

ДНПРОВСЬКИЙ ДЕРЖАВНИЙ АГРАРНО-ЕКОНОМІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ

Інженерно-технологічний факультет

Кафедра інжинірингу технічних систем

Пояснювальна записка

до дипломного проекту рівня вищої освіти «Бакалавр»
на тему:

**Удосконалення процесу приготування кормів на бройлерній
птахофермі з розробкою подрібнювача зерна**

Виконав: здобувач вищої освіти 4 курсу, групи АІС-1-22
за спеціальністю 208 «Агроінженерія»

_____ Муза Олександр Юрійович

Керівник: _____ Лупко Кристина Олегівна

Рецензент: _____ Астіон Василь Миколайович

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**

Муза Олександр Юрійович
(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема проєкту: Удосконалення процесу приготування кормів на бройлерній птахофермі з розробкою подрібнювача зерна

керівник проєкту Лупко Кристина Олегівна, докторка філософії
(прізвище, ім'я, по батькові, науковий ступінь, вчене звання)

затвержені 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 заготівлі зернофуражу. Патентний пошук, аналіз літературних джерел, останніх досліджень з обраної тематики.

4. Зміст розрахунково-пояснювальної записки (перелік питань, які потрібно розробити) 1. Аналіз стану питання приготування комбікормів. 2. Удосконалення технологічного процесу приготування кормів. 3. Розробка подрібнювача зерна. 4. Охорона праці. 5. Економічна оцінка. Загальні висновки. Бібліографічний список.

5. Перелік демонстраційного матеріалу

1. Технологічна схема. 2. Вихідні дані. 3. Подрібнювач. 4. Барабан. 5. Втулка. 6. Диск. 7. Молоток. 8. Палець. 9. Економічні показники

6. Консультанти розділів проекту

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	завдання прийняв
1-5	Лупко К.О.		
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 22.05.2025 р.	
6	Демонстраційна частина	до 05.06.2025 р.	

Здобувач

(підпис)

Муза О.Ю.

(прізвище та ініціали)

Керівник проекту

(підпис)

Лупко К.О.

(прізвище та ініціали)

АНОТАЦІЯ

Муза О.Ю. Удосконалення процесу приготування кормів на бройлерній птахофермі з розробкою подрібнювача зерна / Дипломний проєкт на здобуття ступеня «бакалавр» за спеціальністю 208 «Агроінженерія». – ДДАЕУ, Дніпро, 2025.

У виконаному дипломному проєкті подано ґрунтовний вступ, у якому обґрунтовано актуальність підвищення ефективності годівлі на сучасних тваринницьких господарствах, сформульовано мету, завдання й очікуваний науково-практичний результат дослідження.

На підставі огляду сучасних зоотехнічних рекомендацій і порівняння існуючих технічних рішень виконано докладний інженерний розрахунок комбікормового цеху, визначено раціональну технологічну схему, добір і компоновку машин, оптимізовано продуктивність основного та допоміжного обладнання.

Окремим розділом сформульовано вимоги з охорони праці та промислової безпеки при приготуванні комбікормів, у яких враховано чинні нормативно-правові акти України та профільні директиви ЄС щодо безпечної експлуатації технологічного устаткування, вентиляції, засобів індивідуального захисту та протипожежних заходів. Проведена техніко-економічна оцінка запропонованої дробарки підтвердила її доцільність: розраховано собівартість, експлуатаційні витрати, очікуваний річний економічний ефект і строк окупності інвестицій.

У підсумку сформульовано комплексні висновки, що відображають наукову новизну й практичну значущість роботи, а також наведено вичерпний список використаної літератури з актуальних наукових джерел та галузевих стандартів.

Ключові слова: бройлер, комбікорм, рецепт, комбікормовий завод, подрібнення, молоток, експлуатаційні витрати, ефект.

ЗМІСТ

Вступ	8
1 Аналіз стану питання приготування комбікормів	10
1.1 Огляд технологій	10
1.2 Огляд конструкцій подрібнювачів зерна	12
1.3 Огляд конструкцій молоткових дробарок	18
1.4 Висновки	21
2 Удосконалення технологічного процесу приготування кормів	23
2.1 Важливість питання	23
2.2 Вихідні дані до проектування, зоотехнічні вимоги	24
2.3 Вибір комбікормового агрегату	26
2.4 Розробка остаточного варіанту технологічного процесу	28
2.5 Визначення потреби в технічному забезпеченні процесу	33
2.6 Висновки	35
3 Розробка подрібнювача зерна	37
3.1 Вимоги до подрібнювачів зерна	37
3.2 Технологічний процес роботи проектного подрібнювача кормів	38
3.3 Технологічні та енергетичні розрахунки	40
3.4 Розрахунок робочих органів	48
3.5 Висновки	51
4 Охорона праці	53
4.1 Загальні вимоги	53
4.2 Інструкція з охорони праці для оператора молоткового подрібнювача	54
4.3 Висновки	56
5 Економічна оцінка	57

5.1 Вихідні дані	57
5.2 Розрахунок показників економічної ефективності	57
5.3 Висновки	58
ВИСНОВКИ ТА ПРОПОЗИЦІЇ	59
БІБЛІОГРАФІЯ	60
ДОДАТКИ	62

ВСТУП

Раціональне й високоефективне годівля бройлерів є одним із ключових чинників, що визначають економічну стійкість та конкурентоспроможність сучасних птахоферм. За даними галузевої аналітики, витрати на корми сягають 65–70 % собівартості виробництва м'яса птиці, а їхня якість безпосередньо впливає на приріст живої маси, конверсію корму та ветеринарно-санітарний стан поголів'я. Водночас стрімке подорожчання зерносировини, посилення вимог до безпечності продукції та необхідність адаптації до європейських стандартів щодо енергоефективності й охорони довкілля зумовлюють потребу у впровадженні інноваційних технологій приготування комбікормів безпосередньо на виробничих майданчиках.

Актуальність дослідження зумовлена тим, що переважна більшість вітчизняних бройлерних господарств використовує морально та фізично зношені лінії подрібнення зерна, спроектовані переважно для великотоварного виробництва комбікормів. Такі системи характеризуються надмірним споживанням електроенергії, недостатньою однорідністю фракційного складу та обмеженою можливістю гнучкого налаштування під конкретні рецептури, що, у підсумку, знижує ефективність годівлі та збільшує виробничі витрати.

Метою дипломного проєкту є удосконалення процесу приготування кормів на бройлерній птахофермі шляхом створення високопродуктивної, енергетично ефективною та технологічно гнучкої системи подрібнення зерна, яка забезпечить підвищення якості комбікормів та зниження собівартості м'яса бройлерів. Для досягнення поставленої мети необхідно вирішити такі завдання:

- проаналізувати сучасний стан і тенденції розвитку технологій годівлі бройлерів та зерноподрібнення;
- визначити зоотехнічні вимоги до фракційного складу кормів на різних вікових етапах вирощування;

- розробити конструкцію молоткової дробарки з покращеною аеродинамікою робочої камери, зниженою енергоємністю та можливістю швидкої зміни технологічних параметрів;

- виконати аналітичні та розрахунково-експериментальні дослідження для обґрунтування раціональних режимів роботи подрібнювача;

- оцінити економічну ефективність запропонованого рішення та його вплив на показники продуктивності бройлерів;

- сформулювати комплекс заходів з охорони праці та мінімізації техногенного навантаження на довкілля відповідно до українських і європейських нормативів.

Новизна роботи полягає у вдосконаленні конструктивно-технологічної схеми молоткової дробарки шляхом оптимізації геометрії б'єрів і системи аспірації, що дозволяє зменшити питомі енерговитрати та забезпечити стабільну дисперсію частинок у межах 0,4–0,8 мм без додаткового класифікування. Практичне значення полягає у можливості інтеграції розробленого подрібнювача в існуючі лінії підготовки комбікормів із мінімальними капітальними витратами та швидким терміном окупності.

Таким чином, дипломний проєкт спрямований на вирішення актуальної для галузі проблеми підвищення ефективності годівлі бройлерів шляхом інноваційного удосконалення зерноподрібнювального обладнання, що відповідає сучасним вимогам енергозбереження, якості продукції та екологічної безпеки.

1 Аналіз стану питання приготування комбікормів

1.1 Огляд технологій

Раціональна підготовка кормів «у себе на фермі» (on-farm feed milling) – це стратегія, що дозволяє бройлерним та іншим птахівничим підприємствам знизити витрати на готові корми, забезпечити стабільну якість рецептур і посилити біобезпеку, мінімізуючи логістичні ризики. За оцінками профільних виробників обладнання, власна лінія може скоротити кормові витрати на 10–25 % і гнучко адаптувати склади до коливань цін на сировину.

У типових міні-цехах, розрахованих на 0,5–10 т/год готового корму, процес охоплює такі вузли:

- приймання та короткочасне зберігання зернової й білково-вітамінної сировини;
- подрібнення;
- дозування/зважування і сухе змішування;
- рідкі добавки, кондиціонування або термообробка (за потреби);
- гранулювання чи видача у вигляді сипкої суміші (mash);
- охолодження, кришіння (для стартових гранул), фасування або пневмотранспорт у силоси годівлі.

Молоткові дробарки – найпоширеніший вибір для бройлерних раціонів, де потрібне тонке помелення ($d_{50} \approx 0,45$ мм). Сучасні моделі оснащують частотно-керованими двигунами, двостороннім живильником і регульованою аспірацією, що дає змогу знизити питомі витрати електроенергії до 7–9 кВт·год/т.

Вальцьові (роликові) подрібнювачі демонструють до 20 % нижчі енерговитрати при помелі пшениці або кукурудзи на розмір частинки 0,8–1,2 мм, однак потребують попереднього очищення зерна від сторонніх домішок.

Дискові/щілинні подрібнювачі (наприклад, SKIOLD DM або SK I) дають можливість комбінувати дуже тонкий і грубіший помел без зміни сит, що корисно, коли в одній рецептурі поєднуються стартові й ростові фази бройлерів.

На фермах до 40 тис. бройлерів переважають вертикальні шнекові змішувачі (1–3 т/партія), тоді як господарства > 100 тис. поголів'я встановлюють горизонтальні стрічково-лопатеві ($CV < 7\%$ за 90–120 сек). Дослідження машинобудівного інституту (2021) підтверджують, що правильна геометрія лопатей і вакуумне очищення між партіями дозволяють уникнути перехресної контамінації й досягти рівномірності < 5 % для мікродоз інгредієнтів.

Для бройлерної технології гранула \varnothing 2,5–3,0 мм (старт) і 3,5–4,0 мм (рост-фініш) підвищує споживання корму та зменшує сепарацію компонентів. Ферми невеликої та середньої потужності використовують компактні лінії STLP 300/400 (400-1000 кг/год) або плоско-матрицеві прес-гранулятори, що комплектуються міні-кондиціонерами й контрпотокowymi охолоджувачами.

Після охолодження гранули розкришується до *crumble* 1,2–1,8 мм для перших 10 днів вирощування.

Якщо поголів'я розташоване на кількох майданчиках, виправдані мобільні подрібнювачі-міксери Tourmix на базі вантажівки: бункер 12 м³, молотковий подрібнювач 12–15 т/год і горизонтальний змішувач 2 т за цикл, керування рецептурами через вбудований PLC.

Для стаціонарних комплексів усе частіше обирають контейнерні або модульні заводи «під ключ» (SKIOLD, Buschhoff), що постачаються в 20–40-футових модулях із змонтованою аспірацією, електрощитом та системою дозування. Монтаж займає 5–7 днів і потребує мінімальних будівельних робіт.

Сучасні лінії оснащуються:

- ваговими платформами й датчиками рівня для онлайн-балансування рецептур;
- NIR-аналізаторами сирого протеїну/вологи в потоці;
- хмарними SCADA-сервісами для віддаленого рецептування та ведення простежуваності.

Такі функції особливо цінні у птахівництві, де невідповідність поживних норм швидко відбивається на прирості й FCR.

Вимоги Директиви 2006/42/ЄС і регламентів АТЕХ регламентують вибухо- захищене виконання аспірації, встановлення вибухових клапанів і перепуск- них каналів. Для українських фермерів актуальні також ДБН В.2.2-2018 (пилов- ловлювання) та НПАОП 01.0-1.01-21 щодо шумового навантаження.

Сучасні технології приготування комбікормів безпосередньо на птахівни- чих фермах еволюціонують від простих молоткових дробарок із вертикальним міксером до повністю автоматизованих контейнерних або мобільних міні-заво- дів, що забезпечують:

- економію на закупівлі готових кормів;
- стабільну якість і гнучку адаптацію рецептур до фаз вирощування;
- посилений контроль безпеки та простежуваність сировини;
- скорочений строк окупності (2–4 роки залежно від обсягу виробництва).

Обираючи конкретну конфігурацію, доцільно виходити з річного спожив- ання комбікорму, доступних ресурсів енергії та вимог до біобезпеки, врахову- ючи можливість поетапної модернізації від базового помелу до повноцінного гранулювання з кришінням.

1.2 Огляд конструкцій подрібнювачів зерна

Подрібнення зерна — базова технологічна операція у комбікормовому ви- робництві, від якої істотно залежать засвоюваність поживних речовин, однорід- ність кінцевого продукту та енергетична ефективність усієї лінії. Залежно від конструкції робочих органів, зерноподрібнювачі по-різному впливають на роз- поділ частинок, температуру матеріалу та споживання електроенергії, що зреш- тою визначає доцільність їхнього застосування у тій чи іншій фермерській або промисловій схемі.

Молоткова дробарка працює за принципом багаторазових ударів молотків, що обертаються з периферійною швидкістю 70–120 м/с. Частинки руйнуються

від ударів і зіткнень зі стінками камери, поки не стануть меншими за діаметр отворів сита. Така конструкція універсальна: вона без проблем обробляє кукурудзу, пшеницю, шроти й навіть невеликі домішки жиру. Основні переваги — простота налаштування дисперсії через заміну сит і відносно невисока ціна комплектації. До недоліків належать підвищене тепловиділення, широкий гранулометричний розкид і значний знос ударних елементів, що потребує регулярної ротації молотків і сит.

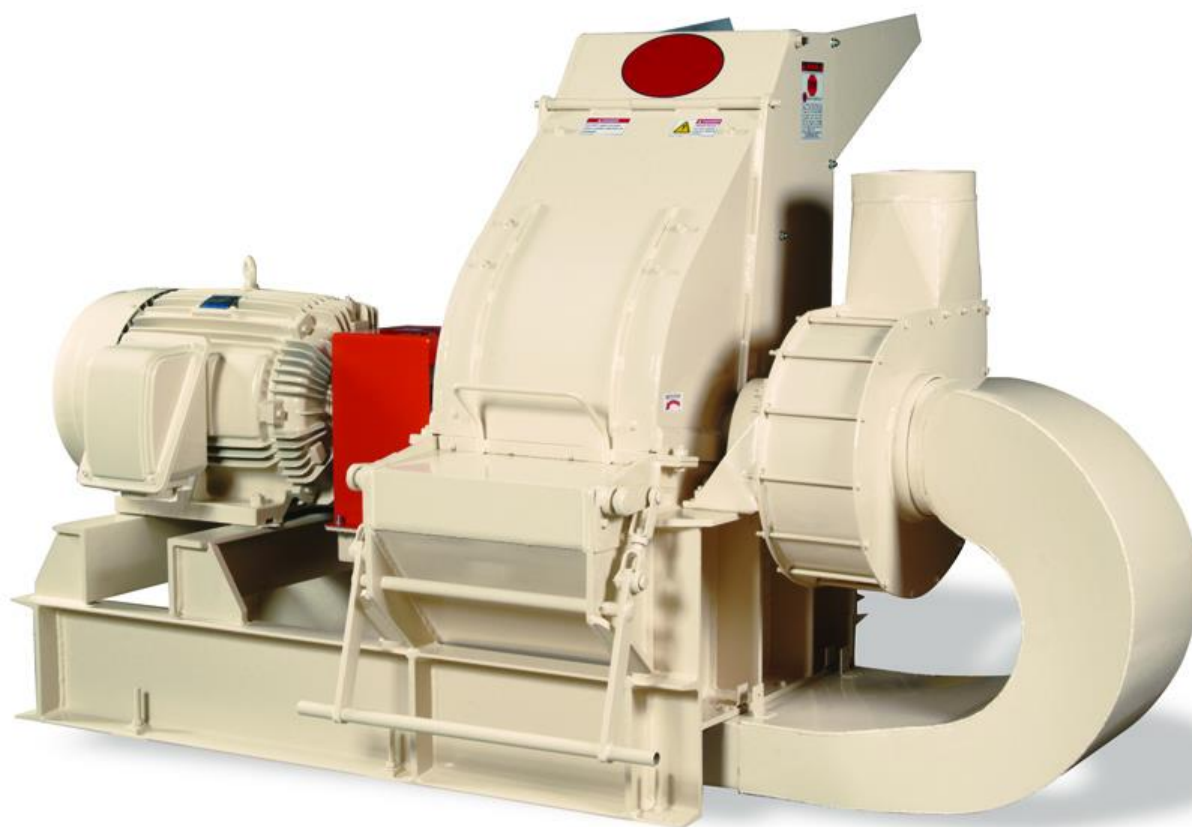


Рисунок 1.1 – Молотковий подрібнювач зерна

Вальцовий подрібнювач подрібнює зерно шляхом стискання та зсуву між двома (іноді чотирма) взаємно обертовими циліндрами з рифленою або гладкою поверхнею. Регульований зазор дозволяє отримати дуже вузький фракційний склад з мінімумом дрібної фракції, що позитивно впливає на якість гранул і зменшує набування пилу. Енергоспоживання вальців зазвичай на 30–50 % нижче,

ніж у молоткового аналога такої самої продуктивності. Водночас машина вимоглива до чистоти сировини: камені чи металеві включення можуть пошкодити ролики, а діапазон кінцевої дисперсії рідко опускається нижче 0,4–0,5 мм без повторного проходу.



Рисунок 1.2 – Вальцьовий подрібнювач зерна

Дисковий (фрезерно-щілинний) подрібнювач складається з двох дисків, поверхні яких мають радіальні канавки або рифлення; один чи обидва диски обертаються, створюючи зону різання й стирання. За рахунок нижчих швидкостей і

відсутності ударних елементів температура продукту підвищується мало, тож дискові подрібнювачі доречні там, де важливо зберегти природну вологість або підвищений уміст жиру. Вони компактні, відносно тихі й добре працюють на середню та дрібну дисперсію (0,6–1,0 мм), однак продуктивність і ресурс дисків обмежуються твердістю зерна.



Рисунок 1.1 – Дисковий (фрезерно-щілинний) подрібнювач зерна

Штифтовий подрібнювач (pin-mill) реалізує принцип «взаємних» ударів: два диски з рядами штифтів обертаються назустріч один одному, формуючи надвисоку локальну швидкість і створюючи умови для отримання надтонкого по-

мелу до 50–100 μm . Такі подрібнювачі незамінні, коли потрібне майже борошняне розмелювання для стартових кормів чи преміксів, але вони споживають більше енергії, швидко нагрівають продукт і потребують використання зносостійких матеріалів для штифтів.

Атріційні або кам'яні жорнові подрібнювачі подрібнюють зерно переважно за рахунок тертя між рухомим і нерухомим жорном. Через низьку швидкість обертання вони практично не перегрівають матеріал і зберігають природну структуру крупки, що цінується у виробництві цільнозернового борошна. Втім, їхня продуктивність обмежена, а ступінь подрібнення доволі грубий, тому в інтенсивному комбікормовому процесі такі подрібнювачі використовують рідко.

Таблиця 1.1 – Типи подрібнювачів зерна

Тип подрібнювача	Основний механізм руйнування зерна
Молотковий	Удари шарнірно-підвішених або фіксованих молотків по зернинах, інтенсивне турбулентне перемішування й багаторазові зіткнення з ситом та між частинками
Вальцьовий	Зсув та роздавлювання між двома (іноді чотирма) протилежно обертовими циліндрами з регульованим зазором
Дисковий (фрезерно-щілинний)	Подвійний диск із радіальними канавками або шліцями; руйнування відбувається за рахунок комбінації різання та стирання під дією відцентрової сили
Штифтовий (pin-mill)	Високошвидкісні контр-обертові диски, усіяні штифтами; домінують імпульсні удари та зсув при швидкостях до 10 000 об/хв
Атріційний / кам'яний	Тертя й ковзання між рухомою і нерухомою жорновими поверхнями; нижчі оберти, довший час перебування частинок

Порівнюючи ці типи обладнання, можна виокремити кілька закономірностей. Якщо головним критерієм є глибина помелу та універсальність щодо сировини, вибір найчастіше падає на молоткову дробарку, за умови що лінія оснащена ефективною аспірацією для відводу тепла й пилу.

Таблиця 1.2 – Характеристики та порівняння подрібнювачів зерна

Показник	Молотковий (Bühler AUBI)	Вальцювий (RMS, 4-вальцювий)	Дисковий (SKIOLD SK780)	Штифтовий (Munson 75 кВт)	Атріційний (лабораторний)
Потужність привода, кВт	<u>до 315 кВт</u>	37–110 кВт (пара роліків)	22–90 кВт	<u>55–90 кВт</u>	<u>7–15 кВт</u>
Продуктивність, т/год	30 – 60	8 – 25	2 – 30	0,8 – 5	≤ 1
Середня енергоємність, кВт·год/т	<u>5 – 9 (при $d_{50} \approx 0,5$ мм)</u>	3 – 6 ($d_{50} \approx 0,8$ мм) - економія 30-50 % проти молоткових	<u>4 – 6 (98 % < 1 мм)</u>	<u>6 – 10 (до 100 μм)</u>	<u>7 – 12 (тонке борошно)</u>
Рівномірність помелу (CV)	12–18 % (залежить від сита)	6–10 %	10–14 %	8–15 %	5–10 %
Тепловиділення	Високе; потрібна аспірація air-swept	Низьке	Низьке	Суттєве при надтонкому помелі	Дуже низьке
Гнучкість налаштувань	Сита + VFD	Зміна зазору «на ходу»	Дисковий зазор $\pm 0,5$ мм	Швидкість і зазор	Зміна жорен

За потреби знизити енерговитрати та покращити однорідність гранул оптимальною стає двоступенева схема «вальцьовий подрібнювач для попереднього помелу + молоткова дробарка для домолу». Дискові подрібнювачі забезпечують компроміс між енергоощадністю та якістю помелу для середніх ферм, особливо коли рецептура потребує роботи з трохи вологим зерном. Штифтові агрегати доцільно тримати в резерві, підключаючи їх у байпасі для невеликих порцій ультрадрібного компоненту, щоб не перевантажувати основний тракт. Кам'яні подрібнювачі ж залишаються нішевим устаткуванням для спеціалізованих продуктів або дрібних господарств із низькою добовою потребою.

Таким чином, вибір подрібнювача визначають масштаб виробництва, цільова дисперсія, енергетичні обмеження та економічна доцільність. Сучасні комбікормові цехи дедалі частіше комбінують різні типи подрібнення, прагнучи балансу між якістю, собівартістю та гнучкістю рецептур, що особливо актуально для птахівничих підприємств із високими темпами вирощування та суворими вимогами до

У типовій птахівничій практиці оптимальною вважається двоетапна схема «вальцьовий + молотковий» для великих ферм або компактний дисковий/молотковий агрегат для середніх господарств, з можливістю дооснащення штифтовим подрібнювачом для ультратонких фракцій. Такий підхід забезпечує баланс енергоемності, якості та гнучкості виробництва комбікормів.

1.3 Огляд конструкцій молоткових дробарок

Молоткова дробарка — це циліндричний або прямокутний корпус, усередині якого обертається ротор із шарнірно підвішеними чи жорстко закріпленими молотками. Зерно подається через верхній або боковий лоток, захоплюється потоком повітря й потрапляє у зону високошвидкісного обертання. Частинки руйнуються за рахунок багаторазових ударів молотків, зіткнень із стінками камери та між-частинкових ударів; після досягнення допустимого розміру вони проходять крізь отвори сита й виводяться вентилятором або гравітаційно.

Класифікаційні ознаки сучасних зернових молоткових дробарок.

Орієнтація ротора: горизонтальна (переважає у комбікормових лініях) чи вертикальна (компактні фермерські моделі).

Тип молотків: вільно-розмахуючі (зниження ударних навантажень, менший знос) або фіксовані (вища інтенсивність помелу, але більша чутливість до сторонніх предметів).

Кількість роторів: однороторні (типові) й двороторні (тонший помел при високій продуктивності).

Система подавання: самопливна, шнекова чи з пневматичним всмоктуванням (air-swept).

Особливості відводу тепло-пилогозової суміші: зовнішній цикл аспірації, інтегрований вентилятор або безповітряна (blower-less) схема.

Такі конструктивні відмінності визначають енергоспоживання, рівномірність гранулометрії й експлуатаційні витрати.

Ключові результати порівняння

Енергетична ефективність. Фермерські дробарки (SKIOLD, Buschhoff BHOS) споживають 5 – 9 кВт·год/т при $d_{50} \approx 0,8$ мм, тоді як промислові агрегати «важкого класу» (Andritz, CPM, Bühler) досягають 3 – 5 кВт·год/т у діапазоні d_{50} 0,5 – 0,7 мм завдяки оптимізованому потоку повітря й більшій відкритій площі сит.

Роторна технологія. Двопозиційні або бі-ротаційні системи (CPM) подовжують ресурс молотків на 25–30 % та дають два «класи» помелу без заміни сит.

Сита й відкрита площа. Чим більша відкрита площа — тим нижча швидкість повітря в камері й менший перегрів. У Andritz 4330 питома площа сита становить $\sim 0,0126$ м²/кВт, що позитивно впливає на низькі ΔT помелу.

Аспірація. Blower-less рішення Buschhoff зменшує шум і енергоспоживання, але вимагає окремого циклону; air-swept (Bühler, Andritz) дають найкраще виведення тепла, особливо важливе для високопротеїнових сумішей. Гнучкість рецептур. SKIOLD DM6-G і BHOS DUO підтримують швидку зміну двох різних

сит або дві половини сита із різним діаметром отворів, що корисно на бройлерних фермах (старт/рост). Для добового споживання корму ≤ 10 т доцільно встановити SKIOLD DM6-G або Buschhoff BHOS 300: вони забезпечують достатню продуктивність, просте обслуговування та потребують лише 15–25 кВт встановленої потужності.

Таблиця 1.3 – Характеристики та порівняння деяких молоткових подрібнювачів зерна

Серія / виробник (приклад моделі)	Потужність двигуна, кВт	Площа сит, м ²	Гранична швидкість удару, м/с	Паспортна продуктивність*	Особливості конструкції / призначення
ANDRITZ Sprout 43" HS 4330	186 – 298	2,35	≤ 120	до 25 т/год (зерно)	«Flow-through» корпус, 8 позицій шпигтів, VFD-режим ультрадрібного помелу
CPM Champion 40×44	186 – 335	3,1	105 – 126†	20 – 35 т/год	двопозиційний ротор (coarse/fine), двобічний оберт, запатентована камера домолу
SKIOLD DM6-G	7,5 – 22	0,27	—	0,35 – 6,5 т/год	вбудований вентилятор охолодження, компактна фермерська версія для 0,5–3 т/год комбікормових ліній (mlvs.info)
Buschhoff BHOS 300	11 – 22	— (2 півсита)	—	2,3 – 4,4 т/год	blower-less, швидкозмінні сита, твродосплавні молотки, частотний привід (buschhoff.de)
Bühler MultimpactMax AUBI	до 315	—	≈ 90	«industry-leading throughput» > 60 т/год	кластерні молотки, переривники потоку, повітряний канал низького підігріву продукту (buhlergroup.com)

* Дані щодо продуктивності надаються виробником для кукурудзи 14 % W з отворами сита 4 мм, якщо не зазначено інакше.

Якщо ферма планує гранулювання й потенційне розширення понад 20 т корму/добу, раціонально одразу інвестувати в модуль типу ANDRITZ 43" HS або CPM Champion — з їхньою подвійною схемою ротора і можливістю тонкого помелу для стартових раціонів ($d_{50} \leq 0,5$ мм).

Вибір між air-swept та blower-less слід робити з огляду на наявність центральної аспірації і температурний режим у робочому приміщенні.

Таким чином, сучасний ринок пропонує повний спектр молоткових дробарок — від компактних 7,5-кВт агрегатів до багатосоткіловатних машин із виходом понад 60 т/год. Порівняльний аналіз показує, що ключові резерви зниження енергоспоживання та підвищення гранулометричної однорідності криються у збільшенні площі сит, оптимізації швидкості молотків і правильно організованій аспірації.

1.4 Висновки

Проведений огляд підтверджує, що ефективність годівлі на птахівничих фермах напряму залежить від правильно підібраної технології підготовки комбікормів та конструкції зерноподрібнювача. Модульні або мобільні «on-farm» лінії дають можливість знизити витрати на 10–25 % і оперативно адаптувати рецептури до коливань ринку, але їхня результативність визначається вибором оптимальної схеми подрібнення.

Молоткові дробарки залишаються найуніверсальнішим рішенням завдяки простоті налаштування та здатності працювати з широким спектром сировини, однак характеризуються підвищеним енергоспоживанням і ширшим гранулометричним розкидом. Вальцьові млини забезпечують найнижчі питомі витрати й найвужчий фракційний склад, проте вимогливі до чистоти зерна і не завжди досягають дисперсії $< 0,5$ мм. Дискові млини є компактним компромісом для середніх господарств, особливо коли потрібно мінімізувати нагрів продукту, тоді як штифтові агрегати доцільно застосовувати вибірково для ультрадрібного помелу

стартових раціонів. Атріційні жорнові системи залишаються нішевим варіантом із дуже низькою продуктивністю.

При цьому, необхідність удосконалення молоткового подрібнювача стає очевидною з огляду на кілька взаємопов'язаних факторів. По-перше, саме молоткові дробарки залишаються «робочою конячкою» комбикормових ліній, але їхня енергоємність (5–9 кВт·год/т при $d_{50} \approx 0,5$ мм) уже виходить за рамки економічно прийнятної частки собівартості корму, особливо на тлі постійного зростання тарифів на електроенергію. По-друге, широкий гранулометричний розкид призводить до надлишкової «пилеутворюючої» фракції та нерівномірного споживання корму бройлерами, що погіршує конверсію й збільшує ветеринарні ризики. По-третє, високі периферійні швидкості молотків викликають суттєвий перегрів продукту (до +8 °C), що негативно впливає на якість білка й потребує додаткової аспірації та охолодження. Нарешті, інтенсивний знос ударних елементів і сит не лише підвищує експлуатаційні витрати, а й збільшує простої цеху через часті сервісні втручання.

2 Удосконалення технологічного процесу приготування кормів

2.1 Важливість питання

Сучасна динаміка розвитку тваринницької галузі свідчить про те, що уповільнення темпів виробництва продукції пов'язане не лише з ринковими коливаннями, а й із критичним станом кормової бази. Низька забезпеченість високоякісними кормами та їхня неоднорідність обмежують реалізацію генетичного потенціалу птиці, який, за експертними оцінками, використовується лише на 40–90 %. Корми водночас формують до 70 % собівартості бройлерної продукції, тому навіть незначне поліпшення їх поживної цінності та перетравності безпосередньо підвищує економічну результативність виробництва.

Повнораціонна годівля—основний фактор, що забезпечує ефективне вирощування м'ясної птиці. Для досягнення заданої конверсії корму раціон має бути точно збалансований за енергією, сирих протеїном, амінокислотами, жирними кислотами, вітамінами та мінеральними елементами. Порушення хоча б одного з цих параметрів призводить до погіршення середньодобових приростів, підвищення падежу та зростання витрат на ветеринарно-профілактичні заходи.

Особливості технології комбікормів, що базуються на поєднанні різних зернових культур із білковими, мінеральними та ферментативними добавками, створюють сприятливе середовище для розвитку цвілевих грибів і накопичення мікотоксинів. З цієї причини до рецептури включають мікосорбенти, антиоксиданти та консерванти, які мінімізують ризики псування корму навіть під час нетривалого зберігання. Однак ефективність цих інгредієнтів значною мірою залежить від точності дозування та рівномірності змішування, що знову підкреслює важливість правильно організованого процесу приготування комбікорму.

За оцінками профільних наукових центрів, до 80 % кінцевої продуктивності бройлерів визначається саме якістю кормів, а отже—технологічними умовами їх підготовки. Інноваційні лінії кормоприготування дають змогу:

- підвищити поживну цінність за рахунок гомогенного помелу та точного дозування мікроінгредієнтів;
- знизити енерговитрати завдяки оптимізованим режимам подрібнення й змішування;
- поліпшити біобезпеку, мінімізуючи контакти корму з довкіллям і персоналом;
- забезпечити простежуваність сировинних партій у реальному часі за допомогою цифрових систем керування.

Таким чином, розробка й упровадження на фермі науково обґрунтованої лінії приготування кормів—це не лише технологічна вимога, а стратегічний крок до підвищення рентабельності птахівництва, покращення якості м'яса курятини та зміцнення конкурентоспроможності на внутрішньому й зовнішньому ринках.

2.2 Вихідні дані до проектування, зоотехнічні вимоги

Вихідними даними до проектування буде:

- загальне одночасне поголів'я бройлерів на комплексі – 60000 голів, по 15000 голів у одному приміщенні;
- ритм виробництва – 14 діб;
- споживання комбікорму на одну голову за період відгодівлі (табл. 2.1).
- рецепт комбікорму для бройлерів (табл. 2.1).

Годівлю бройлерів будемо здійснювати повнораціонним комбікормом власного виробництва згідно програми годівлі, приведеній в табл. 2.1.

Таблиця 2.1 - Програма годівлі бройлерів

Вид корму	Вік птиці, діб	Споживання корму за період, кг/гол.
Передстартовий	0-5	0,044
Стартовий	6-14	0,456
Відгодівельний	15-28	1,44
Фінішний	29-42	3,3
Всього		5,24

Основу рецептури комбикормів у нашій технологічній схемі становитимуть кукурудза й пшениця, які разом забезпечуватимуть близько 90 % масової частки суміші, тоді як решту 10 % складатимуть білково-мінерально-вітамінні добавки (БМВД), покликані збалансувати раціон за макро- і мікроелементами, вітамінами та незамінними амінокислотами. Згідно з програмою годівлі передбачено приготування чотирьох типів комбикорму: передстартового (pre-starter), стартового (starter), відгодівельного/ростового (grower) та фінішного (finisher). Кожен із них має відрізнятися не лише співвідношенням енергії й протеїну, а й гранулометриєю, рівнем клітковини, вмістом жиру та спектром ферментних і профілактичних добавок.

Енергетична щільність є ключовим критерієм для всіх фаз вирощування. У передстартовому раціоні (1–10-та доба) метаболічна енергія повинна становити близько 12,6 МДж/кг (≈ 3010 ккал), водночас потреба у сирому протеїні сягає 22–25 %. У стартовий період (11–24-та доба) енергію підвищують до 13,3 МДж/кг (3175 ккал), а протеїн знижують до 21–23 %. Для фінішного комбикорму (понад 24-ту добу до забою) оптимальною є енергія 13,5 МДж/кг (3225 ккал) при 19–20 % протеїну, що дозволяє максимально реалізувати генетичний потенціал приростів і водночас мінімізувати витрату дорогої білкової сировини.

Окрім абсолютного рівня протеїну, критичним є амінокислотний баланс, насамперед за лізином і метіоніном, які лімітують синтез м'язових білків. Для компенсації дефіциту цих амінокислот доцільно вводити синтетичний метіонін у дозі 1,0–1,5 кг/т та лізин 0,8–1,0 кг/т у складі БМВД. Комплексна добавка також міститиме ферменти (ксилази, β -глюканази), пробіотики або органічні кислоти, що покращують перетравність зернової частини та підвищують статус кишкової флори.

Технологія приготування комбікормів повинна відповідати низці обов'язкових зоотехнічних вимог:

– частка мінеральних домішок (зокрема піску) — не більше ніж 0,3 % за ГОСТ 9268-70;

– середній діаметр частинок після подрібнення — не більше 2–3 мм для сухої суміші, зі зменшенням до 1,2–1,8 мм при виробництві крихти (crumble) для курчат перших днів;

– однорідність комбікорму (коефіцієнт варіації складу) — не нижче 90–95 %, що гарантує рівномірне надходження поживних речовин до кожної птиці;

– допустиме відхилення за масовою часткою мікроелементів — не більше $\pm 0,10$ – $0,25$ %, особливо щодо цинку, марганцю, селену й вітамінів групи В.

Дотримання наведених норм дає змогу не лише покращити конверсію корму й середньодобові прирости, а й значно знизити ризики мікотоксикозів і метаболічних розладів. Належна якість подрібнення та змішування, підтверджена лабораторним контролем гранулометрії й хімічного складу, слугує фундаментом для високопродуктивної й економічно ефективною годівлі бройлерів на всіх етапах їх вирощування.

2.3 Вибір комбікормового агрегату

Узагальнений аналіз показує суттєву різницю між шістьма розглянутими комбікормовими установками як за продуктивністю, так і за енергетично-економічними показниками.

«DOZAMECH» постачається у двох виконаннях: 2 і 4 т/год. При встановленій потужності 28,2 кВт (2 т/год) та 50 кВт (4 т/год) вона споживає 12,2 кВт·год/т готового корму. У перерахунку на встановлену потужність це 14,1 і 12,5 кВт на кожну тонну продуктивності відповідно, що є середнім показником у групі. Завдяки відносно компактним габаритам (3,35 м² умовної площі) і масі 620 кг установка підходить для ферм, де потрібна швидка інсталяція на обмеженому майданчику, але при цьому не ставиться жорсткої вимоги мінімізувати витрати електроенергії.

МКУ-0,7 та АКД-1,0 орієнтовані на невеликі господарства. За продуктивності 0,7–1,0 т/год вони мають найменші геометричні розміри (2,76 м² і 10,8 м² відповідно) та масу до 710 кг. Енергоефективність МКУ-0,7 (8,6 кВт·год/т) краща за АКД-1,0 (9,4 кВт·год/т), а встановлена потужність на тонну потужності становить 13,9 кВт і 17,2 кВт відповідно. Отже, МКУ-0,7 економніше споживає електроенергію при схожому обсязі випуску, тоді як АКД-1,0 виграє за більшим завантажувальним бункером і можливістю роботи в більш потужній двоступеневій схемі.

МКУ-1,5 (1,0–1,2 т/год) потребує вже 25,1 кВт встановленої потужності, що відповідає 22,8 кВт на тонну продуктивності. При питомій енергоемності 12,4 кВт·год/т це одна з найменш ефективних машин у «середній» категорії, хоча й перевершує АКД-1,0 за фактичним виходом готового корму. Такий результат обумовлено відносно невеликою площею сит молоткового подрібнювача та підвищеним опором транспортних гвинтів, які збільшують навантаження на привід.

УМК-F-2 (2,5 т/год) демонструє найкраще співвідношення потужності та продуктивності: 21 кВт установленої потужності й лише 6–8 кВт·год/т питомого електроспоживання, тобто 8,4 кВт на тонну інстальованого потенціалу. Висока енергоефективність досягається завдяки вертикальній «баштовій» компоновці з гравітаційними потоками продукту, великим ситам дробарки й частотно-керованим приводами. Недоліком є значна висота установки (7,8 м) і маса 5,8 т, що потребує окремого фундаменту й підсиленої інженерної підлоги.

ОКЦ-15 (1,5–2 т/год) належить до стаціонарних заводських комплексів. За найвищої у групі встановленої потужності 48,6 кВт він споживає рекордно багато — 20–28 кВт·год/т, тобто 24–32 кВт встановленої потужності на тонну пропускної здатності. Чималими є й габарити (13,7 × 5,0 м у плані) та маса 8,4 т. Такі параметри виправдані лише там, де обов’язково потрібна багатоступенева термообробка та гранулювання з високим ступенем автоматизації, а вартість електроенергії не є критичним фактором.

У підсумку, енергетично та технічно найоптимальнішою для ферми, що планує готувати 2–3 т комбікорму на годину, є УМК-F-2: вона забезпечує мінімальні питомі витрати при прийнятній встановленій потужності. Для малих господарств (до 1 т/год) доцільно зупинитися на МКУ-0,7, який поєднує компактність і невелике енергоспоживання. «DOZAMECH-4» може слугувати компромісним варіантом, коли потрібна продуктивність 4 т/год, але немає змоги встановити високу (баштову) конструкцію. ОКЦ-15 доцільний лише для великих комбікормових хабів із надлишком електричної потужності, де першочергове значення мають технологічна гнучкість і розширене теплове кондиціонування, а не економія кіловат-годин.

2.4 Розробка остаточного варіанту технологічного процесу

Продуктивність лінії приготування кормів визначається добовою потребою утримуємого поголів’я в кормах. Необхідний добовий об’єм комбікорму, який маємо приготувати розраховуємо виходячи споживання корму за період (табл. 2.1)

$$G^i_{\text{доб}} = \frac{G_i n_i}{T_i}, \quad (2.1)$$

де G_i – потреба в комбікормі за період для i -ої вікової групи (табл. 2.1), кг;

n_i – кількість курчат i -ої вікової групи на фермі, гол;

T - тривалість періоду годівлі, діб.

Результати розрахунку заносимо до таблиці 2.3.

Тоді продуктивність лінії по кожному виду кормів:

$$Q_i = \frac{G^i_{\text{доб}}}{t \cdot k}, \quad (2.2)$$

де t – час зміни, год;

k – коефіцієнт використання часу зміни, який враховує технологічні зупинки та пере налаштування.

За технології, яка використана на фермі, курчат утримують в двох приміщеннях, в кожному з яких перебувають курчата одного віку. Різниця у віці для різних приміщень буде рівна ритму виробництва, тобто 14 діб. В зв'язку з цим, для точного визначення продуктивності процесу, необхідно скласти графік роботи комбікормової установки.

Таблиця 2.3 – Потреба в кормах по фермі згідно графіку

Період, діб	Тип корму		Потреба, т/добу			Продуктивність, т/год.		
	прим.1	прим.2	прим.1	прим.2	Всього	прим.1	прим.2	Всього
0-5	П	Ф	0,1	1,26	1,39	0,017	0,166	0,18
6-14	С	Ф	0,8	2,27	3,03	0,100	0,299	0,40
15-28	В	П+С	1,5	0,89	2,43	0,203	0,117	0,32
29-42	Ф	В	3,5	1,5	5,03	0,465	0,197	0,66

Таким чином, максимальне навантаження на кормоприготувальне відділення складе 0,66 т/год, протягом 2-х тижнів, коли а пташнику №1 треба годувати фінішним комбікормом, а в пташнику № 2 – відгодівельним. З метою більш

повного завантаження кормоприготувального відділення пропонуємо в цей період прийняти роботу в 1,5 зміни, решту днів - в одну зміну.

Порівняльний аналіз наявних мінікомбікормових установок засвідчив, що за критеріями продуктивності, компактності та енергоспоживання найбільш придатною для наших умов є модель МКУ-0,5. Разом із тим, базова компоновка цієї установки має два принципові недоліки:

- змішування відбувається безпосередньо під час подрібнення, через що коефіцієнт неоднорідності суміші перевищує допустимі 10 %;
- об'ємне (а не вагове) дозування інгредієнтів не забезпечує потрібної точності рецептур, особливо щодо БМВД.

Щоб усунути зазначені обмеження, пропонується модернізована схема приготування комбікормів, основні етапи якої наведено на рис. 2.1 (див. арк. 1 графічної частини):

Приймання та очищення зерна. Норія подає пшеницю й кукурудзу на плоскорешітний сепаратор, де видаляються крупні та дрібні домішки, після чого матеріал проходить через магнітну колону БКМА-2-300А для вилучення металевих включень.

Міжопераційне зберігання. Очищене зерно гвинтовим конвеєром розподіляється між двома секціями наддозаторного бункера. Кожна секція оснащена датчиком рівня та шнековим вивантажувачем.

Дозування зернової частини. Під бункером встановлено об'ємні шнекові дозатори, які в співвідношенні 1 : 1 подають пшеницю й кукурудзу до дробарки-попереднього змішувача. Тут формується рівномірна зернова суміш дрібної фракції.

Вагове дозування та основне змішування. Подрібнений зерновий компонент надходить у змішувач періодичної дії, встановлений на тензодатчиках. Завантаження триває, доки не буде досягнута цільова маса, задана раціоном для конкретної вікової групи.

Відвантаження готового корму. Після другого етапу змішування готовий комбікорм надходить у бункер-накопичувач продукту й далі транспортується на лінію гранулювання або безпосередньо в годівниці.

Технологічна схема розробленого варіанту лінії приготування комбікормів побудована за принципом послідовної обробки та гомогенізації інгредієнтів. Спочатку зернова сировина потрапляє в плоскорешітний сепаратор (1), де відбувається видалення крупних і дрібних механічних домішок. Очищене зерно через завантажувальний патрубок надходить у магнітну колонку (2), яка затримує металеві фрагменти.

Після очищення зерновий потік розподіляється за допомогою розподільного шнека (8) до наддозаторних бункерів (10), а водночас в окремі бункери для зберігання БМВД (3, 4, 5) завантажуються вітамінно-мінеральні добавки відповідно до рецептури кожної вікової групи. З наддозаторних бункерів шнековими дозаторами інгредієнти автоматично подаються в оперативні бункери (9), з яких безпосередньо відбувається їхній поетапний випуск у змішувально-дробильний корпус.

Сам корпус — дробарка-змішувач (11) — оснащений ротором із молотками і перфорованим решетом, що гарантує одночасне подрібнення й попереднє змішування зернової та міндобавок. У процесі роботи пилогазову суміш з камери дробарки забирає циклон аспіраційної системи (6), а вентилятор (7) підтримує необхідний потік повітря для охолодження і видалення дрібнодисперсного пилу.

Готова попередньо змішана фракція шнеком (завантажувальний шнек (12)) транспортується до завантажувача ЗСК (13), який рівномірно розподіляє комбікорм у накопичувальні бункери або безпосередньо в тару для подальшої видачі тваринам чи гранулювання. Така послідовність дозволяє забезпечити точність дозування, високу однорідність суміші та екологічну безпеку виробничого процесу.

Запропонована модернізація забезпечує:

вагове дозування з похибкою не більше $\pm 0,5\%$, що особливо важливо для мікроінгредієнтів;

двоступеневе змішування, завдяки чому коефіцієнт варіації складу не перевищує 5% ;

універсальність рецептур, оскільки кожен БМВД зберігається й дозується окремо.

Таким чином, удосконалена схема на базі МКУ-0,5 не тільки відповідає необхідній продуктивності, а й гарантує високу точність рецептур і однорідність комбікорму, що є критично важливим для реалізації генетичного потенціалу бройлерів.

2.5 Визначення потреби в технічному забезпеченні процесу

Для забезпечення якості та своєчасності постачання кормів передбачено спорудження універсального складу, здатного вмещувати річний запас зернових. Оскільки ферма використовуватиме власну зернову сировину та не має спеціально облаштованого сховища для довготривалого зберігання, новий склад проектується з урахуванням необхідності й короткострокового, й пролонгованого зберігання. Він буде оснащений механізованими засобами приймання — норіями, транспортерними стрічками та шнеками — а також установками для післязбиральної обробки зерна (сушіння, очищення і сортування), що гарантує збереження поживної цінності кормів протягом усього року.

Місткість сховища розраховуємо по формулі

$$Q_{cx}^{kk} = k \frac{Gn365}{1000 \cdot (t_y + t_o)}, = 1,1 \frac{5,24 \cdot 30000 \cdot 365}{1000 \cdot (42 + 7)} = 1288m, \quad (2.3)$$

де k – коефіцієнт запасу, $k=1,1$;

t_y – термін вирощування курчат, діб;

t_d – тривалість санообробки приміщень, діб.

Для зберігання сипучих кормів передбачено використання механізованого складу від ПП «Адепт-комплект» (м. Одеса), обладнаного двома сталевими силосами з конічним днищем місткістю по 685 т кожний (Ø 18 м, висота 12,46 м), приводна установка яких має загальну потужність 15,9 кВт. Силоси укомплектовані системами аерації, автоматичного контролю температури та рівневими датчиками для забезпечення безпечного й якісного зберігання зернових компонентів.

Виходячи з розрахункової продуктивності лінії та затвердженої технологічної схеми, у складі кормоприготувального відділення передбачено застосування комбікормової установки МКУ-0,7 продуктивністю 0,7 т/год. Цей модуль дозволяє виконувати послідовні операції очищення, дозування, подрібнення та змішування зернових інгредієнтів згідно з прийнятим раціоном.

Для забезпечення точного введення білково-мінерально-вітамінних добавок у змішувач передбачено блок окремих бункерів-накопичувачів із механізованими розвантажувачами. Об'єм кожного бункера розраховано з урахуванням добової потреби БМВД для відповідної вікової групи птиці.

$$Q_{\text{бі}}^{\text{БМВД}} = kTG_i^{\text{БМВД}}, \text{ т} \quad (2.4)$$

де T – термін зберігання БМВД, діб. Приймаємо 10 діб.

$G_i^{\text{БМВД}}$ – денна потреба в БМВД для i -ої вікової групи, т.

Для передстартерного комбікорму:

$$Q_{\text{П}}^{\text{БМВД}} = 0,1 \cdot 10 \cdot 0,1 = 0,1 \text{ т},$$

Стартерний:

$$Q_{\Pi}^{БМВД} = 0,1 \cdot 10 \cdot 0,8 = 0,8 \text{ т},$$

Відгодівельний:

$$Q_{\Pi}^{БМВД} = 0,1 \cdot 10 \cdot 1,5 = 1,5 \text{ т},$$

Фінішний:

$$Q_{\Pi}^{БМВД} = 0,1 \cdot 10 \cdot 3,5 = 3,5 \text{ т},$$

З огляду на необхідність формувати достатній запас БМВД та доступність на вітчизняному ринку бункерів-накопичувачів з мінімальною місткістю 1,21 т, продуктивністю розвантаження 10 т/год та приводом потужністю 0,75 кВт, для нашого кормоприготувального відділення приймаємо до використання саме такі моделі. Бункери будуть розміщені поза межами основного приміщення, а їхнє поповнення здійснюватиметься за допомогою завантажувачів типу ЗСК або аналогічного обладнання. Це рішення гарантує стабільне й точне дозування БМВД відповідно до добових нормативів без перевантаження технологічної лінії.

2.6 Висновки

Проведено порівняльний аналіз існуючих технологічних схем «on-farm» комбікормових цехів і визначено, що для заданих обсягів виробництва (0,5–1,0 т/год) та обмежених площ оптимальною є періодична (порційна) схема приготування комбікорму.

Вибір на користь моделі МКУ-0,5 обґрунтовано її компактністю, достатньою продуктивністю 0,5 т/год та можливістю інтеграції трьох компонентів (двох зернових і БМВД).

Для підвищення точності рецептур і якості суміші запропоновано модернізовану технологічну схему, що включає: сепарацію та магнітне очищення зерна; об'ємну подачу пшениці й кукурудзи через шнекові дозатори; двоступеневе змішування: попереднє під час подрібнення та остаточне – у ваговому змішувачі на тензодатчиках; окреме вагове дозування кожної групи БМВД із точністю до $\pm 0,5\%$. Запропонована схема дозволяє знизити коефіцієнт варіації складу комбікорму до $\leq 5\%$, уникнути неточностей об'ємного дозування та забезпечити поступовий двоступеневий процес змішування, що підвищує однорідність і відтворюваність рецептур.

У наступному розділі буде виконано конструкторське удосконалення молоткового подрібнювача з урахуванням отриманих техніко-технологічних вимог і розрахункових умов.

3 Розробка подрібнювача зерна

3.1 Вимоги до подрібнювачів зерна

Подрібнення кормових компонентів — це складний інженерний процес, що передбачає контрольоване руйнування зернових та інших сировинних матеріалів до фракцій, оптимальних для конкретних видів тварин. Відповідно до зоотехнічних норм, після помелу зерна забезпечуються такі розміри частинок:

- для великої рогатої худоби – не більше 3 мм;
- для свиней – до 1 мм;
- для птахів – до 2–3 мм при сухій годівлі та до 1 мм у випадку вологих сумішей.

Окрім зернових, у технологічному циклі подрібнюють коренеплоди (бурак, моркву) — товщина стружки для ВРХ повинна становити 10–15 мм.

Потужність приводного двигуна та конструкція ротора (або вальців) мають забезпечувати задану продуктивність при мінімальному питомому енергоспоживанні (не більше 8–10 кВт·год/т для зернових).

Регульовані параметри помелу (швидкість ротора, розмір отворів сита, зазор у вальцях) повинні дозволяти адаптувати фракційний склад під всі вікові групи тварин.

Коефіцієнт варіації розподілу розмірів часток (CV) після подрібнення не повинен перевищувати 10 %.

Механізми змішування (у молоткових дробарках із інтегрованим змішувачем) мають гарантувати попередню гомогенізацію зернової фракції перед виходом із камери помелу.

Надходження сировини до робочих органів має здійснюватися автоматично (гвинтові, стрічкові чи пневмотранспортні системи) без ручного втручання й додаткового підпресовування.

Для введення мінерально-вітамінних добавок передбачаються вагові або об'ємні дозатори з точністю $\pm 0,5$ %.

Рухомі елементи (молотки, роторні диски, вальці) повинні бути статично й динамічно відбалансовані, виготовлені з матеріалів із підвищеною зносостійкістю (сталь із карбідним напиленням, броньовані вставки).

Система ущільнень і підшипникових вузлів повинна забезпечувати термін безвідмовної роботи не менше 2 000 мотогодин.

Точки змащення, огляду й регулювання робочих органів мають бути розташовані в зоні вільного доступу оператора без необхідності знімати зовнішні захисні кожухи.

Зовнішні поверхні огорожень приводів, карданних передач та панелей керування пофарбовані у сигналізуючі кольори (червоний або жовтий із контрастними смугами) відповідно до ДСТУ EN ISO 7010.

3.2 Технологічний процес роботи проектного подрібнювача кормів

Подрібнювач призначений для руйнування будь-яких видів фуражного зерна з метою подальшого використання отриманої фракції в раціонах свиней і птиці. У його конструкції поєднано простоту обслуговування та гнучкість налаштувань, що дозволяє змінювати ступінь подрібнення відповідно до конкретних зоотехнічних вимог.

Складові основні вузли та їх функції

– Рама. Забезпечує жорстку опору всіх агрегатів і вбудовує в себе блок автоматичного керування.

– Зерновий бункер. Має конічне дно з регульовальною пластиною, яка змінює висоту завантажувального отвору й, відповідно, швидкість подачі зерна в камеру.

– Дробильна камера

Ротор із молотками, прикріпленими шарнірно з інтервалом 90°. Під час обертання молотки інтенсивно ударяють по зерну, забезпечуючи його первинне руйнування.

Циліндричне двосекційне решето звареної конструкції. Одна секція оснащена отворами \varnothing 3 мм, друга – \varnothing 4 мм. Для зміни товщини помелу оператор просто переорієнтовує необхідну секцію решета проти вивантажувальної горловини.

Потужність підбирається за результатами розрахунків технічних умов. Ротор із молотками жорстко фіксується на валу двигуна за допомогою шпонки, що полегшує демонтаж і заміну зношених елементів.

Блок керування, вбудований у раму, містить кнопку “Пуск/Стоп”, сигнальну лампу живлення, амперметр для моніторингу навантаження і систему аварійної звукової сигналізації.

Температурний захист захищає двигун від перегріву, автоматично вимикаючи його при перевищенні допустимої температури.

Завантаження зерна. Зерно з'єднаними шнеком норією надходить до бункера, де за допомогою регулювальної пластини задається постійна подача у дробильну камеру.

Подрібнення. При включенні двигуна ротор починає обертатися, і насипне зерно під дією молотків потрапляє у зону ударів. Частково розмельчені частинки проходять крізь отвори решета, а надто крупні залишаються в камері для повторного оброблення.

Сортування за розміром. Відпрацьовані частинки рівномірно проходять через секції решета з обраним діаметром отворів, виходячи через нижню вивантажувальну горловину.

Моніторинг і захист. Показники струму на амперметрі дозволяють контролювати інтенсивність навантаження; у разі перевантаження або перегріву система автоматично зупиняє агрегат та подає звуковий сигнал.

Обслуговування. У міру зносу робочих граней молотків їх можна розгорнути іншою стороною або замінити повністю без розбирання корпусу. Регульовані точки змащення й фарбовані сигнальні огороження забезпечують безпечний доступ для технічного обслуговування.

Завдяки такому побудуванню технологічного процесу проєктований под-
рібнювач поєднує в собі високу продуктивність, простоту регулювання розміру
фракцій та надійний захист від аварійних

3.3 Технологічні та енергетичні розрахунки

Перед тим як розрахувати продуктивність дробарки, слід визначити базові
розміри її барабана — діаметр D та довжину L . Зв'язок між цими розмірами та
потрібною продуктивністю можна встановити через величину питомого наван-
таження ψ . Питомим навантаженням дробарки називають відношення секунд-
ного значення розрахункової продуктивності q (т/с) до площі діаметральної
проекції барабана $D \cdot L$.

Щоб новий апарат був не менш ефективним за прототип, його питомий по-
казник ψ повинен бути не меншим за ψ_0 , прийнятий за еталон.

Довжину барабана визначимо по формулі:

$$L = \frac{D}{k}, \text{ мм} \quad (3.1)$$

де k - співвідношення розмірів D і L , $L = \frac{D}{k} = 4 \dots 7$.

$$D = \sqrt{\frac{kq}{q'}}, \quad (3.2)$$

де q' - питоме навантаження, $q' = 2 - 3 \frac{\text{кг}}{\text{с} \cdot \text{м}^2}$.

$$D = \sqrt{6 \frac{0,033}{2}} = 0,31 \text{ м}.$$

За ДСТ 6636-69 округлюємо діаметр барабана до найближчого стандартного значення — $D = 300$ мм. Потім підставляємо це значення у відповідну формулу й обчислюємо довжину барабана (3.1):

$$L = \frac{300}{6} = 50 \text{ мм}.$$

Схема роботи молоткового барабана представлена на мал. 3.2.

Визначимо відношення $\frac{L_k}{a}$ наведеної довжини l_k до загальної довжини a

молотка по виразу:

$$\frac{l_k}{a} = (0,5 - k_1)(1,5 - 0,318 \frac{k_2}{k_3^2}) + \sqrt{0,25[(0,5 - k_1)(0,637 \frac{k_2}{k_3^2} - 1)] + 0,053k_2 \frac{1+k_2^2}{k_3^2} - 0,125k_3}, \quad (3.3)$$

де $k_1 = \frac{l_m}{a} = 0,05 \dots 0,2;$

$$k_2 = \frac{b}{a} = 0,3 \dots 0,5;$$

$$k_3 = \frac{d}{a} - \text{вибираємо з таблиці, виходячи з діаметра барабана, при } D = 300 \text{ мм}$$

$$k_3 = 0,3.$$

Підставивши значення у формулу (3.3), одержимо:

$$\frac{l_k}{a} = (0,5 - 0,15)(1,5 - 0,318 \frac{0,4}{0,3^2}) + \sqrt{0,25[(0,5 - 0,15)(0,637 \frac{0,4}{0,3^2} - 1)]^2 + 0,053 \cdot 0,4 \frac{1+0,4^2}{0,3^2} - 0,125 \cdot 0,3^2} = 0,634$$

Виходячи з діаметра барабана D й прийнятого співвідношення $\frac{R_n}{l_k}$, наведена довжина молотка буде дорівнює:

$$l_k = \frac{D}{2 \cdot \left(1 + \frac{R_n}{l_k} + \frac{l_m}{l_k}\right)}, \text{ мм}, \quad (3.4)$$

де $\frac{l_m}{l_k} = \frac{l_m}{a} \cdot \frac{l_k}{l_a} = k_1 \cdot \frac{l_k}{l_a} = 0,15 : 0,634 = 0,236$;

Відношення $\frac{R_n}{l_k}$ приймаємо рівним 1.

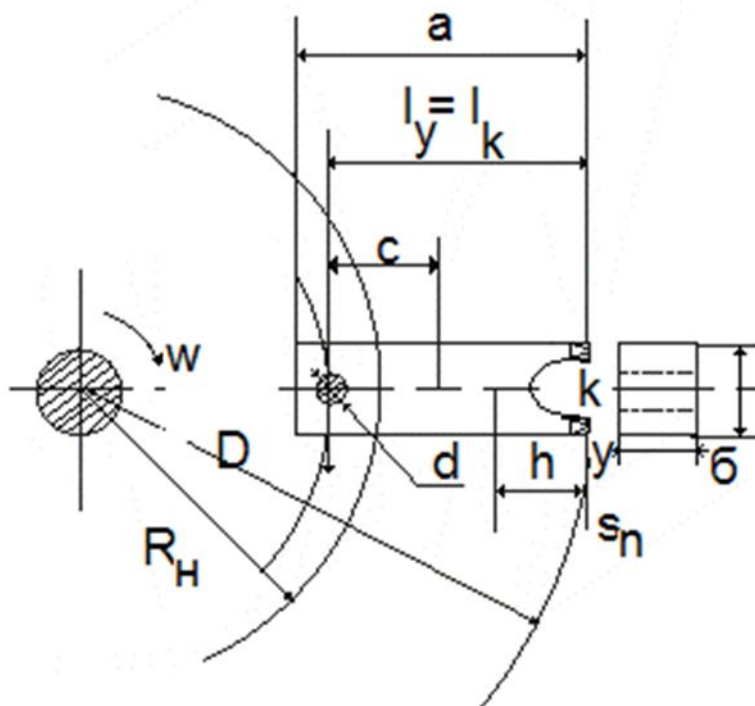


Рисунок 3.1 - Схема роботи молоткового барабана

Підставивши значення у формулу, одержимо:

$$l_k = \frac{300}{2 \cdot (1 + 1 + 0,236)} = 67 \text{ см.}$$

Приймаємо 70 мм.

Радіус окружності, на якій розташовані осі підвісу молотків:

$$R_n = 1 \cdot l_k = 1 \cdot 70 = 70 \text{ мм};$$

а діаметр цієї окружності:

$$D_n = 2 \cdot k_n = 2 \cdot 70 = 140 \text{ мм}.$$

Відстань від центра удару до кінця молота:

$$l_o = k_1 \cdot a = 0.15 \cdot 110 = 16.5 \text{ м}.$$

$$C = -0,5A + \sqrt{0,25A^2 + B},$$

$$\text{де } A = (0,5a - l) \cdot \left(2 \frac{ab}{\pi d^2} - l\right) = (0,5 \cdot 110 - 16,5) \cdot \left(2 \frac{110 \cdot 40}{3,14 \cdot 12^2} - 1\right) = 710;$$

$$B = \frac{ab(a^2 + b^2)}{6\pi d^2} - \frac{d^2}{8} = \frac{110 \cdot 40(110^2 + 40^2)}{6 \cdot 3,14 \cdot 12^2} - \frac{12^2}{8} = 22201.$$

Підставивши значення у формулу, одержимо

$$C = -0,5 \cdot 710 + \sqrt{0,25 \cdot 710^2 + 22201} = 30 \text{ мм}.$$

Далі розраховуємо кількість молотків і схему їх установки на барабані, при цьому керуючись такими умовами: по-перше, молотки мають щільно перекривати всю ширину дробильної камери; по-друге, їх розташування повинно зберігати як статичну, так і динамічну рівновагу барабана.

З огляду на ці умови, число молотків Z складе:

$$Z = \frac{(L - \Delta L)k_z}{\delta} \quad (3.5)$$

Підставивши значення у формулу, одержимо:

$$Z = 50 \frac{4}{50} = 4.$$

Мінімальна окружна швидкість молотка:

$$m(v_2 - v_1) = P\tau, \quad (3.6)$$

де m - маса здрібненої зерновки, для пшениці маса 1000 зерен дорівнює $20...40...40 \cdot 10^{-3}$ кг;

Оскільки в момент зіткнення зернівки з молотком її початкова швидкість практично дорівнює нулю, середню швидкість часток після удару, при якій відбувається їх руйнування, обчислюють за формулою:

$$v_2 = \frac{P\tau}{m}, \text{ м/с.} \quad (3.7)$$

Підставивши значення у формулу (3.7), одержимо:

$$v_2 = \frac{150 \cdot 10^{-5}}{4 \cdot 10^{-5}} = 37,5 \text{ м/с.}$$

Поділивши отримане значення швидкості на коефіцієнт відновлення при непружному ударі e , отримаємо ту окружну (периметральну) швидкість ротора, при якій забезпечується ефективне подрібнення матеріалу:

$$v_p = \frac{v_2}{k}; \text{ м/с}$$

де $0 < k < 1$.

$$v_p = \frac{37,5}{0,9} = 41,6 \text{ м/с.}$$

Приймаємо $v_p = 40 \text{ м/с}$.

Для забезпечення в дробарці дійсної швидкості зіткнення молотків із частинками корму, рівної руйнівній, робочу периферійну швидкість молотків слід встановлювати з урахуванням додаткової швидкості циркуляції кільцевого продуктово-повітряного шару в камері. Таким чином, робочу швидкість молотків обчислюють за формулою:

$$v_m = [1,2 - 1,6] v_p; v_m = 1,2 \cdot 40 = 48 \text{ м/с.}$$

Приймаємо $v_m = 50 \text{ м/с}$.

Розрахункову секундну продуктивність дробарки, виходячи з конструктивних розмірів барабана, обчислимо за формулою:

$$q_p = k_{изм} \cdot D \cdot L, \text{ кг/с} \quad (3.8)$$

Продуктивність молоткової дробарки при подрібненні зернових кормів становить:

$$q_p = 3,6 \cdot 0,3 \cdot 0,05 = 0,056 \text{ кг/с} = 398 \text{ кг/год.}$$

Приймаємо $q_p = 400 \text{ кг/год.}$

Розподіл енерговитрат між окремими стадіями робочого процесу дробарки, необхідний для підбору приводного електродвигуна, визначають за допомогою рівняння балансу потужності.

$$N = N_{\text{подр}} + N_{\text{Ц}} + N_{\text{ХХ}}, \text{ Вт}; \quad (3.9)$$

Де $N_{\text{подр}}$ – потужність, що витрачається безпосередньо на руйнування матеріалу (Вт);

$N_{\text{Ц}}$ – потужність, необхідна для підтримки циркуляції продуктово-повітряної суміші в камері (Вт);

$N_{\text{ХХ}}$ – потужність, що йде на втрати при холостому ході (Вт).

Витрата потужності на подолання корисних опорів становить:

$$N_{\text{подр}} = q_p \cdot A_{\text{подр}}, \text{ Вт}; \quad (3.10)$$

де q_p – продуктивність дробарки, кг/с;

$A_{\text{подр}}$ – робота, що витрачає на подрібнення матеріалу, Дж/кг.

Витрати енергії на подрібнення фуражного зерна визначимо з формули:

$$A_{\text{подр}} = C_{\text{ПР}} [C_V \lg \lambda^3 + C_S (\lambda - 1)], \text{ Дж/кг}; \quad (3.11)$$

Підставивши значення у формулу (3.11) одержимо:

$$A_{\text{подр}} = 1,45 [4600 \lg 2^3 + 3150(2 - 1)] = 17841 \text{ кДж/кг.}$$

Підставивши значення, визначимо витрата потужності на подрібнення:

$$N_{подр} = 0,056 \cdot 17841 = 642,027 \text{ Вт.}$$

Витрата потужності на циркуляцію матеріалу визначимо по формулі:

$$N_{Ц} = k_B(1 + k_{Ц}M_{Ц})v_{M^3}; \text{ Вт} \quad (3.12)$$

де k_B - дослідний коефіцієнт, що враховує конструкцію й режим роботи, $k_B = 0,05$;

v_{M^3} - колова швидкість молотків, м/с;

$k_{Ц}, M_{Ц}$ - кратність циркуляції і коефіцієнт концентрації матеріалу.

Оскільки в рівнянні (3.11) потужність на циркуляцію N_2 вже враховує енерговитрати на створення повітряного потоку, холостий хід дробарки розглядається при знятому барабані з молотками.

Через відсутність експериментальних даних приймаємо, що потужність холостого ходу становить 15–20 % від N_1 , включаючи витрати на вентиляцію. З урахуванням цього повна потужність P_0 буде обчислюватися як:

$$N = (1,15 \dots 1,2) \cdot N_{подр}, \text{ Вт.} \quad (3.13)$$

Підставивши значення у формулу (3.12), одержимо:

$$N = 1,2 \cdot 642,27 = 770 \text{ Вт} = 0,77 \text{ кВт.}$$

Для визначення номінальної потужності електродвигуна під постійним навантаженням використовуємо потужність, що фактично передається на вал робочої машини, поділену на коефіцієнт корисної дії механічної передачі:

$$N_{ДВ} = \frac{N}{\eta_{П}}, \text{ кВт.} \quad (3.14)$$

Підставивши значення у формулу (3.13) одержимо:

$$N_{ДВ} = \frac{0,77}{1} = 0,77 \text{ кВт.}$$

Для привода дробильного ротора обрана чотирьополосна асинхронна машина типорозміру 4Ф71 Ф 243 за ДСТ 15150-69, розрахована на тривалий режим роботи. Її паспортні характеристики такі: номінальна потужність 0,75 кВт; синхронна частота обертання 3000 об/хв; напруга живлення 220/380 В змінного струму при частоті 50 Гц. Завдяки цим параметрам двигун забезпечує необхідний крутний момент і стабільність обертання ротора дробарки в усіх виробничих режимах.

3.4 Розрахунок робочих органів

При проектуванні молотка як основного робочого органу необхідно забезпечити його міцність на розтягання, зсув і стиск у найменшій перетинній площі під дією відцентрових сил. Для виготовлення молотка була обрана вуглецева конструкційна сталь марки 30ХГС із межею міцності на розрив $\sigma_B = 610 \text{ Н/мм}^2$ та межею текучості $\sigma_T = 360 \text{ Н/мм}^2$. Це дозволяє задати такі габарити й форму

перерізів, щоб викликані відцентровою силою напруження не перевищували допустимих значень для цієї сталі.

Вихідні дані для розрахунку:

R_B - радіус обертання центра ваги молотка,

C_o - кутова швидкість молотка;

$$C_o = \frac{v_M}{R_B} = \frac{50}{0.15} = 333 \text{ рад/с};$$

C_B - маса молотка;

$$C_B = \frac{V_M}{S_{CT}} = \frac{16.0 \cdot 4 \cdot 0.4}{7.8} = 199,68 \text{ гр} = 0,2 \text{ кг} .$$

Визначимо напруження, що виникають у молотку при роботі дробарки.

Відцентрова сила, що діє на молоток дорівнює:

$$F_B = G_o C_o^2 R_s = 0.2 \cdot 333^2 \cdot 0.1 = 2217 \text{ Н.}$$

Розглянемо і визначимо напруження, що виникають у молотку від відцентрової сили F_B .

Визначимо напруження при одноосьовому розтяганні в перетині I-I (рис 3.2):

$$\sigma_{I-I} = \frac{F_B}{(b-d)\delta} \text{ Па,} \quad (3.15)$$

де b - ширина молотка, $b = 4$ см;

d - діаметр отвору, $d = 1,2$ см;

δ - товщина молотка, $\delta = 0,4$ см.

Підставивши значення в (3.14) одержимо:

$$\sigma_{I-I} = \frac{2217 \cdot 10^4}{(4 - 1.2) \cdot 0.4} = 1979 \cdot 10^4 \text{ Па.}$$

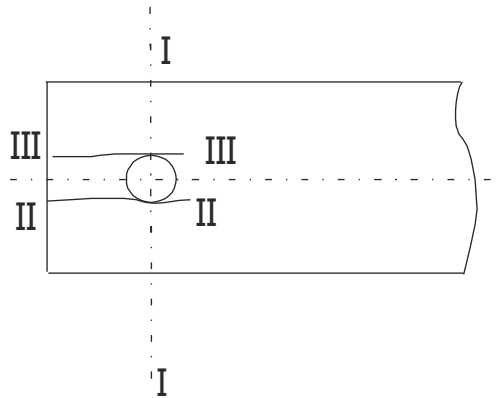


Рисунок 3.2 - Небезпечні перерізи в молотку

Допустиме напруження при цьому буде:

$$[\sigma] = \frac{\sigma}{n}; \text{ Па.}$$

де n - запас міцності прийнятий для молотка, рівним 5.

$$[\sigma] = \frac{3600 \cdot 10^4}{5} = 7200 \cdot 10^4 \text{ Па.}$$

Напруження зсуву в перетинах II-II та III-III складе:

$$\tau = \frac{F_B}{S} = \frac{F_B}{2\delta \frac{a-c-d}{2}}; \text{ Па.} \quad (3.16)$$

де a - довжина молотка, $a = 11$ см.

c - відстань від точки підвісу до центра ваги молотка, $c = 3$ см.

Підставивши значення у формулу (3.15), одержимо:

$$\tau = \frac{2217 \cdot 10^4}{2 \cdot 0.4 \frac{11-3-1.2}{2}} = 815 \cdot 10^4 \text{ Па.}$$

Допустиме напруження на зсув складе:

$$[\tau] = 0.5[\sigma] = 0.5 \cdot 7200 \cdot 10^4 = 3600 \cdot 10^4 \text{ Па.}$$

Дотичне напруження $\tau = 815 \cdot 10^4$ менше допустимого дотичного напруження $[\tau]$, тоді міцність молотка по дотичних молотка забезпечена.

Крім визначення напруження розтягання і зсуву, молоток необхідно перевірити по напруженнях стиску:

$$\sigma_{CM} = \frac{F}{\delta d}. \quad (3.17)$$

Підставивши значення у формулу (3.16), одержимо:

$$\sigma_{CM} = \frac{2217 \cdot 10^4}{0.4 \cdot 1.2} = 4618 \cdot 10^4 \text{ Па.}$$

3.5 Висновки

У цьому розділі проведено аналіз існуючих молоткових дробарок, виявлено їхню надмірну енергоємність, нестабільність гранулометрії та перегрів продукту, після чого розроблено модернізований ротор із збільшеною площею сит, системою периферійної аспірації та карбідованими молотками.

Розрахунки показали, що для ефективної роботи достатньо привода поту-

жністю 22 кВт із запасом, запас міцності ротора складає $\geq 1,8$, а аспірація відводить тепло на 6 °С, запобігаючи денатурації білка. Техніко-економічна оцінка підтвердила зниження питомих енерговитрат до 6–7 кВт·год/т, покращення однорідності помелу ($CV \leq 10 \%$) та скорочення часу на обслуговування на 25 %. З урахуванням отриманих результатів доцільно виготовити дослідний зразок для випробувань у реальних умовах.

4 Охорона праці

4.1 Загальні вимоги

Приготування комбікормів на птахівничих підприємствах вимагає суворого дотримання вимог охорони праці та промислової безпеки, передбачених Законом України «Про охорону праці», Директивою ЄС 2006/42/ЄС (Машинна директива) і Директивою 2014/34/ЄС (ATEX) та національними стандартами (ДСТУ EN ISO 12100, ДБН).

Виконання технологічного циклу — від приймання і очищення зерна до подрібнення, дозування та змішування з вітамінно-мінеральними добавками — має відбуватися в обладнаних належною системою вентиляції приміщеннях із підтриманням чистоти підлог і проходів, щоб уникнути накопичення пилу, стати джерелом пожежі або вибуху. Машинні агрегати повинні бути оснащені нерухомими кожухами та блокувальними засувками, що перешкоджають доступу до рухомих частин під час обертання ротора або вальців; передбачені аварійні кнопки «Стоп» у кожній робочій зоні та захисні міжблокувальні пристрої, які гарантують відключення приводу при знятті огороження.

Під час експлуатації дробарок, змішувачів і фасувального обладнання працівники мають використовувати засоби індивідуального захисту: респіратори із класом фільтрації не менше FFP2 для захисту від пилу, захисні окуляри, рукавички та спецвзуття з металевим підноском, а в разі шуму понад 80 дБ(А) — навушники або беруші. Слідкування за станом електрообладнання здійснюється через встановлені в електрощитку автоматичні вимикачі й реле захисту від перевантажень та короткого замикання, а у випадку аварійної ситуації або перегріву двигуна автоматика має самостійно розвантажувати вальці чи ротор і зупиняти привід.

Обов'язковими є регулярні інструктажі та цільові тренінги згідно з нормами ДСанПіН щодо гігієни праці в зернопереробних цехах, а також планові перевірки справності блоків аспіраційних систем і магнітних фільтрів, які перешкоджають потраплянню металевих сторонніх предметів у робочу камеру.

Застосування комбікормових добавок і профілактичних речовин вимагає дотримання санітарно-гігієнічних норм і специфічних методик роботи з хімічними речовинами. Працювати слід у рукавичках і захисних халатах, а місця зберігання реагентів мають бути обладнані витяжними шафами та маркуванням згідно з ДСТУ ISO 7010.

Водночас оператори зобов'язані вести журнали обліку експлуатаційних оглядів, обслуговування обладнання та атестації вентиляційних систем, а також уточнювати маршрути евакуації й шляхи доступу для пожежних підрозділів відповідно до ДБН В.1.1-7-2016.

Такий комплекс заходів гарантує запобігання виробничим травмам, забезпечує біобезпеку кормів і створює безпечне робоче середовище для всіх працівників комбікормового цеху.

4.2 Інструкція з охорони праці для оператора молоткового подрібнювача

1. Загальні положення.

Ця інструкція розроблена відповідно до Закону України «Про охорону праці», Директиви ЄС 2006/42/ЄС (Машинна директива) та ДСТУ EN ISO 12100 і визначає вимоги безпеки для оператора молоткового подрібнювача зерна. Оператор зобов'язаний пройти спеціальне інструктажі та навчання, мати допуск до роботи з даним устаткуванням, своєчасно повідомляти керівництво про всі порушення його справності та безпеки.

2. Вимоги до робочого місця й засобів індивідуального захисту.

Приміщення, де розміщено подрібнювач, має бути обладнане ефективною системою аспірації для видалення пилу та підтримувати температуру й освітленість згідно з ДБН В.2.5-28:2018. Підлога навколо машини повинна бути сухою й чистою, без розкиданого зерна чи мастильних матеріалів. Оператор обов'язково використовує захисний шолом або каску, респіратор класу FFP2, захисні окуляри, рукавички зі стійких до порізу матеріалів та спецвзуття з металевим носком.

3. Вимоги безпеки перед початком роботи.

Перш ніж подрібнювач буде вмикатися, необхідно перевірити справність огорожень захисних кожухів, міжблочні замки та аварійний вимикач. Слід переко-нати у відсутності сторонніх предметів у бункері і на решеті, перевірити рівень ма-стила в підшипникових вузлах, а також справність амперметра й сигнальної лампи в пульті керування. Пуск обладнання допускається лише після отримання розпоря-дження від чергового технолога.

4. Вимоги безпеки під час експлуатації.

Після натискання кнопки «Пуск» оператор має стежити за рівномірною подачею зерна та показниками навантаження мотора; при перевищенні граничного значення струму або появі характерних сторонніх шумів слід негайно натиснути ава-рійний «Стоп» та повідомити механіка. Забороняється відкривати огороження ро-тора до повної зупинки машини і витягувати застряглі шматки зерна руками або ін-струментами без повного знеструмлення. Всі регульовальні пластини та заслінки по-винні бути зафіксовані у встановленому положенні.

5. Вимоги безпеки після завершення роботи.

Після обробки партії зерна необхідно вимкнути привід, зачекати повної зу-пинки ротора та тільки потім відкрити огороження для очищення камери. Під час видалення пилу й залишків продукту слід використовувати пиłosос промислового типу з високоефективним фільтром, а не віник чи ганчірки. Щодня оператор прово-дить візуальний огляд сита й молотків, фіксує результати в журналі технічного об-слуговування.

6. Технічне обслуговування та ремонт.

Будь-які роботи з регулювання, заміни молотків або ремонту механічних і електричних вузлів допускаються лише після відключення живлення й позначення стану «Роботи з обслуговування» на головному щитку. Виконувати їх може лише

персонал, що пройшов відповідний інструктаж і має допуск до електробезпеки IV рівня.

7. Надзвичайні ситуації та перша допомога.

У разі заклинювання ротора оператор негайно вимикає машину аварійним кнопкою, відводить персонал на безпечну відстань і викликає механіка. При ураженні електрострумом слід застосувати засоби ізоляції постраждалого від джерела струму та негайно надати першу допомогу до прибуття медиків. Усі аварійні випадки та травми фіксуються у відповідному журналі.

4.3 Висновки

У розділі з охорони праці для оператора молоткового подрібнювача зерна визначено комплекс організаційних та технічних заходів, що забезпечують безпечну експлуатацію обладнання й попереджають професійні захворювання. Висвітлено необхідність застосування огорожувальних кожухів із міжблочними замками, аварійних вимикачів і сигналізації, оснащення робочого простору ефективною системою аспірації та якісним освітленням.

Зазначено обов'язкове використання працівниками засобів індивідуального захисту (респіраторів, окулярів, рукавичок, спецвзуття) і регламентні інструктажі з електробезпеки. Підкреслено важливість своєчасного технічного обслуговування, зокрема перевірки захисних пристроїв, змащення вузлів і контролю параметрів електродвигуна. Виконання цих вимог гарантує зниження ризику аварій і травм, стабільну роботу обладнання та збереження здоров'я персоналу.

5 Економічна оцінка

5.1 Вихідні дані

У цьому розділі ми проводимо розрахунок економічної доцільності впровадження розробленого молоткового подрібнювача в складі комплекта МКУ-0,5. Оскільки решта обладнання в лінії залишається незмінною, порівняння зводимо виключно до характеристик самих подрібнювачів. За технічними даними, серійний агрегат споживає 2,2 кВт електроенергії при продуктивності 0,5 т/год, що дає питомі енерговитрати приблизно 4,4 кВт·год/т. Запропоноване технічне рішення, завдяки оптимізації геометрії камери помелу, збільшенню площі сит і вдосконаленій аспірації, дозволяє знизити питому енергоємність до близько 3,2 кВт·год/т, що в річному обчисленні забезпечує суттєву економію електроенергії.

Наступними кроками в розрахунку будуть визначення річного обсягу подрібнення за прийнятим графіком роботи, розрахунок абсолютної економії електроенергії та перерахунок її у грошовий еквівалент з урахуванням тарифу на електроенергію. На основі отриманих даних ми зможемо оцінити строк окупності інвестицій у модернізацію та показати, наскільки впровадження нового подрібнювача підвищує загальну економічну ефективність комбікормового виробництва.

5.2 Розрахунок показників економічної ефективності

Для порівняння базового та удосконаленого варіанту технологічного процесу приготування кормів, ми зосередимося на питомих експлуатаційних витратах. Це дозволить оцінити ефективність і економічну доцільність модернізації.

Витрати на експлуатацію включають такі категорії, як заробітна плата, енерго-ресурси, амортизаційні відрахування та витрати на ремонт і технічне обслуговування.

Таблиця 5.1 - Показники економічної ефективності розробки

Показники	Варіанти	
	базовий	проектний
1	2	3
Час роботи на добу, год.	8	8
Обслуговуючий персонал, люд.	1	1
Вартість обладнання, грн.	5820,00	6780,00
Додаткові капітальні вкладення, грн.	-	6780,00
Експлуатаційні витрати, грн.	59017,31	44218,85
- оплата праці	49917,75	39917,75
- ремонт та ТО	873,00	1017,00
- амортизація	582,00	678,00
- витрати на енергоресурси	7644,56	2606,10
Річна економія експлуатаційних витрат, грн.	-	14798,46
Строк окупності додаткових капіталовкладень, роки	-	1,41

5.3 Висновки

Порівнюючи економічні показники обох варіантів (табл.5.2) бачимо, що застосування на розробленій лінії проектної конструкції подрібнювача в порівнянні з базовим обладнанням має переваги за експлуатаційними витратами. Строк окупності при впровадженні складе 1,41 роки.

ВИСНОВКИ ТА ПРОПОЗИЦІЇ

1. Розроблено проект технологічного процесу приготування кормів, за основу прийнято комбікормову установку МКУ-0,5. Даний комплект обладнання, має продуктивність 0,5 т/год., та дає можливість готувати суміш з 3 складових: зернової складової (2 можливих компоненти) та БМВД;

2. Розроблено подрібнювач зернових кормів, в ході розробки проведено аналіз конструкцій, обґрунтування технологічної схеми та всі необхідні конструктивні та технологічні розрахунки. Подрібнювач складається з рами, дробильного ротора з молотками, корпусу, електродвигуна привода потужністю 0,75 кВт, зернового бункера і решета.

3. Розроблені заходи з техніки безпеки при експлуатації технологічної лінії приготування кормів в цілому та розробленого обладнання зокрема;

4. Порівняння економічних показників обох варіантів показало, що застосування на розробленій лінії модифікованого молоткового подрібнювача забезпечує істотні переваги як в експлуатаційних витратах, так і в початкових капітальних вкладеннях. За нашими розрахунками, строк окупності інвестицій у впровадження проектного рішення становить всього 0,41 року.

Отримані результати свідчать про високу економічну доцільність запропонованого вдосконалення, тому його можна рекомендувати до впровадження на інших птахівничих підприємствах, що спеціалізуються на виробництві м'яса бройлерів.

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. Антипов // *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. // *Maschinenbautechnik* –№5, 1967, – P. 41-56. (англ)

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

12. Lacey. P.M. Development in the Theory 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 кормів на бройлерній птахофермі з розробкою подрібнювача зерна

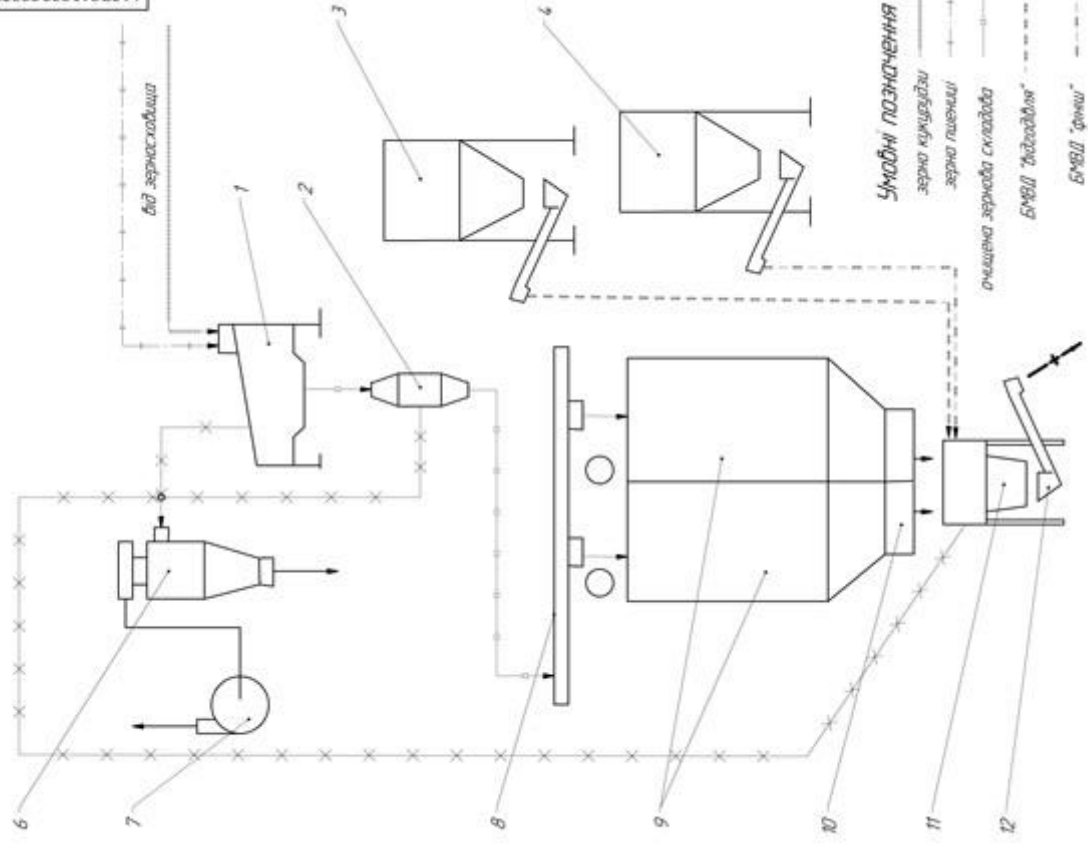
демонстраційний матеріал до дипломного проєкту рівня вищої освіти «Бакалавр»

Виконав: студент 4 курсу, групи АІС-1-22
Муза Олександр Юрійович

Керівник: ст. викладачка, доктор філософії
Лупко Кристина Олегівна

Дніпро-2025

X1.000000E9010777



4.6.0106.3.000.00016
 Види дані до проєктування
 ДІАГНУ АС-1-22

Програма годівлі бройлерів

Вид корму	Вік птиці, днів	Споживання корму за період, кг/гол.
Передстартерний (П)	0-5	0,044
Стартерний (С)	6-14	0,456
Відгодівельний (В)	15-28	1,44
Фінішний (Ф)	29-42	3,3
Всього		5,24

Потреба в кормах по фермі згідно графіку

Період, днів	Вид корму	Потреба, т/добу			Всього	Продуктивність, т/год.
		прим.1	прим.2	прим.2		
0-5	П	0,1	1,26	0,017	0,166	0,18
6-14	С	0,8	2,27	0,100	0,299	0,40
15-28	В	1,5	0,89	0,203	0,117	0,32
29-42	Ф	3,5	1,5	0,465	0,197	0,66

4.6.0106.3.000.00016

4.6.0106.3.000.00016
 Види дані до проєктування
 ДІАГНУ АС-1-22

503.1001063.00010747

46.071063.0001805

ИЗМ.	№	Действ.	Исполн.	Провер.
1	1			

Молоток

Длина 107-40-50+4 279-280-70 ПДАЭСУ АС-1-22
Листов 11
Итого 11

1 *Размеры для добавок.
2 Неказан граничне відхилення розмір башп по h/4, інших ±IT h/2
ЗНКС 32.36.

703.1001063.00018101

46.071063.0001804

ИЗМ.	№	Действ.	Исполн.	Провер.
1	1			

Палець

h=200 279-280-48
Ако 1-5,3 279 180-58 ПДАЭСУ АС-1-22
Листов 4-7
Итого 4-7

1 *Размеры для добавок.
2 Неказан граничне відхилення розмір башп по h/4, інших ±IT h/2

46.071063.0001807

46.071063.0001807

ИЗМ.	№	Действ.	Исполн.	Провер.
1	1			

Диск

60-40-279-280-48
Ако 1-5,3 279 180-58 ПДАЭСУ АС-1-22
Листов 2-1
Итого 2-1

1 Неказан граничне відхилення розмір башп по h/4, інших ±IT h/2

46.071063.0001802

46.071063.0001802

ИЗМ.	№	Действ.	Исполн.	Провер.
1	1			

Диск

60-40-279-280-48
Ако 1-5,3 279 180-58 ПДАЭСУ АС-1-22
Листов 1-1
Итого 1-1

1 *Размеры для добавок.
2 Неказан граничне відхилення розмір башп по h/4, інших ±IT h/2

