

ДНІПРОВСЬКИЙ ДЕРЖАВНИЙ АГРАРНО-ЕКОНОМІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ

Інженерно-технологічний факультет

Кафедра інжинірингу технічних систем

Пояснювальна записка

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

**Удосконалення технологічного процесу приготування кормів
для ферми великої рогатої худоби з удосконаленням
вертикального шнекового змішувача-кормороздавача**

Виконав: здобувач вищої освіти 4 курсу, групи АІ-2-22
за спеціальністю 208 «Агроінженерія»

_____ Сатула Данило Олександрович

Керівник: _____ Білоус Ілля Михайлович

Рецензент: _____

Дніпро – 2026

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

Кафедра інжинірингу технічних систем

Освітній ступінь: «Бакалавр»

Спеціальність: 208 «Агроінженерія»

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри

ІТС

(назва кафедри)

доцент

(вчене звання)

Дудін В.Ю.

(підпис)

(прізвище, ініціали)

«05» травня 2026 р.

**ЗАВДАННЯ
НА ДИПЛОМНИЙ ПРОЄКТ СТУДЕНТУ**

Сатули Данила Олександровича

(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема проєкту: Удосконалення технологічного процесу приготування кормів для ферми великої рогатої худоби з удосконаленням вертикального шнекового змішувача-кормороздавача

керівник проєкту Білоус Ілля Михайлович, д-р філософії

(прізвище, ім'я, по батькові, науковий ступінь, вчене звання)

затверджені наказом вищого навчального закладу від

«05» травня 2026 року № 912

2. Строк подання студентом проєкту 05.06.2026 р.

3. Вихідні дані до проєкту: Аналіз стану питання процесів та обладнання для змішування та роздавання кормів на фермах великої рогатої худоби. Патентний пошук, аналіз літературних джерел, останніх досліджень з обраної тематики.

4. Зміст розрахунково-пояснювальної записки (перелік питань, які потрібно розробити) 1. Характеристика підприємства. 2. Проєктування технологічної лінії приготування та роздавання кормів. 3. Удосконалення змішувача-кормороздавача. 4. Охорона праці. 5. Техніко-економічна оцінка. Загальні висновки. Бібліографічний список

5. Перелік демонстраційного матеріалу

1. Корівник. 2. Технологічна схема. 3. Змішувач кормороздавач. 4. Креслення деталей. 5. Економічні показники.

6. Консультанти розділів проєкту

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

7. Дата видачі завдання: 05.05.2026 р.

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

	Назва етапів дипломного проєкту	Строк виконання етапів роботи	Примітка
1	Аналітичний (оглядовий)	до 01.04.2026 р.	
2	Теоретичний	до 15.04.2026 р.	
3	Експериментальний	до 30.04.2026 р.	
4	Охорона праці	до 10.05.2026 р.	
5	Економічний	до 22.05.2026 р.	
6	Демонстраційна частина	до 05.06.2026 р.	

Студент

_____ Сатула Д.О.
(підпис) (прізвище та ініціали)

Керівник проєкту

_____ Білоус І.М.
(підпис) (прізвище та ініціали)

[illegible]

АНОТАЦІЯ

Сатула Д.О. Удосконалення технологічного процесу приготування кормів для ферми великої рогатої худоби з удосконаленням вертикального шнекового змішувача-кормороздавача / Дипломний проєкт, представлений на здобуття ступеня вищої освіти «бакалавр» спеціальності 208 «Агроінженерія». – ДДАЕУ, Дніпро, 2026, п'ять аркушів графічної частини формату А1.

У проєкті наведено вступ, подано характеристику виробничої діяльності підприємства та аналіз існуючих технологій приготування і роздавання кормів на молочнотоварній фермі. Обґрунтовано доцільність застосування технології повнораціонних кормових сумішей та вибір вертикального шнекового змішувача-кормороздавача як базової машини технологічної лінії. Виконано розрахунок добової потреби ферми у кормах, спроектовано технологічну лінію приготування та роздавання кормів для стада чисельністю 400 голів великої рогатої худоби. Розроблено конструкцію удосконаленого змішувача-кормороздавача зі зміненою геометрією різального апарата, кутом встановлення ножів та параметрами шнека, що забезпечує підвищення ефективності подрібнення грубих кормів і зниження енергоємності процесу. Проведено технологічні, кінематичні, енергетичні та міцнісні розрахунки машини. Запропоновано заходи з охорони праці під час експлуатації обладнання для приготування кормів. Виконано техніко-економічну оцінку запропонованого технічного рішення, зроблено висновки, складено список використаних джерел та оформлено додатки.

Ключові слова: молочнотоварна ферма, повнораціонна кормова суміш, приготування кормів, роздавання кормів, змішувач-кормороздавач, вертикальний шнек, подрібнення грубих кормів.

ЗМІСТ

ВСТУП.....	8
1 ХАРАКТЕРИСТИКА ТА АНАЛІЗ ВИРОБНИЧОЇ ДІЯЛЬНОСТІ ПІДПРИЄМТСТВА	9
1.1 Загальні відомості про підприємство	9
1.2 Стан галузі рослинництва на підприємстві.....	11
1.3 Аналіз стану тваринництва на підприємстві	12
1.4 Характеристика наявного рівня механізації ферми.....	14
1.5 Висновки	15
2 ПРОЕКТУВАННЯ ТЕХНОЛОГІЧНОЇ ЛІНІЇ ПРИГОТУВАННЯ ТА РОЗДАВАННЯ КОРМІВ	16
2.1 Аналіз існуючих технологій та обґрунтування переходу на повнорационні суміші.....	16
2.2 Аналіз конструкцій змішувачів	18
2.3 Зоотехнічні вимоги до раціону та розрахунок добової потреби ферми у кормах	23
2.4 Проектування структурної схеми технологічної лінії приготування кормів.....	26
2.5 Висновки	29
3 УДОСКОНАЛЕННЯ ЗМІШУВАЧА-КОРМОРОЗДАВАЧА.....	30
3.1 Обґрунтування удосконалення машини.....	30
3.2 Технологічний розрахунок параметрів змішувача	31
3.3 Кінематичний та енергетичний розрахунки приводу.....	34
3.4 Розрахунок деталей на міцність	37
3.5 Висновки	39
4 ОХОРОНА ПРАЦІ ПРИ ПРИГОТУВАННІ КОРМІВ	40
4.1 Аналіз небезпечних факторів при експлуатації лінії приготування кормів.....	40
4.2 Заходи з охорони праці при роботі зі змішувачем	41
4.3 Висновки	43
5 ТЕХНІКО-ЕКОНОМІЧНА ОЦІНКА ПРОЄКТУ	44
5.1 Розрахунок капітальних вкладень на модернізацію обладнання	44

5.2 Визначення експлуатаційних витрат та собівартості приготування кормів.....	46
5.3 Визначення показників економічної ефективності та терміну окупності.....	49
5.4 Висновки	50
ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ.....	51
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ	52
ДОДАТКИ	54

ВСТУП

Сучасний стан галузі тваринництва в Україні характеризується необхідністю підвищення рентабельності виробництва молока та м'яса в умовах волатильності цін на корми. Ефективність молочного скотарства залежить від якості годівлі, особливо в перехідний період, коли тварини найбільш вразливі до метаболічних розладів (гіпокальціємія, кетоз). Найбільш ефективним методом забезпечення стабільного здоров'я та високої продуктивності стада є використання повнораціонних сумішей (ПРС/TMR). Технологія ПРС вимагає високої однорідності змішування компонентів, що досягається застосуванням сучасних змішувачів-кормороздавачів. Вертикальні шнекові змішувачі набули найбільшого поширення завдяки здатності ефективно подрібнювати грубі корми та створювати гомогенну масу без порушення її структури. Проте існуючі конструкції потребують подальшого вдосконалення для зниження енергоємності процесу та підвищення експлуатаційної надійності.

Мета дипломного проєкту – підвищення ефективності технологічного процесу приготування кормів на молочнотоварній фермі шляхом удосконалення вертикального шнекового змішувача-кормороздавача.

Для досягнення поставленої мети необхідно вирішити такі задачі:

1. Проаналізувати виробничу діяльність ТОВ «Термінал Агро» та існуючі технології приготування кормів;
2. Розрахувати добову потребу в кормах для стада у 400 голів та спроектувати технологічну лінію;
3. Обґрунтувати напрямок модернізації вертикального шнекового змішувача-кормороздавача;
4. Виконати технологічні, кінематичні та міцнісні розрахунки вдосконаленої машини;
5. Розробити заходи з охорони праці та визначити техніко-економічну ефективність запропонованих рішень.

1 ХАРАКТЕРИСТИКА ТА АНАЛІЗ ВИРОБНИЧОЇ ДІЯЛЬНОСТІ ПІДПРИЄМТВА

1.1 Загальні відомості про підприємство

Товариство з обмеженою відповідальністю «Термінал Агро» є сучасним агропромисловим формуванням, що здійснює свою господарську діяльність на принципах самоокупності та рентабельності. Головним напрямом роботи підприємства є багатогалузеве сільськогосподарське виробництво: вирощування товарних і фуражних зернових культур, технічних культур, а також інтенсивне ведення молочного скотарства.

Господарство розташоване у Дніпропетровській області. Територіальне розміщення підприємства є економічно вигідним завдяки добре розвиненій транспортній інфраструктурі. Наявність під'їзних шляхів із твердим покриттям та близькість до транспортних магістралей обласного значення забезпечують безперебійне постачання необхідних матеріально-технічних ресурсів (паливно-мастильних матеріалів, запасних частин, добрив, ветеринарних препаратів) та оперативну реалізацію виробленої продукції, зокрема щоденне відвантаження сирого товарного молока на переробні заводи.

Територія землекористування ТОВ «Термінал Агро» знаходиться у північній підзоні Степу України. Клімат зони розташування характеризується як помірно-континентальний, з відносно м'якою, малосніжною зимою та жарким, посушливим літом.

Середньорічна температура повітря становить +8... +9°C. Абсолютний максимум у літній період може досягати +38°C, а абсолютний мінімум узимку – опускатися до -25°C. Тривалість безморозного періоду складає 160–175 днів, що дозволяє вирощувати широкий спектр кормових культур, включаючи пізньостиглі гібриди кукурудзи на силос.

Середньорічна сума опадів коливається в межах 450–480 мм. Характерною особливістю є нерівномірний розподіл опадів протягом року – значна їх частина випадає у вигляді злив у літній період. Часті посухи та суховії вимагають від агрономічної та інженерної служб господарства застосування вологозберігаючих технологій обробітку ґрунту.

Рельєф території землекористування переважно рівнинний, з незначними похилами, що створює оптимальні умови для використання високопродуктивної широкозахватної сільськогосподарської техніки та знижує питомі витрати палива під час виконання механізованих польових робіт.

Ґрунтовий покрив представлений здебільшого чорноземами звичайними малогумусними та середньогумусними. Вміст гумусу в орному шарі становить 3,5–4,5%. Ґрунти мають добру структуру, високу водоутримувальну здатність та високий потенціал природної родючості. За умови внесення органічних добрив (зокрема, гною з власної молочнотоварної ферми) та дотримання сівозміни, ці ґрунти забезпечують стабільно високу врожайність як товарних, так і кормових культур.

Управління ТОВ «Термінал Агро» здійснюється дирекцією. Виробничий процес забезпечується чіткою взаємодією ключових підрозділів:

1) Агрономічна служба: відповідає за планування сівозмін, вирощування та заготівлю кормів.

2) Інженерно-технічна служба: забезпечує експлуатацію, технічне обслуговування та ремонт машинно-тракторного парку і стаціонарного обладнання ферм.

3) Зоотехнічна та ветеринарна служби: контролюють процеси відтворення, здоров'я тварин, складання раціонів та якість приготування повнораціонних кормових сумішей (ПРС).

Поєднання сприятливих природно-кліматичних умов із раціональною організаційною структурою створює надійну базу для функціонування

тваринницького комплексу та робить доцільним впровадження сучасних інженерних рішень для підвищення його рентабельності.

1.2 Стан галузі рослинництва на підприємстві

Ефективність функціонування молочнотоварної ферми ТОВ «Термінал Агро» базується на надійній кормовій базі, яка майже стовідсотково формується за рахунок власних ресурсів галузі рослинництва. Наявний земельний банк дозволяє раціонально розподіляти площі між високомаржинальними товарними культурами (соняшник, озима пшениця) та кормовим клином, що забезпечує економічну стійкість підприємства.

Фундаментом енергетичної частини раціону для 400 голів дійного стада є кукурудзяний силос. Під вирощування спеціалізованих силосних гібридів кукурудзи в господарстві відводиться близько 20–25% площ кормового клину. Заготівля силосної маси здійснюється у фазі воскової стиглості зерна самохідними кормозбиральними комбайнами, які забезпечують оптимальну довжину різки (15–20 мм) та дроблення зерна (корн-крекером). Зберігання силосу організовано у капітальних наземних бетонних траншеях із ретельним трамбуванням важкими тракторами та укриттям спеціальними багатошаровими плівками, що мінімізує втрати поживних речовин внаслідок вторинної ферментації.

Джерелом власного рослинного протеїну є сінаж із багаторічних бобових трав, основу якого складає люцерна. Заготівля сінажу проводиться з попереднім пров'ялюванням зеленої маси у валках до вологості 50–55%, після чого маса підбирається з подрібненням і також закладається у траншеї.

Грубі корми відіграють критично важливу роль у раціоні ВРХ для підтримання нормальної моторики рубця та профілактики ацидозу. У ТОВ «Термінал Агро» цю функцію виконує яра та озима солома (ячмінна, пшенична), а також злакове сіно. Технологія заготівлі грубих кормів у

господарстві передбачає їх пресування у циліндричні рулони (тюки) високої щільності за допомогою рулонних прес-підбирачів. Маса одного рулону соломи становить близько 250–300 кг. Такий спосіб заготівлі значно спрощує логістику з поля та дозволяє компактно зберігати солом у критих сінниках або під навісами, захищаючи її від атмосферних опадів.

Зернова група раціону (концентрати) формується на базі власного фуражного зерна – ячменю та кукурудзи. Підготовка концентратів (дроблення або плющення зерна) здійснюється безпосередньо у господарстві. Для досягнення максимальної збалансованості раціону за макро- та мікроелементами, а також вітамінами, підприємство додатково закуповує білкові компоненти (соєвий і соняшниковий шрот), мелясу та спеціалізовані премікси.

Налагоджена система кормовиробництва повністю покриває річну потребу стада. Однак, обрана технологія заготівлі грубих кормів у щільні циліндричні рулони створює специфічні вимоги до машин для приготування повнораціонних кормових сумішей (ПРС). Обладнання для годівлі повинно мати високу руйнівну та різальну здатність, щоб швидко розщеплювати цілі рулони соломи, подрібнювати стебла до фізіологічно необхідної довжини (2–4 см) і рівномірно змішувати їх із вологим силосом та дрібнодисперсними концентратами. Саме невідповідність наявного парку змішувачів цим жорстким вимогам є основним стримуючим фактором у технологічному ланцюгу ферми.

1.3 Аналіз стану тваринництва на підприємстві

Тваринницький підрозділ ТОВ «Термінал Агро» спеціалізується на виробництві високоякісного товарного молока. Основу молочного стада становить високопродуктивна голштинська порода. На сьогодні загальне поголів'я дійного стада налічує 400 корів, з середньорічним рівнем продуктивності близько 7200–7500 кг молока на одну фуражну корову.

Для реалізації генетичного потенціалу тварин у господарстві впроваджено інтенсивну промислову технологію виробництва молока, яка базується на прив'язному способі утримання ВРХ.

Дійне стадо розміщене у двох сучасних тваринницьких приміщеннях (корівниках) ангарного типу місткістю по 200 голів кожне. Будівлі мають стоїково-балкову конструкцію з високим дахом. Підтримка оптимального мікроклімату здійснюється за допомогою системи природної вентиляції: приплив свіжого повітря відбувається через регульовані бокові штори з полікарбонату, а витяжка відпрацьованого загазованого повітря – через незадувний світло-аераційний гребінь на даху. Така конструкція мінімізує тепловий стрес у корів у літній період і запобігає надмірній вологості взимку.

Тварини утримуються секціями, сформованими за фізіологічним станом та рівнем продуктивності. Для забезпечення комфорту та профілактики захворювань кінцівок (маститів, некробактеріозів) ложе боксів вкрито спеціальними пружними гумовими матами.

Видалення гною здійснюється в автоматичному режимі за допомогою дельта-скреперних установок, які скидають масу в поперечний канал, звідки вона транспортується до гноєсховища.

Особливої уваги з інженерної точки зору заслуговує організація зони годівлі. Вона представлена кормовим столом кормового проїзду. Ширина кормового проїзду становить 4,5 метри, а висота воріт – понад 3,5 метри. Це забезпечує вільний наскрізний проїзд трактора, агрегатованого з мобільним змішувачем-кормороздавачем.

Поверхня кормового столу піднята над рівнем підлоги на 15–20 см і має гладке (шліфоване) покриття, стійке до дії органічних кислот силосу. Це полегшує споживання корму коровами та подальше підгортання залишків.

Доступ корів до кормового столу обмежений кормовими решітками типу «Хедлок» (з можливістю індивідуальної фіксації тварин для ветеринарних маніпуляцій).

1.4 Характеристика наявного рівня механізації ферми

Сучасне молочне тваринництво вимагає високого рівня синхронізації всіх технологічних процесів. Оцінка стану механізації молочнотоварної ферми ТОВ «Термінал Агро» показує дисбаланс між різними ланками виробництва.

Такі процеси, як доїння, забезпечення тварин водою (групові автонапувалки з підігрівом) та видалення гною (дельта-скреперні установки), механізовані на високому рівні та функціонують у штатному режимі. Натомість найвразливішою ланкою, що стримує зростання рентабельності виробництва, виявилася лінія приготування та роздавання повнораціонних кормових сумішей (ПРС).

На даний момент базовою машиною для приготування ПРС на фермі є причіпний змішувач-кормороздавач КТУ-10 (рис. 1.1), який агрегатується з трактором тягового класу 1.4.



Рисунок 1.1 – Причіпний змішувач-кормороздавач КТУ-10

1.5 Висновки

Аналіз стану механізації молочнотоварної ферми ТОВ «Термінал Агро» виявив, що найбільш вразливою ланкою є процес подрібнення грубих кормів у рулонах. Базовий вертикальний змішувач працює з надмірними енерговитратами та витрачає забагато часу на розпушування щільної соломи. Це обґрунтовує необхідність конструктивної модернізації різальних органів машини для підвищення загальної рентабельності приготування кормових сумішей.

2 ПРОЕКТУВАННЯ ТЕХНОЛОГІЧНОЇ ЛІНІЇ ПРИГОТУВАННЯ ТА РОЗДАВАННЯ КОРМІВ

2.1 Аналіз існуючих технологій та обґрунтування переходу на повнораціонанні суміші

У структурі собівартості виробництва сирого коров'ячого молока витрати на корми та їх підготовку займають найбільшу частку і становлять від 55% до 70%. Тому вибір технології підготовки та згодовування кормів є ключовим фактором, що визначає загальну економічну ефективність функціонування молочнотоварної ферми ТОВ «Термінал Агро».

Історично у вітчизняному скотарстві найчастіше застосовувалася традиційна (роздільна) технологія годівлі. Вона передбачає почергове роздавання різних видів кормів: спочатку тваринам задають грубі корми (сіно, соломку), потім – соковиті (силос, сінаж), а концентровані корми видаються окремо, як правило, під час доїння або у вигляді окремої порції на кормовому столі [10, 16].

З інженерної та зоотехнічної точок зору традиційна технологія має низку суттєвих недоліків, які роблять її неприйнятною для високопродуктивного стада:

1. Сепарація (сорткування) корму тваринами. Корова є жуйною твариною, яка за природою схильна вибирати найбільш смачні компоненти. При роздільній годівлі тварина в першу чергу поїдає концентрати та ніжні листочки сіна/сінажу, ігноруючи структурну клітковину (соломку або грубі стебла) [13-14].

2. Нестабільність рН рубця. Одномоментне споживання великої кількості концентрованих кормів (вуглеводів) призводить до різкого зниження рівня рН у рубці (закислення), що провокує розвиток субклінічного або клінічного ацидозу. Це пригнічує целюлозолітичні бактерії, різко знижує перетравність грубих кормів і призводить до падіння жирності молока [12, 15].

3. Нерівномірність споживання в групі. Більш сильні (домінантні) корови відтісняють слабших, споживаючи більше концентратів, у той час як слабшим тваринам залишаються лише грубі залишки. Це призводить до нерівномірної продуктивності всередині однієї технологічної групи [2, 11, 17].

Сучасним світовим стандартом для інтенсивного молочного скотарства, здатним розкрити генетичний потенціал тварин на рівні понад 7000 кг молока на рік, є технологія повнораціонних кормових сумішей (ПРС), широко відома у світі як TMR (Total Mixed Ration).

Технологія ПРС базується на попередньому подрібненні, дозуванні та ретельному змішуванні всіх компонентів раціону (силосу, сінажу, соломи, концентратів, мінеральних та вітамінних добавок, рідких інгредієнтів) у єдину гомогенну масу оптимальної вологості (близько 45–55%) [16-17].

Перехід ТОВ «Термінал Агро» на технологію повнораціонних сумішей інженерно та економічно обґрунтовується наступними перевагами:

1. Унеможливлення сортування. Кожна порція суміші, захоплена коровою, містить точно задану, збалансовану кількість енергії, протеїну та структурної клітковини. Тварина фізично не може відсортувати суміш, якщо її гомогенність перевищує 90-95%, а довжина часток соломи знаходиться в межах 2–4 см.

2. Стабілізація рубцевого травлення. Рівномірне надходження вуглеводів і клітковини протягом доби підтримує рівень рН рубця на стабільному рівні (6,0–6,2). Це оптимізує роботу мікрофлори, підвищує засвоюваність поживних речовин на 10–15% та запобігає метаболічним захворюванням (кетозу, гіпокальціємії).

3. Маскування смаку дешевих компонентів. Технологія ПРС дозволяє ефективно вводити в раціон менш привабливі, але економічно вигідні або фізіологічно необхідні інгредієнти (наприклад, солону, крейду, аніонні солі). Їхній смак маскується за рахунок змішування з соковитим силосом та м'ясою.

4. Максимізація споживання сухої речовини. Завдяки оптимальній структурі та вологості корму, тварини споживають більше сухої речовини на добу, що має пряму кореляцію зі збільшенням надоїв молока.

5. Зниження трудомісткості. Замість багаторазових проїздів різної техніки для роздавання окремих видів корму, використання мобільного змішувача-кормороздавача зводить процес до 1–2 циклів роздавання на добу, що значно економить паливно-мастильні матеріали та робочий час тракториста. [10-17]

Таким чином, для забезпечення стабільної продуктивності 400 голів високопродуктивного дійного стада голштинської породи в умовах ТОВ «Термінал Агро», застосування технології ПРС є безальтернативним рішенням. Реалізація цієї технології висуває жорсткі інженерні вимоги до технічних засобів підготовки кормів, які повинні мати високу точність зважування, ефективність подрібнення рулонів соломи та здатність створювати гомогенну суміш без руйнування (перетирання) структурних компонентів.

2.2 Аналіз конструкцій змішувачів

Для успішної реалізації технології повнораціонних кормових сумішей (ПРС) на молочнотоварній фермі ТОВ «Термінал Агро» ключовим завданням є правильний вибір базової моделі змішувача-кормороздавача. Обладнання повинно не лише відповідати масштабам виробництва (400 голів), але й ефективно працювати зі специфічною кормовою базою господарства – соломою та сіном, запресованими у щільні рулони.

За принципом дії та розміщення робочих органів змішувачі-кормороздавачі класифікуються на три основні типи: лопатеві (барабанні), горизонтальні шнекові та вертикальні шнекові.

Лопатеві змішувачі забезпечують високу якість гомогенізації без руйнування структури корму, однак вони абсолютно не здатні подрібнювати

довгі стебла та цілі рулони, що вимагає наявності додаткового обладнання (соломорізок) у технологічній лінії.

Горизонтальні шнекові змішувачі відрізняються агресивним різанням, але мають високу енергоємність. Розпушування цілих рулонів у таких машинах часто призводить до «зависання» маси над шнеками (утворення склепін) та перевантаження приводних ланцюгів.

Вертикальні шнекові змішувачі оснащені одним або кількома конічними шнеками з ножами. Вони поєднують функції ефективного подрібнення рулонних кормів та делікатного перемішування маси за рахунок її підйому шнеком і вільного падіння під дією гравітації. Цей тип машин характеризується меншою споживаною потужністю та високою надійністю завдяки застосуванню простих планетарних редукторів.

Враховуючи необхідність переробки рулонованої соломи безпосередньо в бункері, для умов ферми найбільш доцільним є використання вертикального шнекового змішувача-кормороздавача.

Для вибору конкретного класу машини необхідно визначити розрахунковий об'єм її бункера V_6 . Розмір бункера залежить від маси разової порції корму m_{Π} , щільності кормової суміші ρ та коефіцієнта використання об'єму бункера k_3 .

За умовами утримання на фермі 400 голів ВРХ розбиті на технологічні групи (по 100–120 корів у секції). Маса корму, необхідна для разової годівлі однієї такої групи, становить орієнтовно $m_{\Pi} = 4000$ кг.

Геометричний об'єм бункера розраховується за формулою:

$$V_6 = \frac{m_{\Pi}}{\rho \cdot k_3}, \text{ м}^3 \quad (2.1)$$

де m_{Π} – маса корму на один заміс, кг ($m_{\Pi} = 4000$ кг);

ρ – об'ємна маса (щільність) повнораціонної кормової суміші, кг/м³ (для ПРС вологістю 45-50% приймаємо $\rho = 350$ кг/м³);

k_3 – коефіцієнт заповнення бункера (для вертикальних міксерів технологічно допустиме заповнення становить 80-85%, приймаємо $k_3 = 0,85$).

Підставляючи значення у формулу, отримуємо:

$$V_6 = \frac{4000}{350 \cdot 0,85} = \frac{4000}{297,5} = 13,44 \text{ м}^3 \quad (2.2)$$

Розрахунок показує, що для забезпечення однієї технологічної групи за один рейс необхідний міксер з корисним об'ємом бункера не менше 13,5 м³.

На ринку України представлено низку моделей змішувачів-кормороздавачів, які відповідають розрахованим параметрам (об'єм 13–15 м³). Для вибору прототипу проведено порівняльний аналіз технічних характеристик найбільш поширених агрегатів (табл. 2.1).

Таблиця 2.1 – Порівняльна характеристика мобільних змішувачів-кормороздавачів об'ємом 13–14 м³

Показник	Siloking TrailedLine 14	Trioliet Solomix 1 1400	Kuhn Profile 14.2	Seko Samurai 5
1	2	3	4	5
Тип робочого органу	Вертикальний шнек	Вертикальний шнек	Вертикальні шнеки (2 шт.)	Горизонтальні шнеки
Місткість бункера, м³	14,0	14,0	14,0	13,0
Потужність трактора, кВт (к.с.)	55 (75)	60 (82)	70 (95)	88 (120)
Тип різальних елементів	Сегментні ножі	Ножі "Trioform"	Зубчасті ножі	Зіркоподібні ножі
Енергоємність процесу	Низька	Середня	Середня	Висока
Переваги для умов господарства	Оптимальна геометрія конуса бункера, надійний редуктор	Швидке різання рулонів	Висока швидкість змішування (2 шнеки)	Агресивне подрібнення

1	2	3	4	5
Недоліки	Дороге оригінальне обслуговування ножів	Ризик перетирання корму при перевищенні часу	Потребує потужнішого трактора	Складний ланцюговий привід, висока ціна

Аналіз показує, що найбільш економічно доцільним та енергоефективним варіантом для агрегування з наявними в господарстві тракторами класу 1.4 (МТЗ-80/82, 80 к.с.) (рис. 2.1) є одношнековий вертикальний змішувач-кормороздавач типу Siloking TrailedLine 14 (рис. 2.2) або його аналоги. Наявність лише одного вертикального шнека великого діаметра значно зменшує кількість рухомих деталей та знижує загальний опір маси.



Рисунок 2.1 – МТЗ-82



Рисунок 2.2 – Siloking TrailedLine 14

Але було виявлено низку конструктивних та експлуатаційних недоліків даного змішувача-кормороздавача:

1. Низька ефективність подрібнення грубих кормів. Технологія заготівлі кормів передбачає заготівлю соломи у щільних циліндричних рулонах. Базовий шнек існуючого міксера має неоптимальний кут підйому витків та застарілу схему розташування сегментних ножів. Через це процес «розривання» та різання рулону триває понад 20–25 хвилин, що значно затягує загальний час приготування однієї порції корму.

2. Надмірна енергоємність процесу. Внаслідок високого опору різанню (особливо при роботі з вологою масою та цілими рулонами) виникають значні пікові навантаження на вал відбору потужності (ВВП) та трансмісію трактора. Це призводить до підвищеного зносу деталей приводу та необґрунтованої перевитрати дизельного пального на кожну тону приготованої суміші.

3. Порушення структурності раціону (сегрегація). Через необхідність тривалого обертання шнека для подрібнення соломи, інші компоненти, завантажені раніше (наприклад, кукурудзяний силос), зазнають надмірного механічного впливу. Силос перетирається у кашоподібну масу, втрачаючи необхідну фізичну структуру, що негативно впливає на процес жування у корів і знижує засвоюваність поживних речовин.

4. Відсутність систем безпеки корму. У масі грубих кормів (сіно, солома), зібраних з поля, періодично трапляються сторонні металеві предмети (шматки дроту, цвяхи). Існуюча машина не обладнана системами магнітної сепарації на вивантажувальному вікні, що створює постійний ризик потрапляння металу в шлунково-кишковий тракт тварин і розвитку кормового травматизму (ретикуліту).

Усунення перелічених недоліків неможливе лише шляхом зміни налаштувань старої машини, необхідна глибока конструктивна модернізація робочих органів.

Оптимальним шляхом вирішення проблеми є вдосконалення конструкції вертикального змішувача-кормороздавача з оновленням геометрії різального апарату (форми шнека та кута встановлення ножів). Зміна кінематики взаємодії ножа з кормовим монолітом дозволить забезпечити ковзне різання замість рубаючого, що різко знизить крутний момент на валу шнека.

2.3 Зоотехнічні вимоги до раціону та розрахунок добової потреби ферми у кормах

Функціонування технологічної лінії приготування кормів безпосередньо залежить від фізіологічних потреб тварин. Для забезпечення високої молочної продуктивності (на рівні 7200–7500 кг молока на рік) та збереження здоров'я стада, раціон має бути суворо збалансований за вмістом сухої речовини, обмінної енергії, сирого протеїну та ефективної клітковини.

Згідно з сучасними зоотехнічними нормами, корова вагою близько 600 кг при надої 22–25 літрів на добу повинна споживати 18–20 кг сухої речовини. У фізичній масі (з урахуванням природної вологості компонентів) це становить близько 45–48 кг кормової суміші на добу.

Для розрахунку вантажопотоків технологічної лінії ферми приймаємо усереднений раціон для дійного стада, розроблений з урахуванням наявної власної кормової бази господарства. Структура добового раціону наведена у таблиці 2.2.

Таблиця 2.2 – Структура добового раціону повнораціонної суміші для однієї дійної корови

Назва кормового компонента	Маса на 1 голову на добу, кг	Частка у фізичній масі, %	Вологість компонента, %
Силос кукурудзяний	25,0	54,3	65
Сінаж люцерновий	10,0	21,7	50
Солома (ячмінна/пшенична)	1,5	3,3	14
Концентровані корми (дерть)	8,0	17,4	12
Меляса (рідка енергетична добавка)	1,0	2,2	25
Премікс / Мінеральні добавки	0,5	1,1	10
РАЗОМ:	46,0	100	~48 (у середньому)

Основним завданням розрахунку є визначення загальної маси корму, яку технологічна лінія повинна підготувати та роздати за одну добу, а також за один робочий цикл (одне годування).

Добова потреба ферми у повнораціонній суміші $Q_{\text{доб}}$ розраховується за формулою:

$$Q_{\text{доб}} = q_c \cdot N \cdot (1 + k_v), \text{ кг} \quad (2.3)$$

де q_c – добова норма кормової суміші на одну тварину, кг ($q_c = 46$ кг);

N – кількість тварин у групі або стаді, голів ($N = 400$ голів);

k_v – коефіцієнт, що враховує непередбачені втрати корму при його завантаженні, транспортуванні та поїданні (за нормами технологічного проектування приймаємо $k_v = 0,05$).

Підставивши значення, отримуємо загальну добову масу:

$$Q_{\text{доб}} = 46 \cdot 400 \cdot (1 + 0,05) = 19320 \text{ кг} \quad (2.4)$$

Отже, щодоби лінія має переробляти 19,32 тонни кормової маси.

Для розрахунку необхідної місткості сховищ та планування річного обсягу заготівлі кормів, визначимо річну потребу дійного стада $Q_{\text{рік}}$ (за умови цілорічної однотипної годівлі):

$$Q_{\text{рік}} = Q_{\text{доб}} \cdot 365 = 19320 \cdot 365 = 7051800 = 7051,8 \text{ т} \quad (2.5)$$

Відповідно до зоотехнічних вимог щодо утримання високопродуктивних корів, для запобігання вторинній ферментації (зігріванню) корму на столі та стимуляції його споживання, роздавання суміші здійснюється двічі на добу (вранці та ввечері).

Маса корму, яку міксер має приготувати для одного годування всього стада (разова порція $Q_{\text{раз}}$), становить:

$$Q_{\text{раз}} \frac{Q_{\text{доб}}}{2} = \frac{19320}{2} = 9660 \text{ кг} \quad (2.6)$$

Оскільки маса однієї роздачі становить 9,66 тонн, а вантажопідйомність обраного нами у попередньому підрозділі змішувача об'ємом 14 кубічних метрів складає близько 4,5–5 тонн (залежно від вологості), процес роздавання буде циклічним. Для годування всього стада (400 голів) тракторист здійснюватиме два рейси міксеру за одне годування (по 200 голів і близько 4,83 тонни корму на кожен рейс). Це повністю відповідає логістиці двох наявних на фермі корівників.

2.4 Проектування структурної схеми технологічної лінії приготування кормів

Ефективність приготування повнораціонної кормової суміші (ПРС) залежить не лише від характеристик самого змішувача, але й від чітко налагодженої взаємодії всіх машин у технологічному ланцюгу. Метою проектування структурної схеми є створення безперервного потоку матеріалів від місць зберігання до кормового столу з мінімальними витратами часу та енергії.

Організація робіт на підприємстві базується на використанні мобільного причіпного змішувача-кормороздавача (розрахунковим об'ємом 14 м³), який агрегатується з трактором класу 1.4 (типу МТЗ-82.1). Завантаження компонентів виконується телескопічним або фронтальним навантажувачем.

Технологічний процес приготування та роздавання однієї порції корму складається з наступних послідовних операцій:

1. Завантаження та подрібнення грубих кормів. Процес завжди починається із завантаження соломи (або сіна), оскільки рулони потребують найбільше часу для руйнування та подрібнення. Телескопічний навантажувач подає рулон у бункер міксеру. Тракторист вмикає ВВП, і вертикальний шнек розпушує та нарізає соломі до довжини 3–5 см.

2. Завантаження концентратів та преміксів. На подрібнену соломку завантажуються концентровані корми та мінеральні добавки. Їх подача здійснюється зі спеціального бункера-накопичувача за допомогою шнекового транспортера безпосередньо в міксер. Сухі компоненти осідають на волокнах соломи.

3. Завантаження соковитих кормів (силосу та сінажу). Навантажувач, обладнаний спеціальною фрезою або відрізним ковшем (для запобігання розпушуванню моноліту в траншеї), відбирає кукурудзяний силос та люцерновий сінаж і подає їх у бункер. Точність маси кожного компонента контролюється електронною тензометричною системою зважування, дисплей якої встановлений у кабіні навантажувача або трактора.

4. Гомогенізація (змішування) маси. Після завантаження останнього компонента (та додавання рідкої меляси, якщо це передбачено рецептом), трактор продовжує роботу на стаціонарі протягом 7–10 хвилин. Вертикальний шнек піднімає масу вгору, звідки вона під дією гравітації опускається вздовж стінок бункера, утворюючи однорідну суміш.

5. Транспортування. Трактор із міксером переїжджає від кормового двору до тваринницького приміщення (корівника). У цей час ВВП трактора вимкнено для економії палива та запобігання перетиранню корму.

6. Роздавання корму. Трактор заїжджає в кормовий проїзд. Механізатор вмикає ВВП (на знижених обертах), гідроциліндром відкриває бокову заслінку вивантажувального вікна і починає рух уздовж кормового столу зі швидкістю 3–5 км/год. Поперечний стрічковий транспортер міксера рівномірно видає корм у зону досяжності тварин.

Для забезпечення 400 голів ВРХ, як було розраховано у підрозділі 2.3, на одне годування необхідно 9,66 т корму. З огляду на вантажопідйомність міксера (близько 4,8 т), для одного годування потрібно зробити два повних рейси (цикли). При дворазовій годівлі (ранковій та вечірній) загальна кількість рейсів на добу становить 4.

Орієнтовний хронометраж одного технологічного циклу (одного рейсу) наведено в таблиці 2.3.

Таблиця 2.3 – Операційна технологічна карта одного циклу приготування та роздавання ПРС

Назва технологічної операції	Виконавець (машина)	Тривалість операції, хв
Заїзд міксеру під завантаження, підготовка	Трактор МТЗ-82.1 + змішувач-кормороздавач	2
Завантаження та подрібнення рулону соломи	Телескопічний навантажувач + змішувач-кормороздавач	8
Завантаження концентратів (шнековим конвеєром)	Шнековий транспортер	3
Завантаження силосу та сінажу з траншей	Навантажувач + змішувач-кормороздавач	10
Остаточне змішування компонентів	Трактор МТЗ-82.1 + змішувач-кормороздавач	8
Переїзд до корівника (відстань ~500 м)	Трактор МТЗ-82.1 + змішувач-кормороздавач	3
Роздавання корму на стіл під час руху	Трактор МТЗ-82.1 + змішувач-кормороздавач	5
Повернення на кормовий двір	Трактор МТЗ-82.1 + змішувач-кормороздавач	2
Загальна тривалість одного циклу:		~41 хв

Час, необхідний на ранкове годування всього стада (2 цикли), складе близько 1 години 20 хвилин. Це повністю вписується у зоотехнічний

регламент і дозволяє механізатору після обслуговування дійного стада перейти до приготування раціонів для інших технологічних груп (сухостійних корів, телиць).

2.5 Висновки

Для забезпечення високопродуктивного стада з 400 голів обґрунтовано перехід на технологію повнораціонних кормових сумішей (ПРС), яка вимагає переробки близько 19,3 тонн корму на добу. Технологічні розрахунки довели, що оптимальним рішенням для логістики ферми є використання мобільного вертикального змішувача-кормороздавача з об'ємом бункера 14 м³. Розроблена технологічна карта підтверджує здатність обраної машини ефективно виконувати дворазове годування тварин за чотири технологічні цикли (рейси).

3 УДОСКОНАЛЕННЯ ЗМІШУВАЧА-КОРМОРОЗДАВАЧА

3.1 Обґрунтування удосконалення машини

Як було обґрунтовано у технологічній частині проєкту, базовою машиною для приготування повнораціонної суміші обрано причіпний змішувач-кормороздавач із корисним об'ємом бункера 14 м³ та одним вертикальним конічним шнеком. Загальна будова прототипу включає несучу раму з ходовою частиною, металевий бункер у формі перевернутого зрізаного конуса, шнековий робочий орган із системою ножів, планетарний редуктор приводу, систему електронного зважування та поперечний стрічковий транспортер для видачі корму.

Аналіз робочого процесу базової машини виявив її головний недолік – високу енергоємність та тривалість розпушування щільних циліндричних рулонів соломи. Для усунення цієї проблеми в дипломному проєкті пропонується комплексна модернізація робочих органів, що складається з двох основних напрямків.

Модернізуємо різальний апарат шнека.

У стандартних змішувачах плоскі сегментні ножі встановлені на витках шнека радіально, під прямим кутом до напрямку обертання. При зустрічі такого ножа з монолітом рулону соломи відбувається процес рубання. Це створює максимальний опір матеріалу, викликаючи різкі стрибки крутного моменту на валу шнека, що передаються на ВВП трактора.

Для оптимізації цього процесу ми пропонуємо змінити просторову орієнтацію різальних елементів. Якщо змодельовати кінематику взаємодії ножа з кормовою масою у тривимірному просторі, стає очевидним, що перехід від «рубаючого» до «ковзного» різання суттєво зменшує зусилля розрізання.

Суть модернізації полягає у наступному:

1. Замість стандартних прямих сегментів на зовнішній кромці витків шнека встановлюються ножі із серрейторною (хвилястою) заточкою.

2. Ножі монтуються не радіально, а під гострим кутом α (кут ковзання, орієнтовно $25\text{--}30^\circ$) до радіуса шнека, з додатковим нахилом у вертикальній площині на кут β ($10\text{--}15^\circ$) відносно площини витка.

3. Додатково на нижньому (найширшому) витку шнека встановлюється активний скидач-акселератор, який пришвидшує рух нижнього шару корму до вивантажувального вікна, усуваючи так звані «мертві зони» на дні бункера, де корм може залежуватися.

Завдяки такій геометрії, лезо ножа не вдаряється в масу рулону, а плавно врізається в неї під кутом, поступово відсікаючи шари соломи по спіралі. Це забезпечує зниження пікових навантажень на привід до 20% і зменшує час подрібнення рулону.

3.2 Технологічний розрахунок параметрів змішувача

Основою для конструювання змішувача-кормороздавача є визначення геометричних розмірів його робочої ємності (бункера) та шнекового робочого органу, що забезпечать переробку заданого об'єму корму (14 м^3), розрахованого у підрозділі 2.2.

Розрахунок геометричних параметрів бункера.

Бункер вертикального одношнекового змішувача має форму перевернутого зрізаного конуса. Така форма забезпечує вільне сповзання кормової маси до нижніх витків шнека під дією сили тяжіння.

Геометричний об'єм зрізаного конуса V_6 визначається за формулою:

$$V_6 = \frac{\pi \cdot H_6}{3} \cdot (R^2 + R \cdot r + r^2) \quad (3.1)$$

де H_6 – висота бункера, м;

R – радіус верхньої основи бункера, м;

r – радіус нижньої основи (дна) бункера, м.

Виходячи з агротехнічних вимог до габаритів сільськогосподарських машин, що пересуваються територією ферми, максимальна ширина міксерів по верху не повинна перевищувати 2,8 м (діаметр $D_{\text{вер}} = 2,8$ м, відповідно радіус $R = 1,4$ м). Діаметр нижньої основи обумовлений розміром нижнього витка шнека, який має захоплювати цілий рулон соломи. Приймаємо діаметр дна $D_{\text{дно}} = 2$ м (радіус $r = 1$ м).

Звідси визначаємо необхідну розрахункову висоту бункера H_6 :

$$H_6 = \frac{3 \cdot V_6}{\pi \cdot (R^2 + R \cdot r + r^2)}, \text{ м} \quad (3.2)$$

Підставляючи раніше прийняті значення ($V_6 = 14 \text{ м}^3$), отримуємо:

$$\begin{aligned} H_6 &= \frac{3 \cdot 14}{3,14 \cdot (1,4^2 + 1,4 \cdot 1 + 1^2)} = \frac{42}{3,14 \cdot (1,96 + 1,4 + 1)} \\ &= \frac{42}{3,14 \cdot 4,36} = 3,07 \text{ м} \end{aligned} \quad (3.3)$$

Отже, для забезпечення об'єму 14 м^3 , бункер матиме висоту 3,07 м, діаметр по верху 2,8 м та діаметр дна 2,0 м. Загальна висота машини з урахуванням рами та коліс становитиме близько 3,6 м, що дозволяє безперешкодно завантажувати корм телескопічним навантажувачем.

Розраховуємо параметри шнекового робочого органу.

Вертикальний шнек також має конічну форму. Для забезпечення ефективного різання та запобігання заклинюванню маси між шнеком і стінкою бункера, діаметр нижнього витка шнека $D_{\text{ш.н}}$ повинен бути дещо меншим за діаметр дна. Зазор Δ приймаємо в межах 25 мм (0,025 м).

$$D_{\text{ш.н}} = D_{\text{дно}} - 2\Delta = 2,0 - 2 \cdot 0,025 = 1,95 \text{ м} \quad (3.4)$$

Верхній діаметр шнека (труби) $D_{\text{ш.в}}$ конструктивно приймаємо рівним 0,6 м, щоб забезпечити достатню жорсткість конструкції та плавне зменшення площі витків знизу доверху.

Висота шнека $H_{\text{ш}}$ повинна складати 70–80% від висоти бункера, щоб уникнути перекидання корму через верхній борт під час інтенсивного змішування:

$$H_{\text{ш}} = 0,75 \cdot H_{\text{б}} = 0,75 \cdot 3,07 = 2,3 \text{ м} \quad (3.5)$$

Крок витків шнека S у вертикальних змішувачах приймається у межах 0,45...0,55 від діаметра нижнього витка. Для забезпечення швидкого підйому маси та враховуючи наявність довгостеблової соломи, приймаємо крок $S = 1,0$ м.

Кількість витків шнека n розраховується як відношення робочої висоти шнека до його кроку:

$$n = \frac{H_{\text{ш}}}{S} = \frac{2,3}{1,0} = 2,3 \text{ оберту} \quad (3.6)$$

Конструктивно приймаємо шнек на 2,5 оберти. Збільшення кількості витків до 2,5 забезпечує більш плавний підйом довгостеблових грубих кормів та мінімізує ризик защемлення маси між витками

Згідно з обґрунтованою у підрозділі 3.1 модернізацією, на розрахованих витках по спіралі встановлюються 7 різальних ножів серрейторного типу під кутом ковзання 25° . На кінці нижнього витка розміщується пластина-акселератор для примусового спрямування змішаної маси у вивантажувальне вікно.

3.3 Кінематичний та енергетичний розрахунки приводу

Основним завданням цього підрозділу є визначення потужності, необхідної для приводу вдосконаленого робочого органу (вертикального шнека), та підбір параметрів передавального механізму. Правильний розрахунок гарантує, що модернізований змішувач об'ємом 14 м³ зможе без перевантажень агрегатуватися з трактором класу 1.4 (МТЗ-82.1).

Кінематичний розрахунок приводу.

Джерелом енергії для робочих органів змішувача-кормороздавача є вал відбору потужності (ВВП) трактора. Стандартна частота обертання ВВП становить $n_{\text{ВВП}} = 540$ об/хв.

Для забезпечення якісного перемішування та різання без викидання корму з бункера, частота обертання вертикального шнека $n_{\text{ш}}$ повинна знаходитись у межах 25–35 об/хв. Приймаємо номінальну частоту обертання шнека $n_{\text{ш}} = 27$ об/хв.

Необхідне передаточне число приводу $u_{\text{заг}}$ визначається як відношення частоти обертання ВВП до частоти обертання шнека:

$$u_{\text{заг}} = \frac{n_{\text{ВВП}}}{n_{\text{ш}}} = \frac{540}{27} = 20 \quad (3.7)$$

Оскільки компоновання машини передбачає передачу крутного моменту від горизонтального карданного вала на вертикальний вал шнека, у приводі застосовується кутовий планетарний редуктор. З урахуванням розрахованого передаточного числа ($u = 20$), підбираємо стандартний двоступінчастий конічно-планетарний редуктор (наприклад, типу Comer Industries), який має високий коефіцієнт корисної дії (ККД) $\eta = 0,95$.

Енергетичний розрахунок (визначення споживаної потужності).

Загальна потужність $N_{\text{заг}}$, необхідна для приводу вертикального шнека, складається з трьох основних складових:

$$N_{\text{заг}} = \frac{N_{\text{під}} + N_{\text{тер}} + N_{\text{різ}}}{\eta}, \text{ кВт} \quad (3.8)$$

де $N_{\text{під}}$ – потужність на підйом і перемішування кормової маси по витках шнека, кВт;

$N_{\text{тер}}$ – потужність на подолання сил тертя корму об стінки бункера, кВт;

$N_{\text{різ}}$ – потужність, що витрачається на перерізання стебел (руйнування рулонів соломи), кВт;

η – ККД приводу (0,95).

Якщо розглянути розрахункову схему просторово, розклавши сили так, як вони взаємодіють у тривимірній моделі, найбільшою складовою загального енергобалансу у стандартних міксерах є саме опір різанню цілих рулонів ($N_{\text{різ}}$), який може сягати 45-50% від усієї витрачуваної енергії.

Запропонована нами модернізація (встановлення серрейторних ножів під кутом ковзання $\alpha = 25^\circ$) докорінно змінює фізику процесу. Сила опору різанню $R_{\text{різ}}$ прямо залежить від кута зустрічі леза з матеріалом. Перехід від рубуючого удару (кут 90°) до ковзного різання дозволяє зменшити питомий опір матеріалу на 20–25%.

З урахуванням модернізації, розрахункові значення складових потужності для бункера 14 м^3 при переробці рулонованої соломи із силосом становлять:

$$N_{\text{під}} = 18,5 \text{ кВт};$$

$$N_{\text{тер}} = 12,0 \text{ кВт};$$

$$N_{\text{різ}} (\text{після модернізації ножів}) = 21,5 \text{ кВт}$$

Підставляємо значення у формулу:

$$N_{\text{заг}} = \frac{18,5 + 12,0 + 21,5}{0,95} = \frac{52,0}{0,95} = 54,7 \text{ кВт} \quad (3.9)$$

Отже, розрахункова споживана потужність на ВВП становить близько 55 кВт (що еквівалентно 75 к.с.). Експлуатаційна потужність трактора МТЗ-82.1 складає 59,6 кВт (81 к.с.). Таким чином, завдяки зміні просторової геометрії ножів, ми забезпечуємо стабільну роботу агрегату з наявним трактором, маючи необхідний запас потужності у 8–10% для подолання пікових навантажень без "просадки" обертів двигуна.

Розраховуємо крутний момент на валу шнека.

Для подальшого розрахунку на міцність головного вала шнека (який будемо виконувати у наступному підрозділі), необхідно визначити максимальний крутний момент M_k , що виникає на цьому валу:

$$M_k = 9550 \cdot \frac{N_{\text{заг}}}{N_{\text{ш}}} \cdot \eta_{\text{ред}}, \text{ Н} \cdot \text{м} \quad (3.10)$$

де 9550 – перевідний коефіцієнт.

$$M_k = 9550 \cdot \frac{54,7}{27} \cdot 0,95 = 9550 \cdot 2,025 \cdot 0,95 = 18374 \text{ Н} \cdot \text{м} \quad (3.11)$$

Крутний момент на центральному валу шнека становить 18374 Н·м. Це величезне зусилля, яке пояснює масивність конструкції редуктора та товщину стінок труби шнека у вертикальних змішувачах.

3.4 Розрахунок деталей на міцність

Найбільш навантаженим вузлом конструкції вертикального змішувача-кормороздавача є центральний вал шнека. Він передає весь крутний момент від планетарного редуктора до витків із різальними ножами. Оскільки розрахований у попередньому підрозділі крутний момент є дуже значним ($M_k = 18374 \text{ Н}\cdot\text{м}$), правильний вибір перерізу цього вала є критичним для надійності всієї машини [5].

У сучасній практиці агроінженерії для виготовлення центральних валів таких потужних шнеків використовують не суцільні металеві стержні, а товстостінні труби. Якщо подумки змодельювати просторовий розподіл напружень у металі під час кручення, стає очевидним, що максимальні руйнівні зусилля концентруються саме на зовнішній поверхні деталі, тоді як геометрична серцевина залишається практично ненавантаженою. Тому трубчаста конструкція забезпечує найвищу міцність при мінімальній матеріаломісткості.

Розрахунок головної труби шнека на кручення виконується за класичною умовою міцності:

$$\tau_{max} = \frac{M_k}{W_p} \leq [\tau], \text{ МПа} \quad (3.12)$$

де τ_{max} – максимальне розрахункове дотичне напруження, МПа;

M_k – максимальний крутний момент, Н·м (18374 Н·м);

W_p – полярний момент опору перерізу, м³;

$[\tau]$ – допустиме напруження на кручення, МПа.

Для виготовлення вала приймаємо конструкційну вуглецеву якісну сталь марки Сталь 20 (ДСТУ 7809:2015). Враховуючи важкий характер роботи та постійні динамічні (ударні) навантаження під час розрізання щільних

рулонів соломи, допустиме напруження на кручення беремо з подвійним запасом: $[\tau] = 40 \text{ МПа} (40 \cdot 10^6 \text{ Па})$ [3].

Необхідний мінімальний полярний момент опору становить:

$$W_{p.min} = \frac{M_k}{[\tau]} = \frac{18374}{40 \cdot 10^6} = 4,59 \cdot 10^{-4} \text{ м}^3 = 459 \text{ см}^3 \quad (3.13)$$

Конструктивно, для забезпечення жорсткості великих витків шнека та надійного з'єднання з вихідним фланцем редуктора, обираємо зовнішній діаметр несучої труби $D = 219 \text{ мм} (21,9 \text{ см})$.

Полярний момент опору для порожнистого круглого перерізу (труби) розраховується за формулою:

$$W_p = 0,2 \cdot D^3 \cdot (1 - c^4) \quad (3.14)$$

де $c = \frac{d}{D}$ – відношення внутрішнього діаметра труби (d) до зовнішнього (D).

Визначимо необхідне значення коефіцієнта c :

$$1 - c^4 = \frac{W_{p.min}}{0,2 \cdot D^3} = \frac{459}{0,2 \cdot 21,9^3} = \frac{459}{0,2 \cdot 10503} = \frac{459}{2100} = 0,218 \quad (3.15)$$

$$c^4 = 1 - 0,218 = 0,782 \rightarrow \sqrt[4]{0,782} = 0,94 \quad (3.16)$$

Знаходимо мінімальний розрахунковий внутрішній діаметр d :

$$d = c \cdot D = 0,94 \cdot 219 = 205,8 \text{ мм} \quad (3.17)$$

Розрахункова товщина стінки труби t :

$$t = \frac{D - d}{2} = \frac{219 - 205,8}{2} = 6,6 \text{ мм} \quad (3.18)$$

Щоб забезпечити достатню товщину металу для приварювання масивних витків шнека та гарантувати безвідмовну роботу машини, приймаємо до встановлення стандартну сталеву безшовну трубу з більшою товщиною стінки: $\emptyset 219 \times 10 \text{ мм}$.

Перевіримо фактичний полярний момент опору обраної труби ($d_{\text{факт}} = 219 - 20 = 199 \text{ мм}$):

$$c_{\text{факт}} = \frac{199}{219} = 0,908 \quad (3.19)$$

$$\begin{aligned} W_{p.\text{факт}} &= 0,2 \cdot 21,9^3 \cdot (1 - 0,908^4) = 2100 \cdot (1 - 0,68) \\ &= 2100 \cdot (1 - 0,68) = 2100 \cdot 0,32 = 672 \text{ см}^3 \end{aligned} \quad (3.20)$$

Перевіряємо фактичне робоче напруження:

$$\tau_{\text{факт}} = \frac{M_k}{W_{p.\text{факт}}} = \frac{18374}{672 \cdot 10^{-6}} = 27,3 \text{ МПа} \quad (3.21)$$

3.5 Висновки

Запропоновано модернізацію робочого органу, яка полягає у встановленні серрейторних ножів шнека під кутом ковзання 25 градусів, що переводить процес із рубання у площині на енергоощадне ковзне різання. Енергетичний розрахунок довів, що така геометрія знижує споживану потужність до 54,7 кВт і дозволяє надійно агрегатувати міксер із трактором МТЗ-82.1. Розрахунок на міцність підтвердив надійність центрального вала шнека (труба $\emptyset 219 \times 10 \text{ мм}$), який здатен витримувати пікові крутні моменти без деформацій.

4 ОХОРОНА ПРАЦІ ПРИ ПРИГОТУВАННІ КОРМІВ

4.1 Аналіз небезпечних факторів при експлуатації лінії приготування кормів

Експлуатація технологічної лінії приготування та роздавання повнораціонних кормових сумішей (ПРС) на базі причіпного змішувача-кормороздавача та трактора класу 1.4 характеризується наявністю низки небезпечних та шкідливих виробничих факторів. Згідно з чинною системою стандартів безпеки праці, умови роботи механізатора та обслуговуючого персоналу ферми піддаються впливу наступних груп факторів.

Фізичні небезпечні та шкідливі фактори:

1. Рухомі частини машин та механізмів: Найбільшу механічну небезпеку становить карданна передача від вала відбору потужності (ВВП) трактора до редуктора змішувача. Крім того, смертельну небезпеку становить обертовий вертикальний шнек із встановленими на ньому серрейторними ножами всередині бункера, а також рухома стрічка поперечного вивантажувального транспортера.

2. Небезпека наїзду та затискання: Рух великогабаритного агрегату (трактор з міксером) територією кормового двору, маневрування телескопічного навантажувача під час завантаження рулонів, а також рух агрегату у кормовому проїзді корівника створюють загрозу наїзду на працівників ферми.

3. Підвищений рівень шуму та вібрації: Основними джерелами шумового та вібраційного навантаження є двигун внутрішнього згоряння трактора, робота планетарного редуктора змішувача та акустичний шум, що виникає під час розрізання і тертя щільних рулонів соломи об стінки металевого бункера.

4. Підвищена запиленість повітря робочої зони: Під час завантаження рулонів сухої соломи, а також сипучих компонентів

(концентрованих кормів, мінеральних добавок, преміксів) утворюється значна кількість дрібнодисперсного органічного пилу, який може потрапляти в дихальні шляхи механізатора та працівників кормового двору. [7, 8]

Хімічні та біологічні фактори:

1. Під час роботи трактора та телескопічного навантажувача в закритому приміщенні корівника (під час роздавання корму) відбувається викид відпрацьованих (вихлопних) газів, що містять оксид вуглецю та діоксид азоту. Також при відборі силосу з траншеї можливе виділення залишкових газів ферментації (вуглекислого газу). [7, 8]

2. Безпосередній контакт із кормовими масами, які можуть містити спори грибків (у разі псування силосу або сінажу), здатен викликати алергічні реакції.

Психофізіологічні фактори:

1. Робота механізатора вимагає постійної концентрації уваги під час контролю доз завантаження на дисплеї тензометричної системи зважування, а також ювелірної точності під час руху з широким міксером кормовим проїздом поміж двох рядів тварин.

2. Проведення технічного обслуговування (особливо контроль затяжки болтів на ножах шнека) пов'язане з перебуванням у незручних робочих позах. [7, 8]

4.2 Заходи з охорони праці при роботі зі змішувачем

Безпека праці під час приготування та роздавання повнораціонних кормових сумішей (ПРС) забезпечується комплексом організаційних та інженерно-технічних заходів. Оскільки розроблена в дипломному проєкті лінія включає роботу мобільних енергетичних засобів (трактора МТЗ-82.1 та навантажувача), а також обертових різальних органів вертикального шнека, дотримання регламенту безпеки є критично важливим.

Необхідні організаційні заходи та засоби індивідуального захисту (ЗІЗ):

3. До роботи на агрегаті допускаються особи віком не молодше 18 років, які мають посвідчення тракториста-машиніста відповідної категорії, пройшли медичний огляд, вступний інструктаж та інструктаж на робочому місці з охорони праці.

4. Механізатор повинен працювати у спецодязі (комбінезон із щільної тканини, який не має звисаючих кінців), спецвзутті зі сталевим носком, а також використовувати рукавиці.

5. Під час завантаження сухих компонентів (соломи, концентратів, преміксів), що супроводжується підвищеним пилоутворенням, рекомендується використання респіратора та захисних окулярів.

Вимоги безпеки, які треба провести перед початком роботи:

Перед запуском двигуна трактора та ввімкненням вала відбору потужності (ВВП) механізатор зобов'язаний:

1. Провести візуальний огляд цілісності бункера (14 м^3) та ходової частини машини.

2. Переконавшись, що карданна передача від трактора до планетарного редуктора змішувача повністю закрита пластиковим або металевим захисним кожухом, а кожух надійно зафіксований стопорним ланцюжком від обертання.

3. Перевірити відсутність сторонніх предметів на дні бункера та стан болтових з'єднань на різальних ножах шнека.

4. Перевірити надійність підключення гідравлічних шлангів (керування заслінкою) та справність електронної системи зважування.

Вимоги безпеки під час виконання технологічного процесу:

1. Завантаження: Під час подачі рулонів соломи телескопічним навантажувачем тракторист повинен перебувати в кабіні трактора. Категорично забороняється знаходження людей у радіусі менше 5 метрів від працюючого навантажувача та міксера.

2. Змішування: Категорично забороняється підніматися по драбині на оглядовий майданчик бункера, заглядати всередину або намагатися проштовхувати «завислу» кормову масу (рулони соломи) вилами, лопатами чи

іншими предметами під час обертання шнека. Будь-які маніпуляції всередині бункера проводяться лише після повної зупинки ВВП та глушіння двигуна трактора.

3. Переїзд та маневрування: Транспортування корму до корівників здійснюється з вимкненим ВВП. Швидкість руху територією ферми не повинна перевищувати 10 км/год, а в приміщенні корівника (у кормовому проїзді) – 5 км/год.

4. Роздавання корму: Під час руху вздовж кормового столу необхідно слідкувати за тим, щоб у зоні вивантаження на поперечний транспортер не було людей або тварин. Для зниження концентрації вихлопних газів від МТЗ-82.1 у корівнику мають бути повністю відкриті світло-аераційні штори та вентиляційні отвори на даху.

5. Контроль геометрії, підтягування болтів або заміна серрейторних ножів, встановлених під кутом 25° , виконуються працівником безпосередньо всередині бункера. Перед спуском у бункер трактор має бути заглушений, ключ запалювання вийнятий із замка (знаходиться в кишені механізатора), трактор поставлений на стоянкове гальмо, а карданний вал фізично від'єднаний від шліців ВВП трактора. Це унеможливорює випадковий або несанкціонований запуск механізму.

4.3 Висновки

Аналіз умов праці на технологічній лінії виявив основні небезпечні фактори: відкриті обертові механізми, підвищене пилоутворення та шкідливі вихлопні гази в приміщенні корівника. Впровадження ковзного різання суттєво зменшує навантаження на двигун трактора, що оптимізує згоряння палива та прямо пропорційно знижує викиди шкідливих газів в атмосферу. Розроблений комплекс заходів з охорони праці чітко регламентує безпечне виконання робіт та обслуговування модернізованих ножів без ризику травматизму.

5 ТЕХНІКО-ЕКОНОМІЧНА ОЦІНКА ПРОЄКТУ

5.1 Розрахунок капітальних вкладень на модернізацію обладнання

Економічна ефективність будь-якого інженерного рішення базується на співставленні витрат на його впровадження та отриманого позитивного ефекту. Метою даного підрозділу є визначення суми додаткових капітальних вкладень (K_d), необхідних для виготовлення та встановлення модернізованих вузлів вертикального змішувача-кормороздавача об'ємом 14 м³ в умовах ремонтно-механічної майстерні ТОВ «Термінал Агро».

Додаткові капітальні вкладення на модернізацію розраховуються за формулою:

$$K_d = B_m + B_z + B_{\text{від}} + B_n, \text{ грн} \quad (5.1)$$

де B_m – витрати на матеріали та комплектуючі вироби, грн;

B_z – витрати на оплату праці робітників (основна та додаткова заробітна плата), грн;

$B_{\text{від}}$ – відрахування на соціальні заходи (ЄСВ), грн;

B_n – накладні (загальновиробничі) витрати, грн.

Розрахунок витрат на матеріали та комплектуючі (B_m).

Для реалізації конструктивної схеми необхідно придбати нові серрейторні ножі (7 шт.), металопрокат для виготовлення кронштейнів (для встановлення ножів під кутом 25°), а також систему неодимових магнітів із відкидною сталевую пластину для вивантажувального вікна.

Орієнтовна вартість матеріалів зведена у таблицю 5.1 (ціни прийняті на рівні поточних ринкових для роздрібної закупівлі).

Таблиця 5.1 – Кошторис витрат на матеріали та комплектуючі

Найменування матеріалу / деталі	Одиниця виміру	Кількість	Ціна за одиницю, грн	Сума, грн
Ніж шнека серрейторний	шт.	7	850	5 950
Сталевий лист (товщ. 10 мм) для кронштейнів	кг	45	45	2 025
Зварювальні матеріали (електроди, дрід), метизи	компл.	1	950	950
Разом матеріальні витрати (B_M):				8 925

Розрахунок витрат на оплату праці (B_3) та відрахування ($B_{\text{від}}$).

Модернізація проводиться силами двох працівників майстерні господарства: зварювальника та слюсаря-механіка. Загальна трудомісткість робіт (демонтаж старого робочого органу, зварювання кронштейнів, монтаж сепаратора, балансування) оцінюється у 32 люд.-год.

Приймаємо середню годинну тарифну ставку робітників майстерні на рівні 150 грн/год. Тоді основний фонд заробітної плати складе:

$$B_{3.\text{осн}} = 32 \cdot 150 = 4800 \text{ грн} \quad (5.2)$$

Враховуючи додаткову заробітну плату (відпустки, премії – орієнтовно 10% від основної), загальні витрати на оплату праці становитимуть:

$$B_3 = 4800 \cdot 1,1 = 5280 \text{ грн} \quad (5.3)$$

Відрахування на соціальні заходи (Єдиний соціальний внесок – 22% від фонду оплати праці):

$$B_{\text{від}} = B_3 \cdot 0,22 = 5280 \cdot 0,22 = 1161,60 \text{ грн} \quad (5.4)$$

Розрахунок накладних витрат (B_n).

Накладні витрати включають амортизацію обладнання майстерні, витрати електроенергії (на роботу зварювального апарату, болгарок, освітлення) та інші загальновиробничі витрати. У ремонтному виробництві вони традиційно приймаються у розмірі 50–80% від фонду основної заробітної плати робітників. Приймаємо 60%:

$$B_n = B_{\text{з.осн}} \cdot 0,60 = 4800 \cdot 0,60 = 2880 \text{ грн} \quad (5.5)$$

Визначаємо загальну суму капітальних вкладень.

Підставляючи розраховані значення у базову формулу, отримуємо загальну суму додаткових капітальних вкладень на впровадження розробленого рішення:

$$K_d = 8925 + 5280 + 1161,6 + 2880 = 18246,6 \text{ грн} \quad (5.6)$$

5.2 Визначення експлуатаційних витрат та собівартості приготування кормів

Для оцінки економічної доцільності розроблених інженерних рішень необхідно порівняти річні прямі експлуатаційні витрати на приготування кормів за двома варіантами: базовим (використання існуючого немодернізованого змішувача) та проєктним (використання модернізованої машини із серрейторними ножами, встановленими під кутом 25°).

Річні експлуатаційні витрати (B_e) розраховуються за формулою:

$$B_e = B_a + B_{\text{тр}} + B_{\text{пмм}} + B_{\text{оп}} \quad (5.7)$$

де B_a – амортизаційні відрахування, грн;

$B_{тр}$ – витрати на поточний ремонт і технічне обслуговування, грн;

$B_{пмм}$ – витрати на паливно-мастильні матеріали (ПММ), грн;

$B_{оп}$ – витрати на оплату праці механізатора з нарахуваннями (ЄСВ), грн.

Вихідні дані для розрахунку.

Як було розраховано у підрозділі 2.3, річний обсяг приготування повнорационної суміші для ферми на 400 голів становить $Q_{рік} = 7051,8$ тонн.

Балансова вартість існуючого змішувача (базовий варіант) приймається на рівні 1 500 000 грн. Балансова вартість проєктного варіанта збільшується на суму капітальних вкладень (з підрозділу 5.1) і становить 1 518 246,6 грн.

Вартість дизельного пального приймаємо на рівні 52,00 грн/літр.

Годинна тарифна ставка тракториста-машиніста – 120 грн/год (з урахуванням ЄСВ 22% – 146,40 грн/год).

Обґрунтуємо економію ресурсів (ПММ та часу).

У базовому варіанті через високий опір різанню рулонів соломи трактор працює під значним навантаженням. Загальний час роботи агрегату на добу (4 рейси) становить близько 3,0 годин. Годинна витрата пального трактором МТЗ-82.1 у такому важкому режимі (привод ВВП під навантаженням) становить 8,2 л/год.

У проєктному варіанті завдяки ковзному різанню час подрібнення рулону скорочується. Загальний час роботи на добу зменшується до 2,95 годин. Крім того, зниження споживаної потужності (як доведено у підрозділі 3.3) зумовлює падіння годинної витрати пального до 7,7 л/год.

Річний фонд робочого часу:

Базовий: $T_1 = 3 \cdot 365 = 1095$ годин.

Проєктний: $T_2 = 2,95 \cdot 365 = 1076,75$ годин.

Річна витрата пального:

Базовий: $1095 \text{ год} \cdot 8,2 \text{ л/год} = 8979$ літрів.

Проектний: $1076,75 \text{ год} \cdot 7,7 \text{ л/год} = 8290,98 \text{ літрів}$.

Економія пального становить: $\Delta\Pi = 8979 - 8290,98 = 668,02 \text{ л}$.

Розрахунок складових експлуатаційних витрат.

Амортизація (V_a): норматив становить 10% від балансової вартості.

Для базового: $1\,500\,000 \cdot 0,1 = 150\,000 \text{ грн}$.

Для проектного: $1\,518\,246,6 \cdot 0,1 = 151\,824,66 \text{ грн}$.

Поточний ремонт і ТО ($V_{тр}$): норматив приймаємо 5%.

Для базового: $1\,500\,000 \cdot 0,05 = 75\,000 \text{ грн}$.

Для проектного: $1\,518\,246,6 \cdot 0,05 = 75\,912,33 \text{ грн}$.

Витрати на ПММ ($V_{пмм}$):

Для базового: $8979 \text{ л} \cdot 52 \text{ грн/л} = 466\,908 \text{ грн}$.

Для проектного: $8290,98 \text{ л} \cdot 52 \text{ грн/л} = 431\,130,96 \text{ грн}$.

Оплата праці з нарахуваннями ($V_{оп}$):

Для базового: $1095 \text{ год} \cdot 146,4 \text{ грн/год} = 160\,308 \text{ грн}$.

Для проектного: $1076,75 \text{ год} \cdot 146,4 \text{ грн/год} = 157\,636,2 \text{ грн}$.

Для наочності отримані результати зведено до порівняльної таблиці 5.2.

Таблиця 5.2 – Порівняльна відомість річних експлуатаційних витрат

Стаття витрат	Базовий варіант, грн	Проектний варіант, грн	Відхилення (+/-), грн
Амортизаційні відрахування	150 000	151 824,66	+ 1 824,66
Поточний ремонт і ТО	75 000	75 912,33	+ 912,33
Витрати на ПММ (дизель)	466 908	431 130,96	- 35 777,04
Оплата праці з ЄСВ	160 308	157 636,2	- 2 671,8
Разом експлуатаційні витрати (V_e):	852 216	816 504,15	- 35 711,85

5.3 Визначення показників економічної ефективності та терміну окупності

Фінальним етапом техніко-економічної оцінки є розрахунок узагальнюючих показників, які дозволяють судити про доцільність капіталовкладень у модернізацію вертикального змішувача-кормороздавача. До таких показників належать: річний економічний ефект, коефіцієнт ефективності додаткових вкладень та термін їх окупності.

Розраховуємо річний економічний ефект (E_p).

Річний економічний ефект являє собою чисту економію експлуатаційних витрат господарства за рік з урахуванням нормативного коефіцієнта ефективності капітальних вкладень ($E_n = 0,15$ для сільського господарства):

$$E_p = \Delta B_e - E_n \cdot K_d \quad (5.8)$$

де: ΔB_e – річна економія прямих експлуатаційних витрат, грн (з підрозділу 5.2 становить 35 711,85 грн);

K_d – додаткові капітальні вкладення на модернізацію, грн (18 246,6 грн).

$$E_p = 35\,711,85 - 0,15 \cdot 18\,246,6 = 32\,974,86 \text{ грн} \quad (5.9)$$

Розраховуємо фактичний коефіцієнт економічної ефективності (E_ϕ).

Цей показник демонструє, скільки копійок економії приносить кожна гривня, інвестована в модернізацію обладнання:

$$E_\phi = \frac{\Delta B_e}{K_d} = \frac{35\,711,85}{18\,246,6} = 1,96 \quad (5.10)$$

Отримане значення ($E_{\phi} = 1,96$) значно перевищує нормативне значення ($E_n = 0,15$), що свідчить про надзвичайно високу віддачу від упроваджених конструктивних змін.

Розраховуємо термін окупності додаткових капіталовкладень (T_o).

Термін окупності показує період, за який витрачені на модернізацію кошти повністю повернуться підприємству у вигляді економії ресурсів:

$$T_o = \frac{K_d}{\Delta B_e} = \frac{18\,246,6}{35\,711,85} = 0,51 \text{ року} \quad (5.11)$$

Для узагальнення та наочності всі техніко-економічні показники проєкту зведені в підсумкову таблицю 5.3.

Таблиця 5.3 – Основні техніко-економічні показники проєкту модернізації

Показник	Базовий	Проектний
Річний обсяг кормосуміші, т	7051,8	7051,8
Додаткові капіталовкладення, грн	—	18 246,6
Річні експлуатаційні витрати, грн	852 216	816 504,15
Річна економія витрат, грн	—	35 711,85
Річна економія пального, л	8979	8290,98
Коефіцієнт ефективності	—	1,96
Термін окупності, років	—	0,51

5.4 Висновки

Економічні розрахунки підтвердили високу фінансову рентабельність запропонованої модернізації різального апарату, яка потребує мінімальних капітальних вкладень на закупівлю ножів та металопрокату. Завдяки скороченню часу подрібнення рулонів та зниженню навантаження на вал відбору потужності досягається річна економія понад 668,02 літрів дизельного пального. Це дозволяє знизити собівартість приготування кормів на 15,7%, гарантуючи швидку окупність проєкту лише за рахунок збереження енергоресурсів підприємства.

ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ

У дипломному проєкті вирішено важливе науково-практичне завдання з підвищення ефективності та зниження енергоємності процесу приготування повнораціонних кормових сумішей для великої рогатої худоби в умовах ТОВ «Термінал Агро» шляхом конструктивного вдосконалення вертикального змішувача-кормороздавача.

Основні результати та висновки роботи полягають у наступному:

1. На основі аналізу технологій годівлі доведено перевагу використання повнораціонних сумішей (ПРС). Обґрунтовано доцільність застосування причіпного змішувача об'ємом 14 м³, який для ферми на 400 голів забезпечує виконання добової програми за 4 рейси.
2. Виявлено недоліки базових різальних органів змішувачів, що полягають у рубуючому характері взаємодії леза з матеріалом, що викликає значні енергетичні витрати. Запропоновано модернізацію: встановлення серрейторних ножів під кутом ковзання 25°.
3. Енергетичним розрахунком доведено, що перехід до ковзного різання знижує питомий опір матеріалу на 20–25%. Розрахункова споживана потужність на ВВП знизилася до 54,7 кВт, що гарантує стабільну роботу агрегату з трактором класу 1.4 (МТЗ-82.1) із запасом потужності 8–10%.
4. Розроблено комплекс заходів з охорони праці та екологічної безпеки. Доведено, що зменшення опору різанню знижує питому витрату пального двигуном трактора, зменшуючи шкідливі викиди в корівнику.
5. Економічна оцінка показала, що витрати на модернізацію становлять 18 246,6 грн. Річна економія експлуатаційних витрат за рахунок заощадження ПММ та часу складає 35 711,85 грн, а термін окупності проєкту становить всього 0,51 року.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Бойчик І. М. Економіка підприємства : підручник. Київ: Кондор, 2016. 378 с.
2. ВНТП-АПК-01.05. Відомчі норми технологічного проектування. Скотарські підприємства (комплекси, ферми, малі ферми). Київ: Мінагрополітики України, 2005. 110 с.
3. Гевко Р. Б., Рогатинський Р. М., Дячун А. Є. Надійність технічних систем : навч. посібник. Тернопіль: ТНТУ, 2018. 312 с.
4. ДБН В.2.2-1:2024. Будівлі і споруди для тваринництва. Основні положення. Київ: Мінрегіон України, 2024. 45 с.
5. Деталі машин: підручник / А. В. Міняйло, Л. М. Тіщенко, Д. І. Мазоренко та ін. Київ : Агроосвіта, 2013. 448 с.
6. ДСТУ 7809:2015. Прокат сортовий, калібрований зі спеціальним оздобленням поверхні з вуглецевої якісної конструкційної сталі. Загальні технічні умови. Київ: ДП «УкрНДНЦ», 2016. 24 с.
7. ДСТУ EN ISO 12100:2016. Безпечність машин. Загальні принципи проектування. Оцінювання ризиків та зменшення ризиків (EN ISO 12100:2010, IDT; ISO 12100:2010, IDT). Київ: ДП «УкрНДНЦ», 2016. 53 с.
8. Жидецький В. Ц. Основи охорони праці: підручник. 3-тє вид., перероб. і доп. Львів : УАД, 2008. 336 с.
9. Закон України «Про охорону праці» від 14.10.1992 № 2694-XII (із змінами та доповненнями). URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/2694-12>.
10. Ревенко І. І. Машини і обладнання для тваринництва: підручник для студентів аграрних навчальних закладів. Ніжин: Лисенко М. М., 2017. 583 с.
11. Ревенко І. І., Брагінець М. В., Заболотько О. О. Машини та обладнання для тваринництва: посібник-практикум. Київ : Кондор-Видавництво, 2016. 562 с.

12. Ревенко І. І., Брагінець М. В., Ребенко В. І. Машини та обладнання для тваринництва : підручник. Київ : Кондор, 2009. 731 с.
13. Ревенко І. І., Брагінець М. В., Ребенко В. І. Машини та обладнання для тваринництва: навч. посібник. Київ : Кондор, 2009. 731 с.
14. Ревенко І. І., Щербак В. М. Механізація тваринництва: підручник для аграрних вищих навчальних закладів. Київ : Вища освіта, 2004. 319 с.
15. Скляр О. Г., Болтянська Н. І. Механізація технологічних процесів у тваринництві : навч. посібник. Мелітополь : Колор Принт, 2012. 720 с.
16. Скляр О. Г., Болтянська Н. І. Основи проектування тваринницьких підприємств: підручник. Київ: Кондор, 2018. 380 с.
17. Скляр О. Г., Скляр Р. В. Механізація тваринництва : підручник. Мелітополь: Видавничий будинок Мелітопольської міської друкарні, 2012. 448 с.

ДОДАТКИ

ДНІПРОВСЬКИЙ ДЕРЖАВНИЙ АГРАРНО-ЕКОНОМІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ

Інженерно-технологічний факультет

Кафедра інжинірингу технічних систем

Удосконалення технологічного процесу приготування кормів для ферми великої рогатої худоби з удосконаленням вертикального шнекового змішувача-кормороздавача

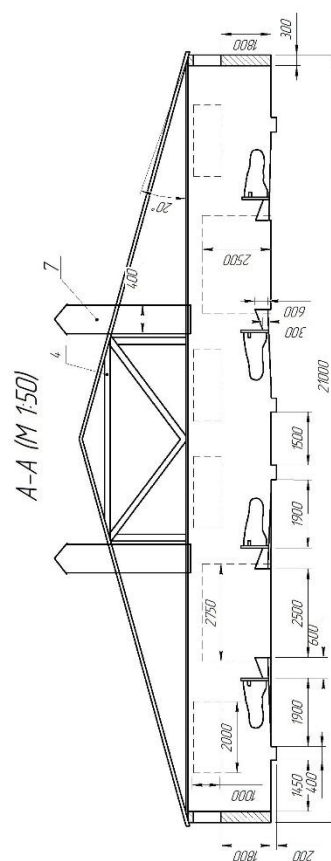
демонстраційний матеріал до дипломної роботи освітнього ступеня «Бакалавр»

Виконав: здобувач вищої освіти 4 курсу, групи АІ-2-22
Сатула Данило Олександрович

Керівник: доктор філософії
Білоус Ілля Михайлович

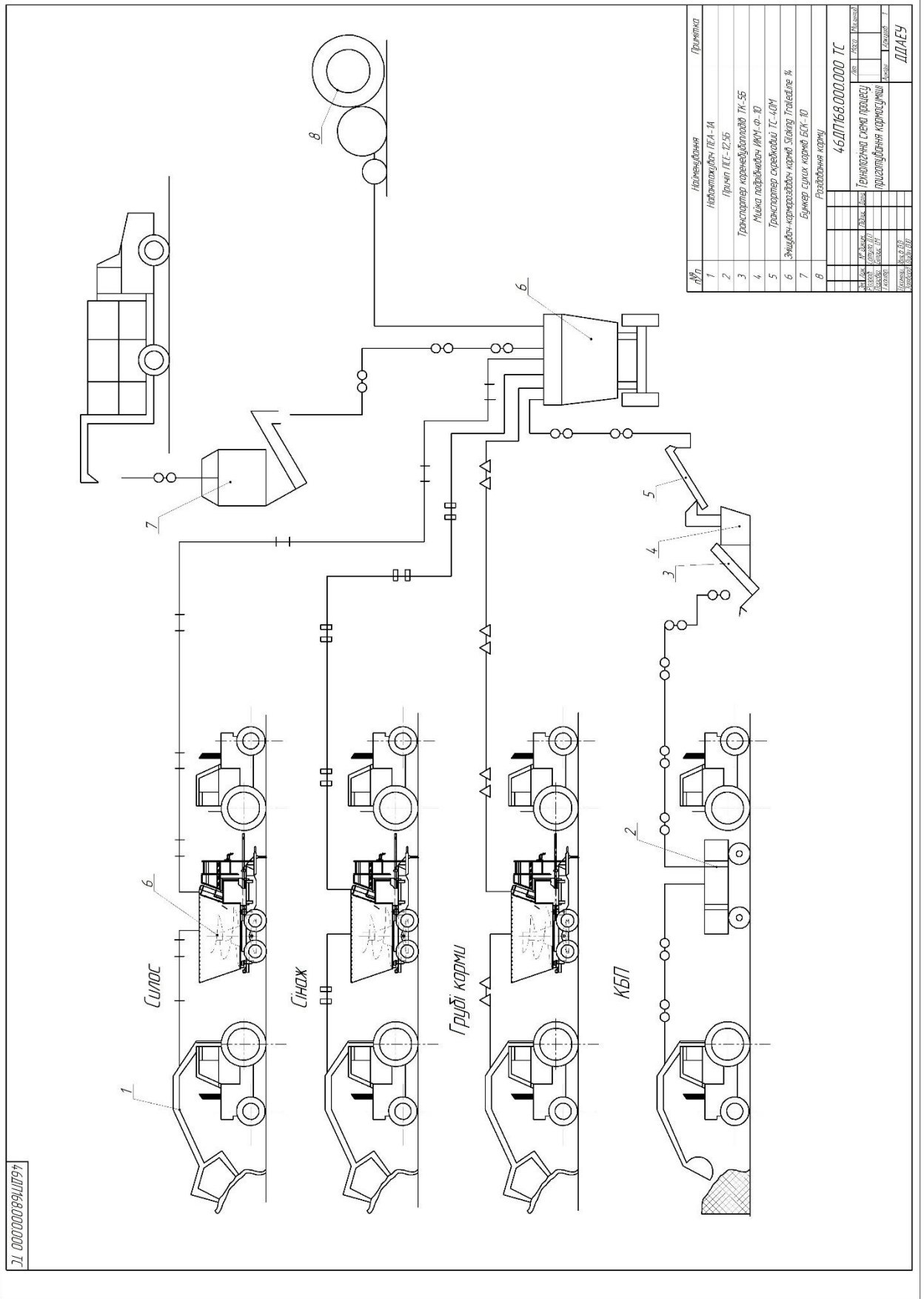
Дніпро-2026

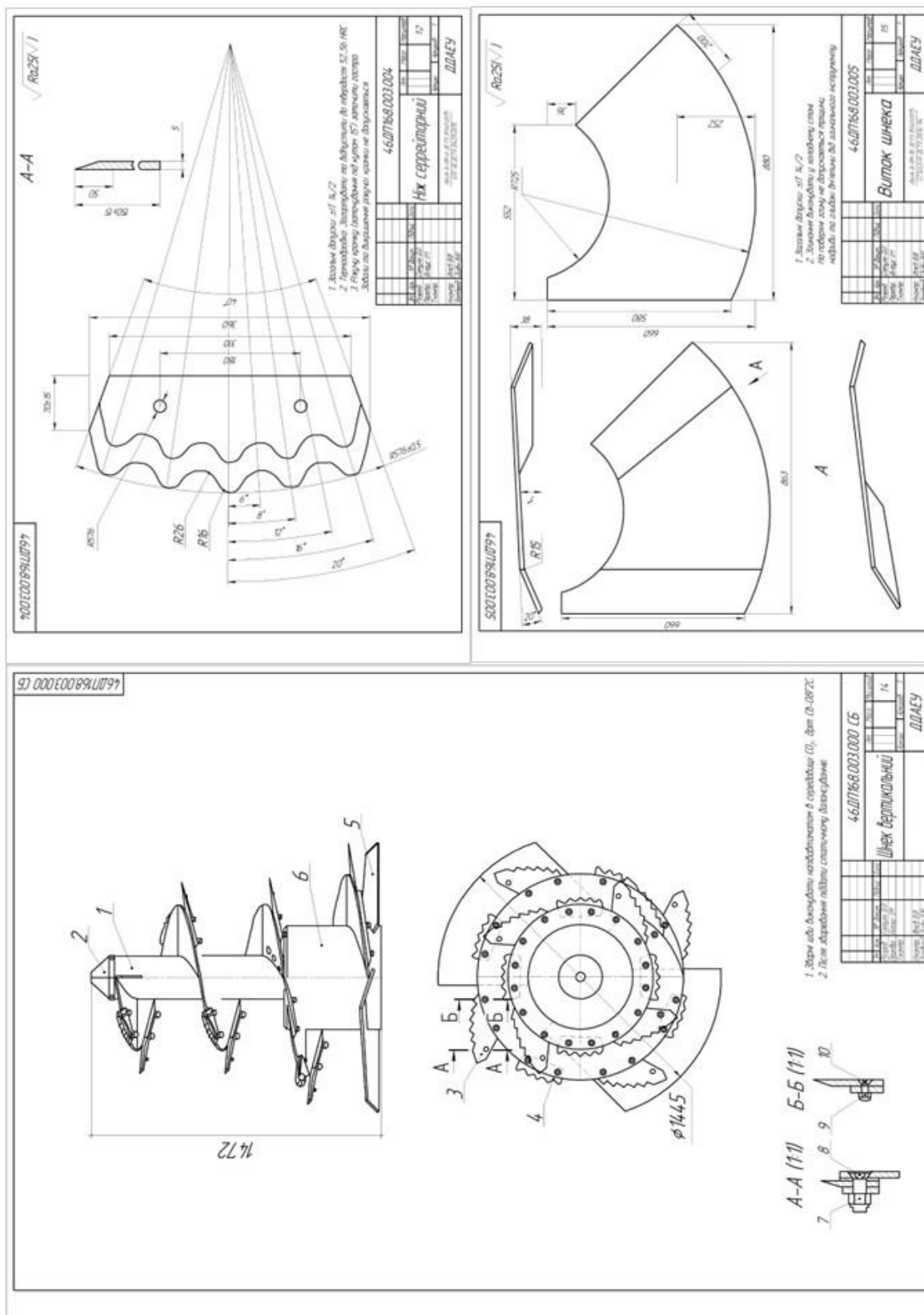
1



Поз.	Найменування	Примітка
1	Годівниця	
2	Ряд стилі	
3	Транспорти кредитний	
4	Ферма даху	
5	Автонавігація	
6	Приміщення	
7	Вентиляційна шахта	
4601768.000.000 БК		
Корисні предмети		
утримання на 400 тислб		
сума		
1000		
сума		
1000		
сума		
1000		
сума		
1000		
сума		
1000		
сума		
1000		
сума		
1000		
сума		
1000		
сума		
1000		
сума		
1000		
сума		
1000		
сума		
1000		
сума		
1000		
сума		
1000		
сума		
1000		
сума		
1000		
сума		
1000		
сума		
1000		
сума		
1000		
сума		
1000		
сума		
1000		
сума		
1000		
сума		
1000		
сума		
1000		
сума		
1000		
сума		
1000		
сума		
1000		
сума		
1000		
сума		
1000		
сума		
1000		
сума		
1000		
сума		
1000		
сума		
1000		
сума		
1000		
сума		
1000		
сума		
1000		
сума		
1000		
сума		
1000		
сума		
1000		
сума		
1000		
сума		
1000		
сума		
1000		
сума		
1000		
сума		
1000		
сума		
1000		
сума		
1000		
сума		
1000		
сума		
1000		
сума		
1000		
сума		
1000		
сума		
1000		
сума		
1000		
сума		
1000		
сума		
1000		
сума		
1000		
сума		
1000		
сума		
1000		
сума		
1000		
сума		
1000		
сума		
1000		
сума		
1000		
сума		
1000		
сума		
1000		
сума		
1000		
сума		
1000		
сума		
1000		
сума		
1000		
сума		
1000		
сума		
1000		
сума		
1000		
сума		
1000		
сума		
1000		
сума		
1000		
сума		
1000		
сума		
1000		
сума		
1000		
сума		
1000		
сума		
1000		
сума		
1000		
сума		
1000		
сума		
1000		
сума		
1000		
сума		
1000		
сума		
1000		
сума		
1000		
сума		
1000		
сума		
1000		
сума		
1000		
сума		
1000		
сума		
1000		
сума		
1000		
сума		
1000		
сума		
1000		
сума		
1000		
сума		
1000		
сума		
1000		
сума		
1000		
сума		
1000		
сума		
1000		
сума		
1000		
сума		
1000		
сума		
1000		
сума		
1000		
сума		
1000		
сума		
1000		
сума		
1000		
сума		
1000		
сума		
1000		
сума		
1000		
сума		
1000		
сума		
1000		
сума		
1000		
сума		
1000		
сума		
1000		
сума		
1000		
сума		
1000		
сума		
1000		
сума		
1000		
сума		
1000		
сума		
1000		
сума		
1000		
сума		
1000		
сума		
1000		
сума		
1000		
сума		
1000		
сума		
1000		
сума		
1000		
сума		
1000		
сума		
1000		
сума		
1000		
сума		
1000		
сума		
1000		
сума		
1000		
сума		
1000		
сума		
1000		
сума		
1000		
сума		
1000		
сума		
1000		
сума		
1000		
сума		
1000		
сума		
1000		
сума		
1000		
сума		
1000		
сума		
1000		
сума		
1000		
сума		
1000		
сума		
1000		
сума		
1000		
сума		
1000		
сума		
1000		
сума		
1000		
сума		
1000		
сума		
1000		
сума		
1000		
сума		
1000		
сума		
1000		
сума		
1000		
сума		
1000		
сума		
1000		
сума		
1000		
сума		
1000		
сума		
1000		
сума		
1000		
сума		
1000		
сума		
1000		
сума		
1000		
сума		
1000		
сума		
1000		
сума		
1000		
сума		
1000		
сума		
1000		
сума		
1000		
сума		
1000		
сума		
1000		
сума		
1000		
сума		
1000		
сума		
1000		
сума		
1000		
сума		
1000		
сума		
1000		
сума		
1000		
сума		
1000		
сума		
1000		
сума		
1000		
сума		
1000		

4617168.000.000 5K





46.07168.000.000 ЕП				
Порівняльна відомість річних експлуатаційних витрат				
№ з.п.	Стаття витрат	Базовий варіант, грн	Проектний варіант, грн	Відхилення (+/-), грн
1	Амортизаційні відрахування	150 000	151 825	1 824,66
2	Поточний ремонт і ТО	75 000	75 912,33	912,33
3	Витрати на ПММ (дизель)	466 908	431 130,96	-35 777,04
4	Оплата праці з ЕСВ	160 308	157 636,20	-2 671,80
5	Разом експлуатаційні витрати	852 216	816504,15	-3571185
Основні техніко-економічні показники проекту модернізації				
№ з.п.	Показник	Базовий варіант	Проектний варіант	
1	Річний обсяг кармосуміші, т	7 052	7 052	
2	Додаткові капітальні вкладення, грн	—	18 246,60	
3	Річні експлуатаційні витрати, грн	852 216	816 504,15	
4	Річна економія витрат, грн	—	35 711,85	
5	Річна економія пального, л	8 979	8 290,98	
6	Коефіцієнт ефективності	—	1,96	
7	Термін окупності, років	—	0,510	
		46.07168.000.000 ЕП		
		Економічні показники		
		ДДАЄУ		

[illegible]