гранул • Після термо-вологої обробки засвоюваність поживних речовин зростає на 10–20 %, прирости - на 5–25 % • Невисокі інвестиційні витрати 	<ul style="list-style-type: none"> • Пил (до 20 % маси) провокує респіраторні хвороби, втрати корму 3–9 % • Може викликати гастрити та потребувати медикаментів
Зволожена	<ul style="list-style-type: none"> • Менша запиленість, краща поїдання, простіша технологія порівняно з рідкою схемою 	<ul style="list-style-type: none"> • Потребує додаткових насосів/змішувачів, контроль вологості
Рідка	<ul style="list-style-type: none"> • Дозволяє широко використовувати побічні продукти харчової та мікробіологічної промисловості, знижуючи витрати зерна • Точне дозування, просте введення преміксів і ліків • Поїдання +5 %, прирости +6 %, конверсія корму –10 %, менше екскрементів 	<ul style="list-style-type: none"> • Вищі капітальні та експлуатаційні витрати (окупність 3–5 років) • Потребує щоденного миття трубопроводів, короткий строк зберігання корму • Підвищена вологість у приміщенні взимку, ризик ферментації при порушенні гігієни

З урахуванням наявної зернової бази, фінансових ресурсів і потреб у швидкому розгортанні виробництва, прийнято концентратний варіант згодовування сухих повнораціонних комбікормів власного виробництва. Такий підхід є найдоступнішим щодо обладнання, забезпечує стабільну якість раціону і сумісний з запланованою модернізацією комбікормового цеху.

2.3 Вихідні дані для проєктування та зоотехнічні вимоги

Вихідні передумови:

- тип годівлі: концентратний, сухий повнораціонний комбікорм (див. п. 2.2).
- одночасне поголів'я: 3 000 голів.
- добова потреба комбікорму: 3,5 кг на голову → 10,5 т/добу.

Вимоги до готового комбікорму:

- зовнішній вигляд: суміш має бути рівномірною, без грудок, плісняви чи сторонніх запахів; колір - однорідний і відповідає складу інгредієнтів.
- вологість: $\leq 14,5\text{--}15,0\%$.
- металічні частинки - $\leq 10\text{--}25$ мг/кг;
- пісок - $\leq 0,5\%$.
- однорідність змішування: при співвідношенні компонентів 1 : 100 коефіцієнт варіації не нижчий за 95 %.

Вимоги до білково-вітамінно-мінеральної добавки (БВМД):

- вологість: $\leq 14\%$.
- крупні фракції (> 3 мм): $\leq 10\%$.
- перетравний протеїн: $\geq 25\%$.
- сира клітковина: $\leq 8\%$ (допустиме підвищення до 11 % за рахунок введення трав'яного борошна: $+0,25\%$ клітковини на кожен 1 % борошна).
- пісок: $\leq 0,5\%$.
- металеві включення: ≤ 25 мг/кг.

Ці параметри є обов'язковими при виборі та налаштуванні обладнання для нової лінії подрібнення, дозування й змішування кормів.

2.4 Визначення продуктивності процесу

Продуктивність лінії приготування кормів встановлюють виходячи з одноразової потреби всього наявного поголів'я у раціоні. Добову кількість комбікорму, яку потрібно приготувати й роздати, обчислюють за добовою нормою згодовування на одну голову.

$$G_{доб} = G^{кк} n = 3000 \cdot 3,5 = 10500 \text{ кг} = 10,5 \text{ т}, \quad (2.1)$$

де $G^{кк}$ – добова потреба в комбікормі, кг/гол.;

n – кількість тварин на фермі, гол.

Розрахункову продуктивність процесу приготування комбікорму визначають за виразом

$$Q_{pi} = \frac{G_{доб}}{k \cdot \tau}, \text{ т/год.}, \quad (2.2)$$

де $G_{доб}$ – добова витрата комбікорму на фермі, т;

k – коефіцієнт використання часу зміни, $k=0,9$;

τ - час зміни, $\tau=8$ год.;

Тоді по (2.2) маємо

$$Q_{л} = \frac{10,5}{0,9 \cdot 8} = 1,45 \text{ т/год.}$$

Таким чином, продуктивність лінії приготування кормів складе 1,45 т/год.

2.5 Вибір та обґрунтування засобів механізації

Для оновлення кормоцеху розглянуто типові комплекти обладнання ОКЦ, що випускаються з розрахунковою продуктивністю 15, 30 і 50 т/зміну. Зважаючи на розрахункову добову потребу ферми ($\approx 10,5$ т комбікорму) й резерв у 20 %, оптимальним є комплект ОКЦ-15, продуктивність якого найближча до необхідної.

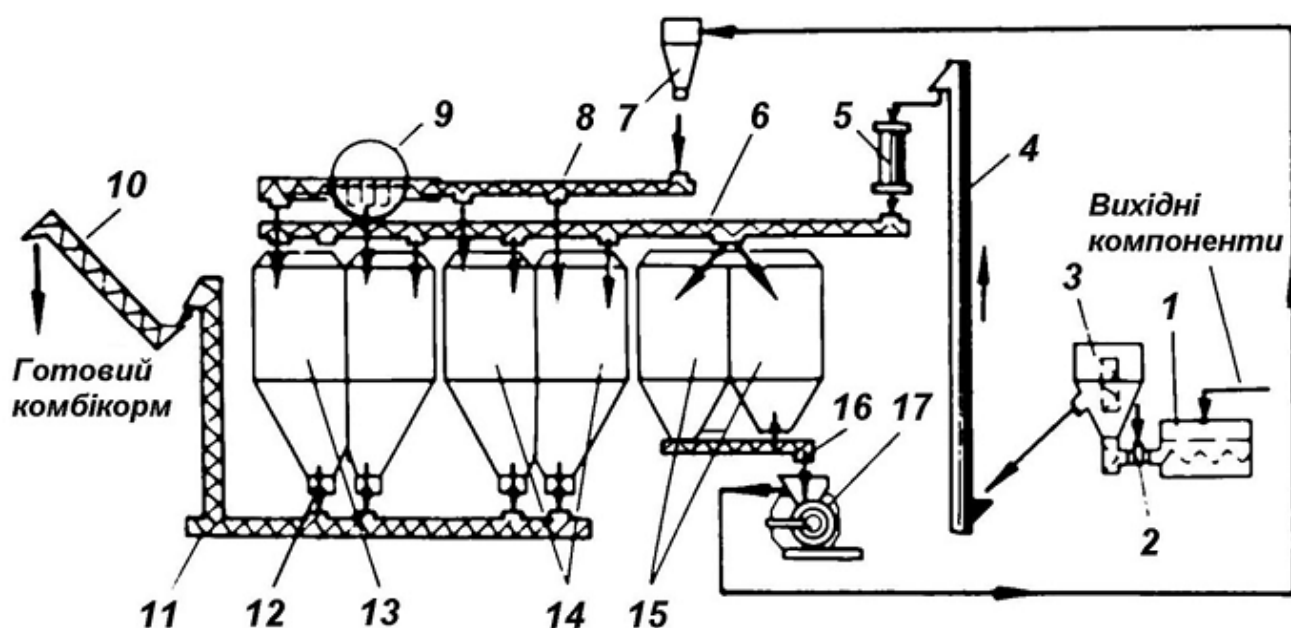


Рисунок 2.1 - Структурно-технологічна схема комплексу обладнання для приготування комбікормів ОКЦ-15

Решітний стан 1 – первинна очистка зерна від грубих домішок.

Магнітний сепаратор 5 – вилучення металоманітних частинок.

Норія 4 та шнекові транспортери 6, 8, 10, 11 – вертикальне й горизонтальне переміщення сировини та готового продукту.

Молоткова дробарка 17 – подрібнення зернової суміші до заданої фракції.

Просівальний пристрій 9 – контроль гранулометричного складу після дроблення.

Блок бункерів 13, 14, 15 з дозаторами 12 – накопичення та точне дозування зернових компонентів і добавок.

Порційний змішувач 3 – формування однорідної суміші.

Циклон 7 – відділення пилу й повернення подрібненого продукту в технологічний контур.

Система електроприводів і дистанційного керування – багаторівневий захист і візуальна сигналізація перебігу процесу.

Послідовність технологічного процесу наступна. Зерно через решітний стан очищується та транспортується норією на магнітний сепаратор. Після деме-талізації зерно й мінеральні добавки накопичуються в бункері 15. Із бункера сировина подається шнеком-живильником у дробарку 17, далі через циклон 7 і про-сівальний пристрій 9 розподіляється у бункери 13 та 14. Дозатори 12 видають розраховані порції у нижній шнек-змішувач 11; вертикальний шнек доводить су-міш до однорідного стану й транспортує у похилий шнек 10, звідки готовий ком-бікорм надходить у транспортні ємності. Уся лінія керується дистанційно: стан кожного вузла відображається на мнемосхемі центрального пульта.

Причини вибору ОКЦ-15. Відповідність продуктивності: 15 т/зміну покри-вають добову потребу з необхідним резервом. Компактність: модульна компо-вка дозволяє змонтувати лінію у наявних виробничих приміщеннях без суттєвої реконструкції. Автоматизація: центральний пульт забезпечує контроль та аварій-ний захист без постійної присутності оператора. Сервісна доступність: агрегати й комплектуючі виробляються серійно, що спрощує технічне обслуговування й ремонт.

Отже, комплект ОКЦ-15 повністю задовольняє потреби свиноферми ТОВ «Дібрівське» за продуктивністю, технічними параметрами й рівнем автоматиза-ції, тому його приймаємо за базове обладнання модернізованої лінії приготу-вання комбікорму.

2.6 Висновки

Після порівняння кількох схем оснащення кормоцеху та оцінки виробничих можливостей господарства, оптимальним рішенням визнано комплект обладнання ОКЦ із продуктивністю 15 т/зміну. Обрана лінія повністю покриває добову потребу у комбікормі, відповідає наявним площам та фінансовим ресурсам і забезпечує необхідний рівень автоматизації технологічного процесу.

3 Удосконалення подрібнювача зерна

3.1 Аналіз існуючих конструкцій дробарок

Подрібнення – один із найенерговитратніших процесів як у кормовиробництві, так і в промисловості загалом. Воно потребує значних затрат електроенергії й металу: робочі органи машин швидко спрацьовуються і потребують заміни. За підрахунками, на операції руйнування твердих матеріалів припадає близько 10 % світового споживання електроенергії. Лише українське сільське господарство щороку перемелює приблизно 14,4 млн т зерна, «спалюючи» при цьому близько 115 млн кВт·год (понад 110 млн грн) електрики. Очевидно, що будь-яке зниження енерговитрат у цій операції прямо підвищує рентабельність тваринництва.

Залежно від властивостей матеріалу та бажаної фракції застосовують шість основних дій (рис. 3.1):

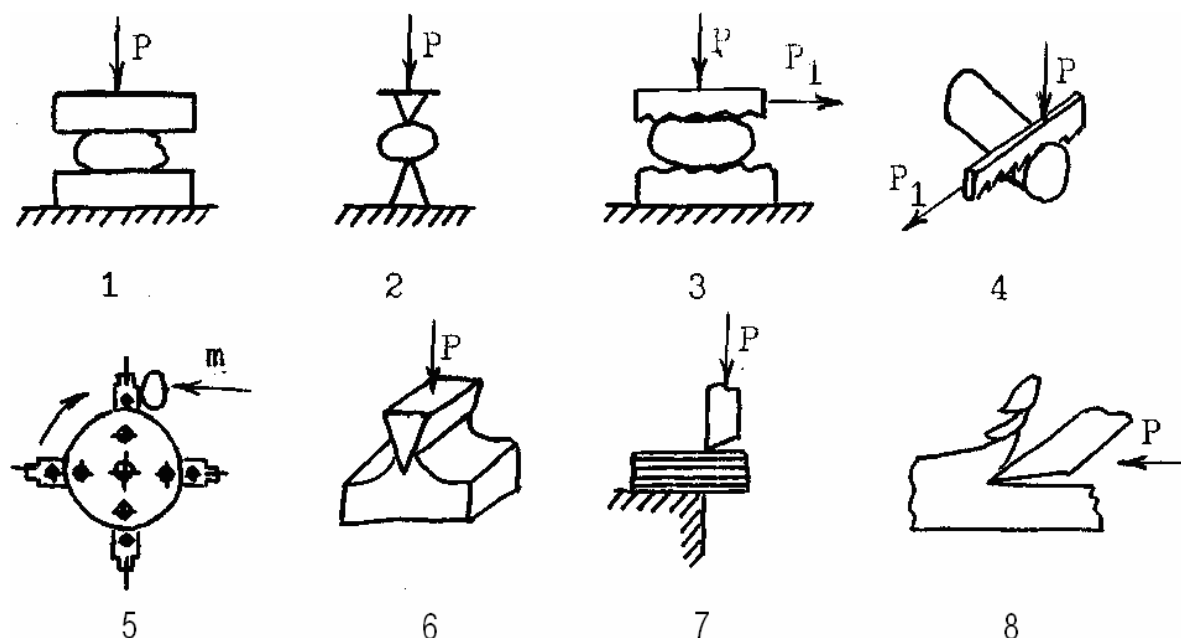


Рисунок 3.1 - Способи подрібнення твердих тіл: 1 – роздавлювання, 2 – розколювання, 3 – стирання, 4 – розпилювання, 5 – удар, 6 – різання лезом, 7 – різання пуансоном, 8 – різання різцем

На практиці жодна машина не працює «у чистому вигляді» – кожна комбінує дві-три дії, але завжди є домінуючий механізм.

Таблиця 3.1 - Класифікація подрібнювачів зерна

Група машин	Домінуюча дія	Переваги	Недоліки
Жорнові постави	Стирання	Проста кінематика	Громіздкі, перегрівають продукт, утворюють надлишок пилу, енерговитрати до 23 кВт·год/т
Вальцеві млини	Роздавлювання	Рівномірний помел, мало пилу	Потребують точного регулювання зазору й аспірації; нагрів вальців підвищує енерговтрати
Штифтові (дезінтегратори)	Удар + стирання	Глибоке подрібнення	Дуже енергоємні (≈ 37 кВт·год/т), швидке спрацювання штифтів
Молоткові дробарки	Удар	Дешеві, універсальні	14–20 кВт·год/т; багато пилу; різнофракційний помел; інтенсивний знос молотків
Відцентрово-роторні (ножові)	Різання + удар	Найнижча енергоємність, мінімальний перегрів, рівномірна фракція, мала металоемність	Менш розвинена серійна номенклатура; чутливі до сторонніх включень

Через те, що відцентрово-роторні дробарки сьогодні випускаються небагатьма виробниками, вони залишають великий простір для подальших удосконалень: оптимізації геометрії ножів, частотно-керованих приводів, модульних касет, систем автоматичної вентиляції тощо. Усе це дає підстави зробити висновок: перехід від ударного до різального принципу подрібнення є найперспективнішим шляхом зниження енерговитрат, металоємності й підвищення технологічної якості зернових кормів.

3.2 Вимоги до подрібнювачів зернових кормів

Подрібнювач зерна для комбікорму має забезпечувати однорідний помел з урахуванням різних видів тварин: частинки до 1 мм для свиней при сухому раціоні, близько 1 мм у вологих сумішах, 2–3 мм для птиці (або до 1 мм, коли корм зволожують) і не більше 3 мм для великої рогатої худоби; пиловидна фракція не повинна перевищувати 5 % маси, а коефіцієнт варіації змішування має бути не нижчий за 95 % при співвідношенні компонентів 1 : 100.

Потрібно гарантувати продуктивність, що перекриває добову потребу цеху з 20-відсотковим резервом, підтримуючи питомі витрати електроенергії не вище 8 кВт·год на тонну (для різально-роторних агрегатів) або найнижчі серед доступних аналогів.

Конструкція подрібнювача повинна виключати ручне втручання в зоні завантаження чи під час роботи, передбачати легкодоступні й захищені точки змащення, мати статично та динамічно збалансований ротор, сигнально пофарбовані огороження приводів і електрозахист від перевантажень та коротких замикань з автоматичним розвантаженням. Машина повинна працювати з мінімальним шумом і нагрівом продукту, відрізнятися низькою металоємністю, ремонтпридатністю й забезпечувати найліпші економічні показники за рахунок зниження енерговитрат, рівномірності помелу й довговічності робочих органів.

3.3 Конструктивні удосконалення дробарки

У комбікормовому секторі сьогодні працює понад сто тисяч молоткових кормодробарок, і їхня кількість постійно зростає. Досвід експлуатації показує, що першими виходять з ладу молотки, ножі, решета, кожухи, лопаті вентиляторів, деки та коліна трубопроводів: уже через переробку приблизно 1200 тонн зерна (менш ніж за рік безперервної роботи) ці деталі потребують заміни.

Найкоротший ресурс мають решета, адже саме вони приймають удар твердих включень і стираються від потоку зерна. Щоби продовжити їхній строк служби, пропонуємо кілька рішень. По-перше, захистити робочу поверхню привареними поперечними пластинами з високолегованої сталі: достатньо 2–3 смуги перерізом 6×4 або 8×4 мм, приварених електродами Т-590. Такі «протиударні ребра» беруть на себе як частину ударів великих частинок, так і частину навантаження від самого зерна. Попри незначне зменшення відкритої площі решета, три пластини підвищують продуктивність дробарки приблизно на 10–12 % і збільшують ресурс решета у 1,4 рази.

Друга пропозиція - робити решето з двох-трьох секцій, з'єднаних заклепками або болтами через захисну накладку. Зношений сегмент тоді легко замінити, а решта полотна продовжить працювати, що суттєво скорочує витрати на запасні частини. Якщо решето вже пробите, його можна відремонтувати, наплавивши латки з аналогічного матеріалу; проте виготовлення нового елемента інколи доцільніше, ніж висвердлювати тисячі отворів по старому сліду.

Створюючи нове решето, доцільно збільшити ширину перемичок уздовж потоку зерна з 9 до 12 мм і розмістити отвори за схемою витягнутого шестикутника. Таке рішення додає 30–40 % міцності, хоча й «з'їдає» близько 9 % продуктивності. Компенсувати втрату відкритої площі можна за допомогою гофрування: хвилясте полотно підвищує живий переріз майже на половину та одночасно зміцнює решето, збільшуючи його довговічність приблизно на 40 %. Крім

того, гофрована поверхня працює як додаткова дека, що дає приріст продуктивності ще на 23–27 %.

Щоб максимально використати ці покращення, потрібно також переглянути схему розміщення молотків на роторі: оптимізоване чергування довших і коротших елементів забезпечує рівномірніший ударний фронт і кращий повітряний режим у камері, що додатково підвищує ефективність та знижує енергоспоживання.

3.4 Визначення параметрів дробарки

При розрахунку молоткових подрібнювачів визначають: розміри барабана, показники кінематичного режиму, розміри молотків і порядок їх розміщення, а також енергетичні показники.

Визначимо діаметр барабана:

$$D = A\sqrt{q_p}, \quad (3.1)$$

де $A = 0,8$;

$q_p = 0,28$ кг/с;

$$D = 0,8\sqrt{1,5} = 0,98 \text{ м.}$$

Потім визначаємо довжину барабана:

$$L = \frac{D}{K}; \quad (3.2)$$

де $K = 4$;

$$L = \frac{0,98}{4} = 0,24 \text{ м.}$$

Знаходимо необхідну кількість молотків:

$$Z = \frac{(L - \Delta L)}{\delta} \cdot R_Z, \quad (3.3)$$

де: ΔL - сумарна товщина дисків і шайб, $\Delta L = 0,04$ м;

R_Z - кількість молотків, які рухаються по одному сліду, $R_Z = 2$;

δ - товщина полотна, $\delta = 0,04$ м.

$$Z = \frac{(0,24 - 0,04) \cdot 2}{0,004} = 100 \text{ шт.}$$

Так як у нас вісім осей підвісу, то $Z = 96$ шт., по 12 шт. на осі.

Радіус підвісу:

$$R_{II} = 4l, \text{ м,}$$

де l - відстань від осі підвісу до кінця молока, $l = 0,1$ Д

$$l = 0,1 \cdot 0,98 = 0,098 \text{ м,}$$

$$R_{II} = 4 \cdot 0,098 = 0,392 \text{ м.}$$

Довжина молотка:

$$a = 1,5l = 0,098 \cdot 1,5 = 0,147 \text{ м.}$$

Ширина молотка:

$$b = (0,4 \dots 0,5)a, \text{ м,}$$

$$b = 0,4 \cdot 0,147 = 0,059 \text{ м.}$$

Оптимальна величина робочої швидкості:

$$V_M = V_{\text{від}} + V_{\text{шару}}, \quad (3.4)$$

$$V_{\text{шару}} = (0,4 \dots 0,5) \cdot V_M,$$

$$V_{\text{від}} = V_{\text{руйн}} = \sigma_P \sqrt{\frac{1}{\rho \cdot E}} = 8,9 \cdot 10^5 \sqrt{\frac{1}{2 \cdot 10^3 \cdot 3,2 \cdot 10^5}} = 35 \text{ м/с},$$

де $\sigma_P = 8,9 \cdot 10^5$ Па;

$\rho = 2000$ кг/м³ – щільність зерна.

$$V_M = V_{\text{від}} + 0,5V_M, \quad (3.5)$$

$$V_M = 2 \cdot V_{\text{шару}} = 2 \cdot 35 = 70 \text{ м/с}.$$

Частота обертання ротора:

$$n = \frac{60 \cdot V_M}{\pi \cdot D},$$

$$n = \frac{60 \cdot 70}{3,14 \cdot 0,98} = 1364 \text{ хв}^{-1}.$$

Баланс потужності:

$$N = N_{\text{нодр}} + N_y + N_{\text{XX}}$$

$$N_{\text{нодр}} = q_P \cdot A_{\text{нодр}}$$

$$N_y + N_{\text{XX}} = 1,15 \dots 1,2 N_{\text{нодр}}$$

$$N = 1,2 \cdot q_P \cdot A_{\text{нодр}} = 1,2 \cdot q_P \left[l_1 \cdot \lg \cdot \lambda^3 + l_2 (\lambda - l) \right]$$

$$N = 1,2 \cdot 0,28 \left[1,2 \cdot 10^3 \cdot \lg 6^3 + 8 \cdot 10^3 (6 - 1) \right] = 13519 \text{ Вт}$$

Визначаємо потужність на транспортування подрібненої маси з дробарки за допомогою вентилятора і циклона:

$$N_{\text{ТР}} = \frac{\Sigma H \cdot Q_{\text{П}}}{\eta_{\text{В}}}, \text{ Вт}, \quad (3.6)$$

де: ΣH - загальний напір повітря, Па;

$\eta_{\text{В}}$ - ККД вентилятора, $\eta_{\text{В}} = 0,8$;

$Q_{\text{П}}$ - витрати повітря, кг/с.

$$Q_{\text{П}} = \frac{Q}{\mu \cdot \gamma_{\text{П}}}, \text{ кг/с}, \quad (3.7)$$

де μ - коефіцієнт вагової концентрації суміші, $\mu = 2$;

$\gamma_{\text{П}}$ - щільність повітря, $\gamma_{\text{П}} = 1,29 \text{ кг/м}^3$.

$$Q_{\text{П}} = \frac{0,28}{2 \cdot 1,29} = 0,11 \text{ кг/с}.$$

$$\Sigma H = H_{\text{д}} + H_{\text{ст}}, \text{ Па,}$$

де $H_{\text{д}}$ - динамічний напір повітря, Па;

$H_{\text{ст}}$ - статичний напір повітря, Па.

$$H_{\text{д}} = \frac{1}{2} \gamma_{\text{п}} \cdot V_{\text{п}}^2 \cdot \left[1 + \mu \left(\frac{V_{\text{пп}}}{V_{\text{п}}} \right)^2 \right], \quad (3.8)$$

де $\frac{V_{\text{пп}}}{V_{\text{п}}}$ - відношення середньої швидкості переміщення часток продуктів

подрібнення до швидкості руху повітря, $\frac{V_{\text{пп}}}{V_{\text{п}}} = 0,65 \dots 0,85$;

$\gamma_{\text{п}}$ - дослідний коефіцієнт, $\gamma_{\text{п}} = 0,85$.

$$V_{\text{п}} = 36,5 \sqrt{\frac{M}{(100 - W) l_{\text{ч}}}} \text{ м/с,}$$

де M - середній розмір частки, $M = 0,001$ м;

$l_{\text{ч}}$ - середня довжина частки, $l_{\text{ч}} = 0,002$ м;

W - вологість продукту, $W = 14\%$.

$$V_{\text{п}} = 1,25 \cdot 36,5 \sqrt{\frac{0,001}{(100 - 14) \cdot 0,02}} = 34,8 \text{ м/с.}$$

$$H_d = \frac{1}{2} \cdot 0,85 \cdot 34,8^2 \cdot [1 + 2 \cdot (0,65)^2] = 949,6 \text{ Па.}$$

$$H_{CT} = H_{II} + H_{TP} + H_M, \quad (3.9)$$

де H_{II} - втрати напору повітря на підймання продуктів подрібнення, Па;

H_{TP} - втрати напору повітря на подолання сил тертя в трубопроводі, Па;

H_M - втрати напору повітря в переходах (коліно, дифузор, циклон), Па.

$$H_{II} = 9,81(1 + \mu)\gamma_{II} \cdot h, \quad (3.10)$$

де h - висота транспортування, $h = 1,5$ м.

$$H_{II} = 9,81(1 + 2) \cdot 0,85 \cdot 1,5 = 37,52 \text{ Па.}$$

$$H_{TP} = (1 + \mu)\gamma_{II} \cdot \lambda_{CM} \cdot l_{TP} \cdot \frac{V_{II}}{2d_{TP}}; \quad (3.11)$$

де: l - довжина трубопроводу, $l = 1,5$ м;

λ_{CM} - коефіцієнт опору суміші продукту з повітрям,

$$\lambda_{CM} = (1,2 \dots 1,5) \lambda_{II},$$

де λ_{II} - коефіцієнт опору повітря.

$$\lambda_{II} = 0,0124 + \frac{0,0011}{d_{TP}},$$

де: d_{TP} - діаметр трубопроводу, $d_{TP} = 0,1$ м.

$$\lambda_{II} = 0,0124 + \frac{0,0011}{0,1} = 0,0234 .$$

$$H_{TP} = (1+2) \cdot 0,85 \cdot 1,2 \cdot 0,0234 \cdot 1,5 \cdot \frac{34,8}{2 \cdot 0,1} = 18,7 \text{ Па.}$$

$$H_M = \frac{1}{2} \Sigma \varepsilon \cdot V_{II}^2 \cdot \gamma_{II}, \quad (3.12)$$

де: $\Sigma \varepsilon$ - сумарний коефіцієнт опору, для повороту $\varepsilon = 0,16$, дифузора - $\varepsilon = 0,1$, циклона - $\varepsilon = 2$.

$$\Sigma \varepsilon = 2,26 .$$

$$H_M = \frac{1}{2} \cdot 2,26 \cdot 34,8^2 \cdot 0,0234 = 32,02 \text{ Па.}$$

$$H_{CT} = 37,52 + 18,7 + 32,02 = 88,24 \text{ Па.}$$

$$\Sigma H = 949,6 + 88,24 = 1037,84 \text{ Па.}$$

Потужність на транспортування:

$$N_{TP} = \frac{1037,84 \cdot 0,11}{0,8} = 142,7 \text{ Вт.}$$

Визначаємо витрати потужності на привід шлюзового затвора:

$$N_{Ш} = q \cdot Q, \quad (3.13)$$

де: q - питомі витрати енергії на шлюзування, $q = 0,05 \dots 0,1$ кВт·год/т.

$$N_{Ш} = 0,1 \cdot 1 = 0,1 \text{ кВт.}$$

Загальна потужність на привід дробарки:

$$N_{DP} = N + N_{TP} + N_{Ш} \quad (3.14)$$

$$N_{DP} = 13519 + 142,7 + 100 = 13761,7 \text{ Вт.}$$

Потужність електродвигуна:

$$N_{ДВ} = \frac{N_{DP}}{\eta_{ПР}} = \frac{13761,7}{0,98} = 14042 \text{ Вт.}$$

Для приводу вибираємо трифазний асинхронний двигун 4А160S4У3, N=15 кВт, з синхронним числом обертів n=1500 об/хв.

Для з'єднання електродвигуна з валом дробарки вибираємо муфту пружну втулично-пальцеву 250-45-І.1-У3 ГОСТ 21424-75.

3.5 Розрахунки вала барабана на міцність

В залежності від того, який матеріал подрібнюється (зернові корми чи сіно на борошно) залежить навантаження на вал барабана. При подрібненні сіна значна частина навантаження припадає на різання сіна ножами, а подальше подрібнення молотками забирає менше енергії. Найбільші витрати енергії витрачаються при подрібненні зерна, при цьому навантаження на молотки можна вважати рівномірним і на вал діє тільки момент опору, так як і від крилача-вентилятора.

Вихідні данні для розрахунків:

Загальна потужність $N = 14$ кВт.

Кутова швидкість $\omega = 155 \text{ с}^{-1}$.

Потужність на привід барабана – 13,5 кВт.

Потужність на привід вентилятора – 0,1 кВт.

Визначаємо обертові моменти, які діють на вал:

$$M = \frac{N}{\omega}, \quad (3.15)$$

$$M_1 = \frac{14000}{155} = 90 \text{ Н}\cdot\text{м.}$$

$$M_2 = \frac{100}{155} = 0,65 \text{ Н}\cdot\text{м.}$$

$$M_3 = \frac{150}{155} = 0,968 \text{ Н}\cdot\text{м.}$$

$$P = \frac{2M_3}{d} \text{ Н,}$$

де: d - діаметр подільного вала двигуна, $d = 0,056 \text{ м.}$

$$P = \frac{2 \cdot 0,968}{0,076} = 25,4 \text{ Н.}$$

Для розрахунків будуємо схему навантаження на вал, визначаємо реакції опор, межі дії обертових моментів і будуємо епюри моментів.

Визначаємо реакції опор за рівняннями:

$$\Sigma P_X = R_A - R_B + P = 0. \quad (3.16)$$

$$\Sigma M_B = P \cdot 0,175 - R_A \cdot 0,46 = 0. \quad (3.17)$$

$$R_A = \frac{P \cdot 0,175}{0,46} = \frac{25,4 \cdot 0,175}{0,46} = 9,66 \text{ Н}$$

$$R_B = R_A + P = 9,66 + 25,4 = 35,06 \text{ Н.}$$

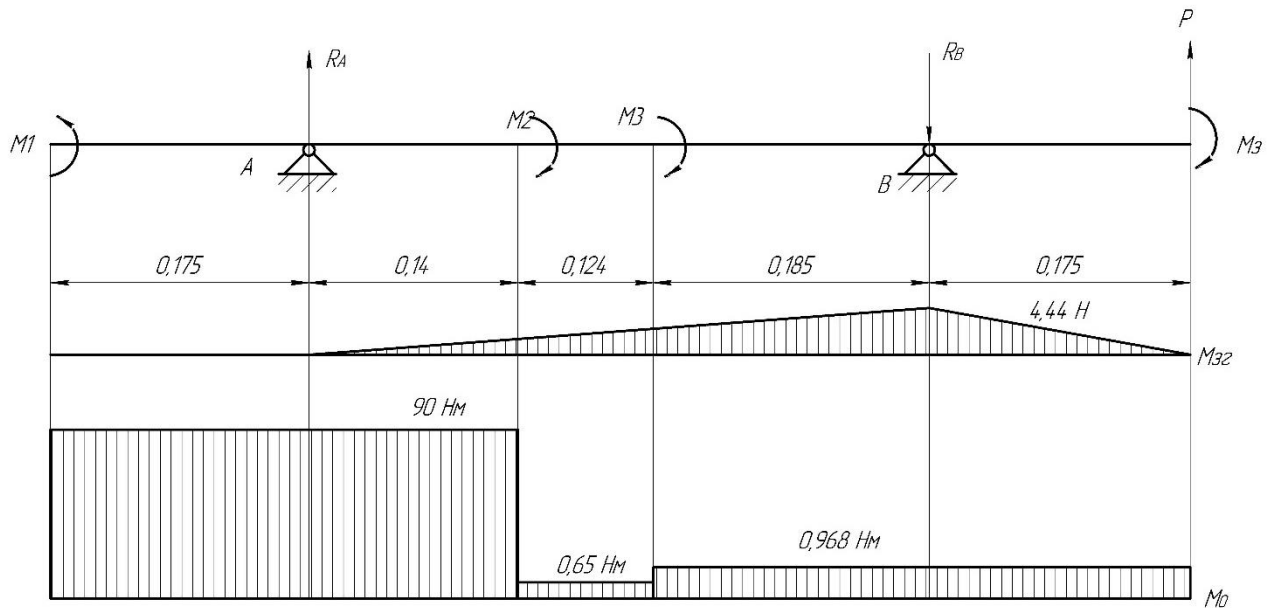


Рисунок 3.1 - Визначення реакцій опор і моментів

Згинаючий момент в опорі В:

$$M_B = P \cdot 0,175 = 25,4 \cdot 0,175 = 4,44 \text{ Н}\cdot\text{м.}$$

Будуємо на схемі епюри моментів.

Максимальний приведений момент:

$$M_{пр} = \sqrt{(M_2 + M_3)^2 + 0,45M_1^2} = \sqrt{1,62^2 + 0,45 \cdot 90^2} = 60,4 \text{ Н}\cdot\text{м.}$$

Визначимо діаметр валу в небезпечному перерізі:

$$d_{\text{III}} = \sqrt[3]{\frac{M_{\text{III}}}{0,1[\sigma]}} = \sqrt[3]{\frac{60,4}{0,1 \cdot 8,5 \cdot 10^7}} = 0,019 \text{ м.} \quad (3.18)$$

$$d_{\text{Mkp}} = 20 \text{ мм.}$$

Діаметр вала з крутного моменту:

$$d_T = \sqrt[3]{\frac{T}{0,2[\sigma]}} = \sqrt[3]{\frac{90}{0,2 \cdot 2 \cdot 10^7}} = 0,028 \text{ м.} \quad (3.19)$$

$$d_T = 30 \text{ мм.}$$

Враховуючи те, що з'єднання електродвигуна з валом буде через муфту, у якої діаметр під вал має розміри $d = 45$ мм, з урахуванням переходів, діаметр валу на підшипник буде $d = 50$ мм.

3.6 Висновки

У цьому розділі проаналізовано конструкцію дробарки КДУ-2 і розроблено її модернізований варіант, що дозволяє підвищити продуктивність при незначному збільшенні споживаної потужності. Виконані розрахунки підтвердили технічну спроможність і ефективність запропонованої конструкції.

4 Охорона праці

4.1 Загальні вимоги

Під час приготування комбікормів працівники мають дотримуватися комплексу заходів безпеки, що охоплюють організаційні, технічні й санітарно-гігієнічні аспекти. Усі оператори проходять первинний і повторний інструктажі та допускаються до роботи лише після перевірки знань; обладнання повинне бути укомплектоване захисними кожухами, блокувальними й сигнальними пристроями, які унеможливають контакт з рухомими частинами та запуск машин при відкритих огороженнях.

Робочі зони забезпечують ефективною аспірацією та місцевою вентиляцією, щоб утримувати концентрацію пилу нижче вибухо- та пожежонебезпечного порога, а вентиляційні установки підлягають плановому очищенню від відкладень пилюнок і жирів. Електрообладнання виконується у вибухозахищеному виконанні з автоматичним відключенням у разі перевантаження або короткого замикання; усі металеві елементи мають надійне заземлення, а підлоги виконують із антистатичних матеріалів або покривають струмопровідними настилами.

Для роботи з мікродобавками, преміксами та дезінфікуючими речовинами використовують витяжні шафи або закриті дозувальні системи, а персонал застосовує засоби індивідуального захисту шкіри, органів дихання й зору; зберігання таких компонентів організують у окремих вентилятованих приміщеннях із контролем температури та вологості.

Шумові рівні біля дробарок і грануляторів не повинні перевищувати гранично допустимих значень, тому передбачаються шумопоглинальні кабінки або використання протишумових навушників. Вантажно-розвантажувальні операції механізують або проводять із застосуванням підймальних пристроїв, щоб знизити ризик травм опорно-рухового апарату.

Планове технічне обслуговування машин виконують лише після повної зупинки й знеструмлення обладнання з вивішуванням попереджувальних табличок, а під час роботи не допускається присутність сторонніх осіб у зоні дії конвеєрів чи дробарних камер.

Виробничі, побутові та санітарні приміщення утримують у належній чистоті, передбачаючи регулярне вологе прибирання, щоб уникнути накопичення пилу та кормових залишків; у цеху розміщують аптечку й засоби первинного пожежогасіння, а працівники повинні знати порядок дій при пожежі, вибуху пилу чи розливі хімікатів.

Облік нещасних випадків і небезпечних інцидентів ведеться постійно, результати аналізують і використовують для коригування інструкцій з охорони праці та вдосконалення технологічних процесів.

4.2 Інструкція з охорони праці для оператора подрібнювача зерна

1. Загальні положення

1.1. Інструкція встановлює вимоги безпеки під час експлуатації модернізованого відцентрово-роторного подрібнювача зерна, розробленого на базі проекту удосконалення лінії комбікормового цеху.

1.2. Документ розроблено відповідно до Закону України «Про охорону праці», НПАОП 01.0-1.10-21 «Правила охорони праці у сільському господарстві», ДСТУ EN ISO 12100, а також паспортних даних і керівництва з експлуатації обладнання.

1.3. До роботи допускаються особи не молодші 18 років, що пройшли медичний огляд, вступний і первинний інструктаж, навчання й перевірку знань з охорони праці та мають посвідчення оператора подрібнювача.

1.4. Оператор зобов'язаний дотримуватися вимог цієї інструкції, правил пожежної безпеки, електробезпеки, промислової санітарії та внутрішнього трудового розпорядку.

2. Вимоги до кваліфікації та засобів індивідуального захисту

2.1. Оператор повинен знати будову, принцип дії, робочі режими та сигнальні системи подрібнювача; порядок підготовки сировини; заходи першої допомоги й правила поводження з електроустановками напругою до 1 кВ.

2.2. Під час роботи необхідно використовувати:

- захисний костюм із бавовняної тканини;
- протипиловий респіратор класу FFP2;
- протишумові навушники або вкладиші $SNR \geq 25$ дБ;
- захисні окуляри із бічними щитками;
- діелектричні рукавиці та взуття на протиковзній підшві.

3. Вимоги безпеки перед початком роботи

3.1. Отримати завдання та запис у журналі змін від відповідального за зміну.

3.2. Перевірити справність огорожень, блокувальних замків, світлової й звукової сигналізації, заземлення, систему аспірації та вентиляції.

3.3. Оглянути ротор, ножі, решето та кріплення; переконатися у відсутності сторонніх предметів у камері та лотках подачі.

3.4. Переконаватися, що аварійна кнопка «СТОП» працює: натиснути й відпустити без підключення живлення.

3.5. Увімкнути витяжну вентиляцію, після стабілізації розрідження подати напругу на пульт керування.

4. Вимоги безпеки під час роботи

4.1. Запуск подрібнювача здійснювати лише при закритих усіх люках та ввімкненій аспірації.

4.2. Сировину подавати через автоматичний живильник; при збої подачі негайно зупинити живильник і очистити бункер після повної зупинки ротора.

4.3. Стежити за амперметром, температурою підшипників (не вище 75 °С) та рівнем шуму. При відхиленнях у роботі-негайно натиснути кнопку аварійної зупинки.

4.4. Забороняється: відкривати огороження, підбивати сировину палицями, працювати без аспірації або ЗІЗ, перебувати двом операторам одночасно у зоні обслуговування, очищати решето при рухомому роторі.

5. Вимоги безпеки після закінчення роботи

5.1. Від'єднати подрібнювач від мережі, заблокувати рубильник, повісити табличку «Не вмикати - працюють люди».

5.2. Дочекатися повної зупинки ротора, відкрити огороження, очистити робочу камеру, решето та шнек живильника від залишків корму.

5.3. Провести вологе прибирання підлоги, очистити фільтри аспірації, занести показники лічильника електроенергії й відпрацьований час у журнал.

5.4. Повідомити майстра цеху про виявлені несправності та здати робоче місце.

6. Дії в аварійних ситуаціях

6.1. При задимленні, нехарактерному шумі чи вібрації негайно натиснути аварійну кнопку, знеструмити обладнання, увімкнути додаткову вентиляцію, вийти з небезпечної зони й доповісти керівникові.

6.2. У разі займання знеструмити подрібнювач, скористатися вогнегасником ВП-5 або ВВК-2. Забороняється гасити електрообладнання водою.

6.3. При травмуванні працівника зупинити машину, викликати «швидку», надати домедичну допомогу; повідомити відповідальну особу та зафіксувати подію.

7. Заключні положення

7.1. Інструкція підлягає перегляду щонайменше раз на п'ять років або раніше - у разі зміни конструкції подрібнювача, технології чи законодавства з охорони праці.

7.2. Оператор, який порушив вимоги безпеки, несе дисциплінарну та іншу відповідальність згідно з чинним законодавством України.

7.3. Контроль за виконанням цієї інструкції покладається на майстра комбікормового цеху та інженера з охорони праці.

4.3 Висновки

У процесі приготування комбікорму основними небезпеками є пиловібухонебезпечне середовище, контакт із рухомими частинами машин, електротравматизм і підвищений шум.

Запропонована система безпеки передбачає комплексний захист: огороження та блокування всіх рухомих вузлів, вибухозахищене та заземлене електрообладнання, аспірацію й локальну вентиляцію для утримання пилу нижче ГДК, а також чіткий порядок аварійної зупинки.

Використання обов'язкових ЗІЗ (респіратор FFP2, протишумові навушники, захисні окуляри й діелектричні рукавиці), регулярні інструктажі й планово-попереджувальні ремонти знижують імовірність травм і забезпечують стабільні санітарно-гігієнічні умови праці.

Реалізація цих заходів гарантує відповідність національним нормативам і директивам ЄС, мінімізує аварійні простої та сприяє підвищенню рентабельності виробництва за рахунок зменшення втрат корму й витрат на медико-соціальні компенсації.

5 Економічна оцінка

5.1 Вихідні дані

Метою цього розділу є розрахунок очікуваного економічного ефекту від упровадження модернізованого зерноподрібнювача в існуючу лінію комбікормового цеху. Порівняння здійснюється між двома варіантами: базовим комплектом ОКЦ-15 із серійною молотковою дробаркою та оновленим комплектом, у якому серійну машину замінено на розроблений відцентрово-роторний агрегат.

Базова установка (серійна дробарка):

- встановлена потужність - 22 кВт;
- паспортна продуктивність - $2,0 \text{ т} \cdot \text{год}^{-1}$;
- середня питома енергоємність подрібнення - $\approx 11 \text{ кВт} \cdot \text{год} \cdot \text{т}^{-1}$.

Проектний варіант (удосконалений подрібнювач):

- встановлена потужність - 18 кВт (на 18 % менше);
- розрахункова продуктивність - $2,4 \text{ т} \cdot \text{год}^{-1}$ (приріст $\approx 20 \%$);
- очікувана питома енергоємність - $\approx 7 \text{ кВт} \cdot \text{год} \cdot \text{т}^{-1}$ (економія енергії $\sim 36 \%$).

Всі інші складові ОКЦ-15 (система подачі, змішувач, аспірація, бункери) залишаються незмінними, тому у фінансових розрахунках береться до уваги лише різниця в енергоспоживанні, продуктивності та вартості самих дробарок. Додаткові переваги проектного варіанта-нижчий знос ножів і решіт та зменшення пиловидної фракції-розглядаються як непрямі (економія на запчастинах і покращення якості корму), але в розрахунок грошового ефекту не включаються, щоб результати були максимально консервативними.

5.2 Розрахунок показників економічної ефективності

Щоб зіставити базову й модернізовану схеми приготування комбікорму, доцільно проаналізувати питомі експлуатаційні витрати. Такий підхід дає змогу об'єктивно оцінити ефективність та економічну вигідність запропонованих удосконалень. До складу експлуатаційних витрат належать оплата праці, споживання енергоресурсів, амортизаційні нарахування, а також видатки на ремонт і технічне обслуговування обладнання.

Таблиця 5.1 - Показники економічної ефективності розробки

Показники	Варіанти	
	базовий	проектний
Час роботи на добу, год.	8	8
Обслуговуючий персонал, люд.	1	1
Вартість обладнання, грн.	36900,00	58600,00
Додаткові капітальні вкладення, грн.	-	21700
Експлуатаційні витрати, грн.	219742,75	166767,75
- оплата праці	49917,75	49917,75
- ремонт та ТО	5535,00	8790,00
- амортизація обладнання	3690,00	5860,00
- витрати на електроенергію	160600,00	102200,00
Річна економія експлуатаційних витрат, грн.	-	52975,00
Термін окупності капіталовкладень, роки	-	0,41

5.3 Висновки

Аналіз економічних показників (див. табл. 5.1) підтвердив, що модернізована лінія з удосконаленим подрібнювачем суттєво знижує експлуатаційні ви-

трати, насамперед завдяки меншому споживанню електроенергії. За розрахунками, інвестиції у впровадження окупляться менш ніж за п'ять місяців - приблизно за 0,41 року, що робить проєкт економічно доцільним і привабливим для господарства.

ВИСНОВКИ ТА ПРОПОЗИЦІЇ

Проведений аналіз виробничої діяльності показав, що рослинницький сектор господарства повністю задовольняє потребу ферми в зерновій складовій, що дало змогу перейти на власне виробництво комбікорму.

Зіставивши кілька технологічних варіантів, для реалізації обрано комплект обладнання ОКЦ продуктивністю 15 т/зміну, який оптимально відповідає обсягам виробництва та фінансовим можливостям підприємства.

Якість комбікорму та ефективність лінії значною мірою визначає операція подрібнення зерна. На ринку домінують молоткові дробарки, однак їхня енергоємність і знос робочих органів потребують вдосконалення.

Базова дробарка КДУ-2 виявилася «вузьким місцем» через швидке спрацювання молотків, решіт та кожухів. Запропоновано конструктивні зміни: підсилення решіт поперечними зносостійкими пластинами й перегляд схеми дробильної камери. Розрахунки міцності підтвердили надійність модернізованих вузлів, а робочі креслення готові до впровадження.

У розділі «Охорона праці» проаналізовано чинний стан безпеки, розроблено інструкцію для оператора подрібнювача та комплекс заходів, що знижують ризики пилвибуху, травматизму й електробезпеки.

Техніко-економічні розрахунки довели доцільність модернізації: зменшення питомого споживання електроенергії суттєво скорочує експлуатаційні витрати, а строк окупності інвестицій становить менше пів року.

БІБЛІОГРАФІЯ

1. Єгоров, Б.В. Технологія виробництва комбікормів [Текст]: підруч. для вищ. навч. закладів/Б.В. Єгоров.–Одеса.: Друкарський дім, 2011.– 448 с.
2. Дудін В.Ю. Технологія виробництва і переробки продукції свинарства: навчальний посібник / М. Повод, О. Бондарська, В. Лихач, С. Жижка, В. Нечмілов та ін. – Київ : Науково-методичний центр ВФПО, 2021. – 360 с.
3. Романюха І.О., Дудін В.Ю. Курсове і дипломне проектування тваринницьких підприємств: навч. посібн. [для студ. вищ. навч. закл.] /І.О. Романюха, В.Ю. Дудін; за ред. І. Романюхи. – 2-ге вид., перероб. і доп. – Дніпропетровськ: Нова ідеологія, 2014. – 418 с.
4. Повод М.Г, Дудін, В.Ю., Шпетний М.Б. Розробка основних засад щодо обґрунтованого визначення розмірів санітарно-захисних зон свиноферм: монографія, Суми, «Сумський національний аграрний університет» 2019. – 96 с., ISBN 978-617-593-059-5
5. Дудін В.Ю. Експериментальні дослідження малогабаритного подрібнювача соковитих кормів/ В.Ю. Дудін, О.С. Гаврильченко, П.С. Височин // Materials of the XIII International scientific and practical Conference Science and civilization – 2018, Volume 12, January 30 - February 7, 2018.: Sheffield. Science and education LTD – 41-45 p
6. Дудін В.Ю. Формування якості годівлі повнораціонними комбікормами / В.Ю. Дудін, О.С. Гаврильченко, Ю.І. Мудрак, П.І. Черниш //Materiály XIV Mezinárodní vědecko - praktická konference «Moderní vymoženosti vědy - 2018», Volume 8 : Praha. Publishing House «Education and Science» - S. 48-53.
7. Дудін В.Ю. Дослідження енергетичних характеристик процесу змішування сипких кормів/ В.Ю. Дудін, Я.О. Муха, О.Ю. Лук'яненко // Materials of the XIII International scientific and practical Conference Conduct of modern science - 2018 , November 30 - December 7, 2018. Construction and architecture. Agriculture. Modern information technology.: Sheffield. Science and education LTD – 41-45 p.
8. Дудін В.Ю. Дослідження процесу різання коренеплодів / В.Ю. Дудін, І.А. Бородавка//Materialy XV Miedzynarodowej naukowii-praktycznej konferencji,

«Strategiczne pytania światowej nauki - 2019», Volume 10 Przemysł: Nauka i studia– 36-39 s.

9. Дудін В.Ю. Дослідження подрібнювача фуражного зерна сколюючої дії / В.Ю. Дудін, О.М. Антіпов // Materialy XV Międzynarodowej naukowo-praktycznej konferencji, «Strategiczne pytania światowej nauki - 2019», Volume 10 Przemysł: Nauka i studia -33-35 s.

10. Suhadi, W. Die Schecke als Arbeitsorgan in verarbeitungs - maschinen. / W.Suhadi. //-Maschinenbautemechnik –№5, 1967, – P. 41-56. (англ)

11. Oyama J., Ayaki K. Kagaki Kikai, 1956, №20, – P. 6.

12. Lacey. P.M. Development in the Thery of Particfl mixing. J. Appl. Chem. 1954, №4, – P. 257

13. Duschek K. Optimierung der Produktion in einem bolivianischen Ziegelwerk / Ziegelindustrie International. Wiesbaden: Dauerlag

ДОДАТКИ

ДНІПРОВСЬКИЙ ДЕРЖАВНИЙ АГРАРНО-ЕКОНОМІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ

Інженерно-технологічний факультет

Кафедра інжинірингу технічних систем

Удосконалення процесу приготування комбікорму на свинофермі з удосконаленням подрібнювача зерна

демонстраційний матеріал до дипломного проєкту рівня вищої освіти «Бакалавр»

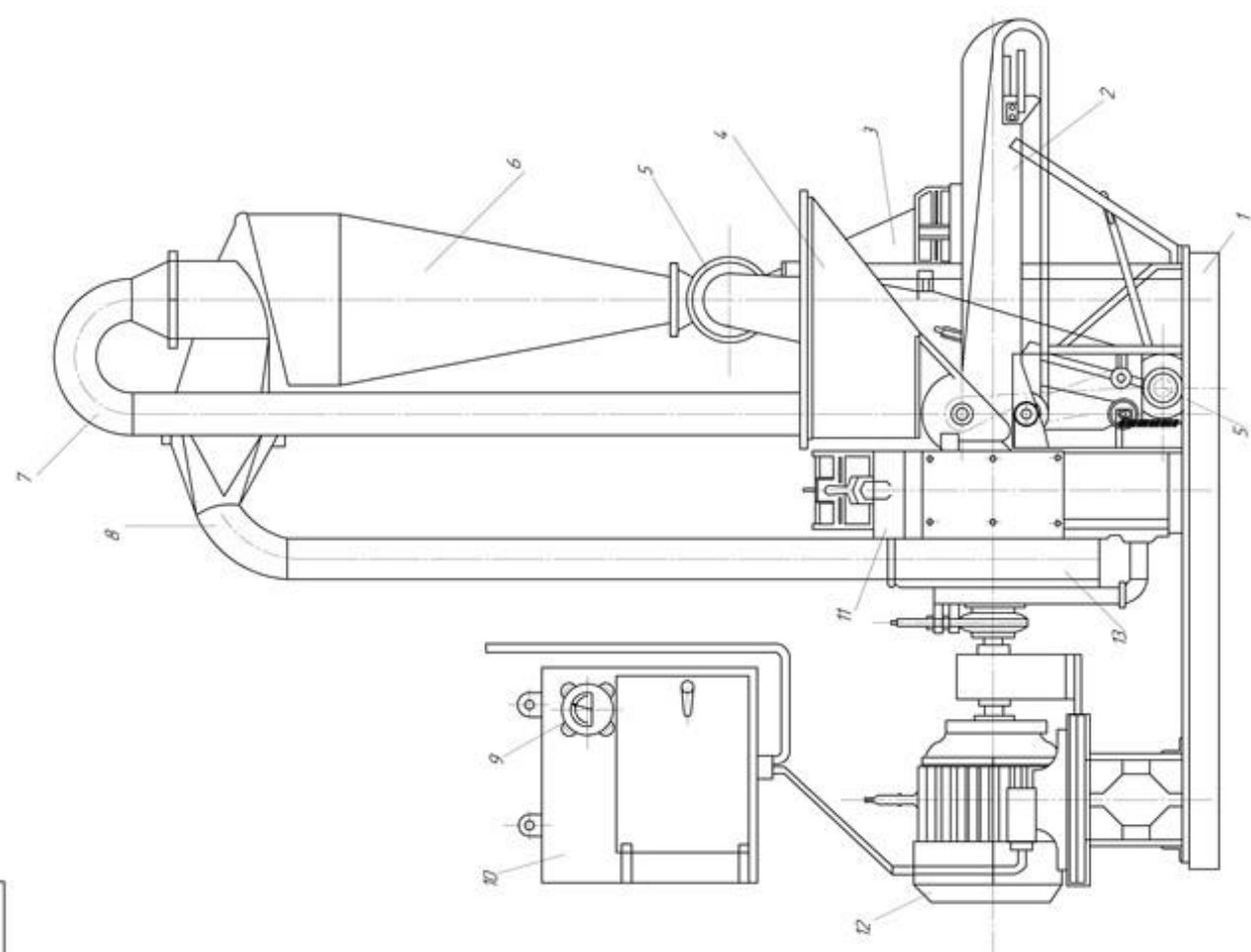
Виконав: студент 4 курсу, групи АІ-2-21
Палієнко Володимир Володимирович

Керівник: к.т.н., доцент
Івлєв Віталій Володимирович

Дніпро-2025

Технічна характеристика

- Номинальна продуктивність – зернодо 2,0 т/год
- Продуктивність – сіно/солома до 0,8 т/год
- Продуктивність – коренеплоди до 5,0 т/год
- Встановлена потужність електроприлада – 28 кВт
- Частота обертання ротора – 2700 об/хв
- Діаметр ротора – 600 мм
- Кількість молотків – 90 шт (6 осей ч 15 молотків)
- Колода швидкості молотків – 71 м/с
- Змінні решета \varnothing 4, 6 та 8 мм
- Швидкість живильного транспортера – 0,22 – 0,32 м/с
- Габаритні розміри (Д х Ш х В) – 2800 х 1550 х 3000 мм
- Маса агрегату 1200 – 1300 кг (залежно від комплектації)



46.000100010000.03

46.000100010000.03	
Дробарка КДН-2,0	16
Вид заголовка	ДДАСУ АІ-2-21

46.817.06.00.001.801

1 Невисан аралығы бойынша размер
ақпарат - НК, Дық-АК, және т.б.
2 Тіршілік сабағы НК 35.40

46.817.06.00.001.801	46.817.06.00.001.801
Қолданушының атауы	Қолданушының атауы
Ван	Ван
Коды	Коды
12	12
11	11
10	10
9	9
8	8
7	7
6	6
5	5
4	4
3	3
2	2
1	1

ДРАСУ, АІ-2-21

46.817.06.00.001.807

1 Невисан аралығы бойынша размер
ақпарат - НК, Дық-АК, және т.б.
2 Тіршілік сабағы НК 40.45

46.817.06.00.001.807	46.817.06.00.001.807
Қолданушының атауы	Қолданушының атауы
Молоток	Молоток
Коды	Коды
12	12
11	11
10	10
9	9
8	8
7	7
6	6
5	5
4	4
3	3
2	2
1	1

ДРАСУ, АІ-2-21

46.817.06.00.001.805

1 Невисан аралығы бойынша размер
ақпарат - НК, Дық-АК, және т.б.
2 Тіршілік сабағы НК 40.45

46.817.06.00.001.805	46.817.06.00.001.805
Қолданушының атауы	Қолданушының атауы
Вісь пайдысу	Вісь пайдысу
Коды	Коды
12	12
11	11
10	10
9	9
8	8
7	7
6	6
5	5
4	4
3	3
2	2
1	1

ДРАСУ, АІ-2-21

46.817.06.00.001.804

1 Невисан аралығы бойынша размер
ақпарат - НК, Дық-АК, және т.б.
2 Тіршілік сабағы НК 35.40

46.817.06.00.001.804	46.817.06.00.001.804
Қолданушының атауы	Қолданушының атауы
Диск	Диск
Коды	Коды
12	12
11	11
10	10
9	9
8	8
7	7
6	6
5	5
4	4
3	3
2	2
1	1

ДРАСУ, АІ-2-21

46.817.06.00.001.806

1 Невисан аралығы бойынша размер
ақпарат - НК, Дық-АК, және т.б.
2 Тіршілік сабағы НК 35.40

46.817.06.00.001.806	46.817.06.00.001.806
Қолданушының атауы	Қолданушының атауы
Втулка дискінің ішіне	Втулка дискінің ішіне
Коды	Коды
12	12
11	11
10	10
9	9
8	8
7	7
6	6
5	5
4	4
3	3
2	2
1	1

ДРАСУ, АІ-2-21

46.817.06.00.001.803

1 Невисан аралығы бойынша размер
ақпарат - НК, Дық-АК, және т.б.
2 Тіршілік сабағы НК 35.40

46.817.06.00.001.803	46.817.06.00.001.803
Қолданушының атауы	Қолданушының атауы
Втулка дискінің ішіне	Втулка дискінің ішіне
Коды	Коды
12	12
11	11
10	10
9	9
8	8
7	7
6	6
5	5
4	4
3	3
2	2
1	1

ДРАСУ, АІ-2-21

