

**ДНІПРОВСЬКИЙ ДЕРЖАВНИЙ АГРАРНО-ЕКОНОМІЧНИЙ
УНІВЕРСИТЕТ**

Інженерно-технологічний факультет

Кафедра інжинірингу технічних систем

Пояснювальна записка

до дипломного проєкту рівня вищої освіти «Бакалавр»

на тему:

**Модернізація технологічного процесу
видалення безпідстилкового гною
на молочно-товарній фермі**

Виконав: здобувач вищої освіти 5 курсу, групи АІз-1-21
за спеціальністю 208 «Агроінженерія»

_____ Яковенко Олександр Петрович

Керівник: _____ Дудін Володимир Юрійович

Рецензент: _____

Дніпро 2026

**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)
«01» травня 2026 р.

**ЗАВДАННЯ
НА ДИПЛОМНИЙ ПРОЄКТ ЗДОБУВАЧУ ВИЩОЇ ОСВІТИ**

Яковенко Олександр Петрович

(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема проєкту: Модернізація технологічного процесу видалення безпідстилкового гною на молочно-товарній фермі

керівник проєкту Дудін Володимир Юрійович, к.т.н., доцент
(прізвище, ім'я, по батькові, науковий ступінь, вчене звання)

затверджені наказом вищого навчального закладу від
«01» травня 2026 року № 912

2. Строк подання здобувачем проєкту 07.06.2026 р.

3. Вихідні дані до проєкту: молочно-товарна ферма на 600 дійних корів зі шлейфом; безприв'язне утримання ВРХ у боксах без підстилки; гній видаляється через щільну підлогу у канали та приймальний резервуар; робоче середовище – рідкий безпідстилковий гній ВРХ; технологічна лінія включає канали гноєвидалення, збірний колектор, гноєприймач, насосну установку і напірний трубопровід до гноєсховища.

4. Зміст розрахунково-пояснювальної записки (перелік питань, які потрібно розробити) 1. Аналіз стану питання. 2. Модернізація технологічного процесу видалення безпідстилкового гною на молочно-товарній фермі. 3. Удосконалення насоса для перекачування рідкого гною. 4. Охорона праці. 5. Техніко-економічна оцінка. Загальні висновки. Бібліографія.

5. Перелік демонстраційного матеріалу

1. Технологічна схема видалення безпідстилкового гною. 2. Установка для перекачування гною. 3. Насос для перекачування рідкого гною. 4. Удосконалений гвинт (робоче колесо). 5. Охорона праці. 6. Техніко-економічні показники.

6. Консультанти розділів проєкту

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

7. Дата видачі завдання: 01.05.2026 р.

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	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 22.05.2026р.	
6	Демонстраційна частина	до 05.06.2026 р.	

Здобувач

(підпис)

Яковенко О.П.

(прізвище та ініціали)

Керівник проєкту

(підпис)

Дудін В.Ю.

(прізвище та ініціали)

[illegible]

Зміст

ВСТУП.....	8
1 Аналіз стану питання	11
1.1 Огляд технологій безприв'язного утримання ВРХ.....	11
1.2 Огляд технологій видалення рідкого гною на фермах ВРХ.....	14
1.3 Аналіз конструкцій насосів для перекачування гною	17
1.4 Висновки до розділу	21
2 Модернізація технологічного процесу видалення безпідстилкового гною	22
2.1 Обґрунтування важливості питання	22
2.2 Вихідні дані та зоотехнічні вимоги	23
2.3 Розробка технологічної схеми процесу	25
2.4 Розрахунок технічних та технологічних параметрів процесу	28
2.5 Висновки до розділу	35
3 Удосконалення насоса для перекачування рідкого гною.....	36
3.1 Обґрунтування необхідності удосконалення	36
3.2 Вихідні дані.....	37
3.3 Розробка варіанту удосконалення	38
3.4 Розрахунок конструкційно-технологічних параметрів	42
3.5 Висновки до розділу	48
4 Охорона праці	49
4.1 Загальні вимоги охорони праці при видаленні рідкого гною на фермі ВРХ.....	49

4.2 Вимоги охорони праці при роботі з установкою для перекачування гною	50
4.3 Висновки до розділу	53
5 Техніко-економічна оцінка	55
5.1 Вихідні дані.....	55
5.2 Результати розрахунків економічних показників	56
5.3 Висновки до розділу	57
Загальні висновки.....	59
Список використаних джерел.....	62
Додатки	65

АНОТАЦІЯ

Дипломний проєкт виконано на тему: «Модернізація технологічного процесу видалення безпідстилкового гною на молочно-товарній фермі». Робота присвячена підвищенню ефективності та надійності технологічної лінії видалення рідкого гною за умов безпідстилкового утримання великої рогатої худоби.

Актуальність теми зумовлена тим, що при безпідстилковому утриманні ВРХ гній має підвищену вологість, неоднорідний склад і містить тверді та волокнисті включення. Це ускладнює його транспортування, спричиняє забивання каналів і насосного обладнання, збільшує витрати праці та енергії, а також погіршує санітарно-гігієнічний стан тваринницьких приміщень. Тому удосконалення обладнання для перекачування рідкого гною є важливим напрямом модернізації молочно-товарних ферм.

У першому розділі проаналізовано технології безпідстилкового утримання ВРХ, системи видалення рідкого гною та конструкції насосів, які застосовуються у тваринництві. У другому розділі наведено вихідні дані для ферми ВРХ, обґрунтовано технологічну схему процесу видалення гною та визначено основні технічні й технологічні параметри лінії. У третьому розділі розроблено конструктивне удосконалення насоса, проаналізовано роботу установки для перекачування гною та виконано розрахунок її параметрів. У четвертому розділі розглянуто вимоги охорони праці під час видалення рідкого гною та експлуатації насосної установки. У п'ятому розділі виконано техніко-економічну оцінку запропонованого рішення з порівнянням базового й удосконаленого варіантів.

Ключові слова: безпідстилковий гній, молочно-товарна ферма, ВРХ, видалення гною, рідкий гній, насос, робоче колесо, перекачування, модернізація, охорона праці, економічна ефективність.

ВСТУП

Сучасне молочне скотарство характеризується підвищенням концентрації погोलів'я, переходом до безприв'язного утримання тварин та використанням потокових технологій обслуговування стада. За таких умов особливого значення набуває раціональна організація видалення безпідстилкового гною, оскільки від надійності цієї операції залежать санітарний стан приміщень, мікроклімат у тваринницьких будівлях, умови праці обслуговуючого персоналу та екологічна безпека ферми. Накопичення рідкого гною в каналах, прямках і накопичувачах спричиняє підвищення вологості та загазованості повітря, ускладнює переміщення тварин, збільшує ризик травмування і створює додаткові витрати на технічне обслуговування системи.

При безпідстилковому утриманні великої рогатої худоби гній має підвищену вологість, неоднорідний склад і містить тверді включення у вигляді частинок корму, шерсті, піску та інших домішок. Тому його транспортування і перекачування потребує застосування спеціалізованих машин та обладнання, здатних працювати з в'язкими, абразивними і схильними до розшарування середовищами. Найчастіше у складі таких технологічних ліній використовують гнойові канали, щілинні підлоги, скреперні установки, приймальні резервуари, насоси та напірні трубопроводи. Кожен з цих елементів повинен узгоджуватися з добовим виходом гною, режимом роботи ферми, розмірами тваринницьких приміщень та відстанню до гноєсховища.

Одним із найбільш відповідальних елементів технологічного процесу є насосна установка для перекачування рідкого гною. Саме насос забезпечує переміщення маси з приймального напрямка або гнойового каналу до накопичувача, лагуни чи обладнання подальшої обробки. При недостатній продуктивності насоса виникають простой, переповнення напрямків і порушення графіка очищення приміщень. За наявності великих механічних домішок можливе заклинювання робочого органа, інтенсивне спрацювання деталей, перевантаження електродвигуна та зменшення фактичної подачі.

Тому модернізація насоса повинна бути спрямована на підвищення пропускної здатності, зменшення забивання робочого колеса, стабілізацію подачі та зниження витрат на експлуатацію.

Актуальність теми дипломного проєкту зумовлена необхідністю підвищення ефективності видалення безпідстилкового гною на молочно-товарній фермі за рахунок удосконалення технічних засобів перекачування. Для ферми з великою кількістю дійних корів та ремонтного молодняку своєчасне видалення рідкого гною є обов'язковою умовою підтримання належного санітарно-гігієнічного стану тваринницьких приміщень. Водночас застосування насосів із недостатньо пристосованими робочими органами призводить до втрат продуктивності, зростання енергоспоживання і збільшення трудомісткості обслуговування. Удосконалення робочого колеса насоса дає змогу поліпшити умови захоплення і переміщення гнойової маси, знизити ймовірність намотування волокнистих включень та забезпечити більш рівномірну роботу всієї лінії.

Метою дипломного проєкту є модернізація технологічного процесу видалення безпідстилкового гною на молочно-товарній фермі шляхом удосконалення насоса для перекачування рідкого гною та обґрунтування його конструкційно-технологічних параметрів.

Для досягнення поставленої мети необхідно вирішити такі завдання: проаналізувати сучасні технології утримання ВРХ без підстилки та способи видалення рідкого гною; розглянути конструкції насосів, що застосовуються для перекачування гнойових стоків; обґрунтувати технологічну схему видалення безпідстилкового гною на фермі; визначити основні параметри процесу видалення і перекачування гною; розробити варіант удосконалення робочого органа насоса; виконати розрахунок конструкційно-технологічних параметрів модернізованої установки; розробити заходи з охорони праці під час експлуатації обладнання; оцінити техніко-економічну ефективність запропонованого рішення.

Дипломний проєкт складається з аналітичного, технологічного, конструктивного, організаційно-безпечного та економічного розділів. У першому розділі проведено аналіз стану питання і визначено напрям модернізації. У другому розділі обґрунтовано технологічний процес видалення безпідстилкового гною. У третьому розділі розроблено удосконалення насоса та виконано необхідні розрахунки. У четвертому розділі наведено вимоги охорони праці під час експлуатації установки. У п'ятому розділі подано техніко-економічну оцінку запропонованого рішення.

1 Аналіз стану питання

1.1 Огляд технологій безприв'язного утримання ВРХ

Молочно-товарні ферми промислового типу поступово переходять від прив'язного утримання корів до безприв'язного боксового утримання. Така технологія дає можливість організувати групове обслуговування тварин, механізувати годівлю, доїння і гноєвидалення, зменшити частку ручних операцій та забезпечити стабільніший виробничий ритм. У безприв'язній системі корови вільно переміщуються між кормовим столом, проходами, боксами для відпочинку та доїльним блоком, а тому чистота підлоги і своєчасне видалення гною безпосередньо впливають на продуктивність, санітарний стан приміщень і довговічність обладнання.

За конструктивним виконанням приміщення для безприв'язного утримання ВРХ найчастіше мають кормові та гнойові проходи з суцільною або щілинною бетонною підлогою, ряди індивідуальних боксів для відпочинку, кормовий стіл, напувалки, групові ворота і систему механізованого очищення проходів. У довідкових матеріалах з утримання молочної худоби зазначається, що вільно-боксові приміщення можуть мати проходи із суцільного або щілинного бетону, причому під щілинною підлогою розміщується приймальна яма або канал для збору гною [1].

Безпідстилкова технологія утримання передбачає, що основна маса екскрементів і сечі потрапляє на підлогу проходів, а у боксах для відпочинку замість глибокої підстилки застосовують гумові або полімерні килимки, матраци чи тонкий шар сухого матеріалу. У такій системі кількість соломи, тирси чи іншої підстилки різко зменшується, тому гній набуває рідкої або напіврідкої консистенції та може транспортуватися самопливом або насосами. Перевагами цього підходу є менша потреба у підстилковому матеріалі, зниження обсягу ручного очищення боксів, можливість використання закритих накопичувальних ємкостей і трубопровідного транспортування гною.

Щілинна підлога є одним із способів організації безпідстилкового гноєвидалення. Через щілини гній під дією ваги тварин, руху копит і періодичного додаткового очищення провалюється у підпідлогові канали. Далі він накопичується в проміжних ямах або передається у гноєсховище самопливом, транспортерами чи насосами [1]. Така схема зменшує кількість відкритого гною у проходах, однак потребує правильно підібраної ширини щілин, несної здатності настилу, ефективної вентиляції підпідлогових каналів і регулярного спорожнення накопичувальних ємкостей.

Суцільні бетонні проходи при безпідстилковому утриманні очищаються автоматичними скреперними установками, тракторними скреперами, мінінавантажувачами або роботизованими очищувачами. Автоматичний скрепер переміщує масу гною від поздовжніх проходів до поперечного каналу або приймального напрямка. Вітчизняні методичні матеріали з машин для тваринництва відносять скребкові транспортери, скреперні установки, гідравлічні та пневматичні засоби, фекальні і шнекові насоси до основних машин для прибирання та транспортування гною на фермах [3].

У боксових місцях відпочинку за безпідстилкової технології важливу роль відіграють гумові килимки та матраци. Вони знижують травмування кінцівок, роблять лежання тварин комфортнішим і водночас не створюють великого обсягу твердого підстилкового гною. Разом з тим килимки не замінюють санітарного догляду: поверхня боксу повинна залишатися сухою, неслизькою і чистою. За даними матеріалів з профілактики кульгавості, мокра та забруднена гноем підлога підвищує ризик інфекційних хвороб копит, а невдало спроектовані бокси збільшують час стояння корів і погіршують стан кінцівок [2].

Отже, безприв'язне безпідстилкове утримання ВРХ має значні технологічні переваги, але воно більш вимогливе до стабільності роботи гноєвидалення. Якщо скрепер, приймальний канал або насос працюють із перебоями, гній швидко накопичується у проходах, зростає вологість підлоги, погіршується мікроклімат і збільшується навантаження на обслуговуючий

персонал. Тому технологічна лінія видалення безпідстилкового гною повинна розглядатися як єдина система: підлога, скрепери, канали, приймальні ємкості, насоси, трубопроводи та гноєсховище мають бути узгоджені між собою за продуктивністю.

Таблиця 1.1 – Порівняльна характеристика елементів безпідстилкового утримання ВРХ

Елемент технології	Призначення	Переваги	Основні обмеження
Щілинна підлога	Приймання гною через щілини у підпідлогові канали	Зменшує накопичення гною на поверхні проходів, полегшує автоматизацію збору гноївки	Потребує точного розрахунку щілин, вентиляції каналів і своєчасного перекачування рідкого гною
Суцільна бетонна підлога зі скреперами	Очищення кормових і гнойових проходів механічним переміщенням гною	Доступна конструкція, можливість роботи за заданим графіком, простіша візуальна перевірка	Зношування чистиків, небезпека ковзання, потреба у справному приводі та рівній підлозі
Гумові килимки у боксах	Забезпечення сухого і м'якого місця відпочинку без глибокої підстилки	Зменшують витрати підстилки, підвищують комфорт лежання, спрощують прибирання боксів	Потребують регулярного очищення, контролю вологості і своєчасної заміни зношених елементів
Роботизовані очищувачі	Автоматичне прибирання проходів у проміжках між основними циклами роботи	Підтримують рівномірну чистоту підлоги, зменшують ручну працю	Потребують якісної навігації, рівних поверхонь, технічного обслуговування і достатньої місткості приймальних каналів

1.2 Огляд технологій видалення рідкого гною на фермах ВРХ

Рідкий гній на молочно-товарній фермі утворюється як суміш фекалій, сечі, технологічної води після миття обладнання, залишків корму та незначної кількості дрібних твердих домішок. Його властивості нестабільні: вміст сухої речовини, в'язкість, наявність волокнистих часток і абразивних домішок змінюються протягом доби та сезону. Саме тому система видалення рідкого гною повинна мати запас продуктивності, не допускати закупорювання каналів і трубопроводів та забезпечувати безпечне транспортування до гноєсховища або лінії переробки.

Технологічний процес видалення безпідстилкового гною у загальному випадку включає такі операції: надходження гною з проходів або щілинної підлоги до поздовжніх каналів; переміщення його скрепером або самопливом до поперечного каналу; надходження у приймальний приямок; перемішування або розрідження маси за потреби; перекачування насосом у гноєсховище, цистерну, сепаратор або іншу технологічну ланку. У методичних матеріалах зазначено, що рідкий гній накопичують у проміжних заглиблених ємкостях, а для його транспортування застосовують самопливні канали, цистерни, фекальні, пневматичні поршневі та гвинтові насоси [3].

Найпростішою схемою є самопливне видалення гноївки каналами з ухилом. Вона не потребує складного приводу, але висуває високі вимоги до геометрії каналів, відсутності осаду, достатнього зволоження та регулярного промивання. При зниженні ухилу або потраплянні волокнистих решток у каналі утворюються застійні зони, де відбувається осадження твердих часток, анаеробне бродіння і виділення газів.

Скреперні системи застосовують для переміщення гною по суцільних проходах або відкритих каналах. Робочий орган скреперної установки виконує зворотно-поступальний рух: під час робочого ходу скребки розкриваються, захоплюють гній і переміщують його до поперечного каналу, а під час холостого ходу складаються. Для установок типу УСГ у навчально-методичних матеріалах вказано, що вони призначені для прибирання гною

ВРХ у приміщеннях з боксовим і комбінованим утриманням, а швидкість руху скрепера приймають з умовою запобігання травмуванню тварин [3].

Гідравлічне або змивне видалення базується на періодичному промиванні каналів водою або освітленою рідкою фракцією. Така схема може бути ефективною для великих ферм із достатнім обсягом рідкої фракції, але вона збільшує загальний обсяг стоків і навантаження на насосне обладнання та гноєсховище. Крім того, при змиві підвищується ймовірність піноутворення, перемішування осаду та інтенсивного виділення газів, тому потрібні справна вентиляція, контроль заповнення приймальних ємкостей і технологічна дисципліна.

Підпідлогові канали під щілинною підлогою можуть виконувати функції короткочасного накопичення, вирівнювання подачі та попереднього відстоювання гною. У таких системах гній часто передається до зовнішнього сховища транспортерами, самопливом або насосами [1]. При цьому насосний вузол стає ключовим елементом, оскільки він повинен забирати гній із нижчого рівня, працювати з неоднорідною масою та забезпечувати подачу в трубопровід із необхідним напором.

Екологічна і санітарна складова також має важливе значення. Рідкі системи гною зазвичай пов'язані з анаеробним розкладанням, яке формує більш інтенсивні запахи порівняно з добре аерованими твердими системами [1]. Під час перемішування і перекачування небезпека зростає, оскільки концентрації сірководню та метану можуть підвищуватися. Рекомендації University of Minnesota Extension для операцій перемішування і перекачування гною передбачають евакуацію людей і тварин із приміщення, усунення джерел займання, попереджувальне маркування та вентиляцію [4].

Таким чином, технологія видалення рідкого гною повинна забезпечувати не лише механічне переміщення маси, а й підтримання чистоти проходів, зменшення запахів, безпеку персоналу, захист тварин від ковзання і хвороб кінцівок, а також надійну роботу насосів і трубопроводів. Для ферм із безпідстилковим утриманням найбільш раціональною є комбінована схема:

скреперне очищення проходів або збір через щілинну підлогу, приймальний прямок із можливістю перемішування та насосна подача у гноєсховище або на переробку.

Таблиця 1.2 – Оцінка технологій видалення рідкого гною на фермах ВРХ

Технологія	Сфера застосування	Переваги	Недоліки
Самопливні канали	Передача гноївки до приймальної ємкості або сховища за рахунок ухилу	Простота, низькі енергетичні витрати, мінімальна кількість рухомих вузлів	Чутливість до ухилу, осадження твердих часток, потреба у промиванні
Скреперне очищення проходів	Суцільні бетонні проходи у боксових корівниках	Регулярне очищення, можливість автоматизації, узгодження з графіком ферми	Зношування робочих органів, потреба у точному налаштуванні і контролі безпеки
Щілинна підлога з підпідлоговими каналами	Безпідстилкові боксові приміщення з короткочасним накопиченням гною	Менше відкритого гною у проходах, можливість повної механізації збору	Необхідні вентиляція каналів, контроль заповнення і надійне перекачування
Гідрозмив	Великі ферми з наявною системою оборотної рідкої фракції	Швидке очищення каналів, менше механічних приводів у зоні тварин	Збільшує обсяг рідких стоків, потребує насосів більшої продуктивності
Насосно-трубопровідне транспортування	Перекачування з приймального прямока у гноєсховище, цистерну або сепаратор	Може працювати у закритій схемі, зменшує ручну працю та потребу у мобільному транспорті	Найбільш відповідальний вузол; можливі засмічення, кавітація, зношування і перевантаження приводу

1.3 Аналіз конструкцій насосів для перекачування гною

Насос для перекачування гною є центральним елементом технологічної лінії після приймального приямка. Його відмова призводить до переповнення каналів, вимушеної зупинки очищення приміщення, накопичення гноївки у проходах і збільшення витрат ручної праці. Умови роботи такого насоса складніші, ніж у насосів для чистої води: середовище є неоднорідним, містить волокнисті частки корму, шерсть, залишки підстилки, пісок, дрібні камінці, продукти бродіння і газові включення.

За принципом дії насоси для гноївки можна поділити на відцентрові, відцентрові з подрібнювальним або різальним пристроєм, занурювальні, гвинтові, поршневі, діафрагмові та вакуумні. Вибір типу насоса залежить від продуктивності, вмісту сухих речовин, напору, довжини трубопроводу, наявності волокнистих домішок і способу подальшого використання гною. Для правильного підбору насосної установки необхідно враховувати витрату, висоту всмоктування, перепад висот, втрати на тертя в трубопроводі, потрібний тиск у кінцевій точці та ККД насоса [6].

Відцентрові насоси мають просту конструкцію, здатні забезпечувати значну подачу і зручні для перекачування рідких середовищ з невеликим вмістом твердих часток. Їх робочий орган — колесо, яке надає рідині швидкість, а корпус перетворює частину кінетичної енергії у напір. Для гноївки використовують відкриті або напіввідкриті робочі колеса, оскільки закриті колеса погано працюють із забрудненими рідинами. Джерела з насосного транспортування рідкого гною вказують, що відкриті та напіввідкриті колеса здатні працювати з рідинами, які містять тверді домішки, а на вході часто встановлюють різальні лопаті для подрібнення великих волокнистих часток [6].

Відцентрові насоси з подрібнювачем або чопер-насоси є більш пристосованими до роботи з гноєм. Різальний апарат на вході подрібнює довгі волокнисті домішки, зменшує ризик намотування на колесо і захищає трубопровід від закупорювання. За даними MU Extension, за наявності довгих

волокнистих часток у рідині може знадобитися чопер-насос; у типових характеристиках насосів для гною вертикальні та похилі чопер-насоси застосовують для перемішування ям, завантаження цистерн і перекачування до сховищ [5]. Недоліками таких конструкцій є підвищене зношування різального вузла, потреба у періодичному контролі зазорів і більша встановлена потужність приводу.

Занурювальні насоси встановлюють безпосередньо у приймальних ямах, каналах або гноєсховищах. Їх перевагою є відсутність значної висоти всмоктування, компактність і можливість одночасного перемішування маси. Такі насоси доцільні у заглиблених приямках, де необхідно швидко відкачувати гній після роботи скреперів. Основними вимогами до них є герметичність електродвигуна, захист кабелю, стійкість ущільнень до агресивного середовища та доступність для піднімання й обслуговування.

Гвинтові насоси, зокрема шнекові або насоси об'ємної дії, створюють стабільну подачу при перекачуванні в'язких середовищ. Вони краще працюють із більш густою масою, але чутливі до абразивних включень, сухого ходу та потрапляння твердих предметів. MU Extension зазначає, що гвинтові насоси об'ємної дії можуть перекачувати рідини з високим вмістом твердих речовин, але повинні бути захищені від твердих абразивів, таких як пісок, каміння або металеві предмети [5].

Поршневі та діафрагмові насоси також належать до насосів об'ємної дії. Вони можуть створювати значний тиск і застосовуватися для більш в'язких матеріалів, але мають пульсуючу подачу, клапани, які чутливі до забруднення, та вищі вимоги до захисту трубопроводу від надлишкового тиску. У джерелах з перекачування рідкого гною зазначається, що поршневі й діафрагмові насоси корисні як перекачувальні насоси для в'язких і волокнистих матеріалів, але пульсації роблять їх менш придатними для деяких видів зрошувального внесення [6].

Вакуумні насоси найчастіше використовують не для стаціонарної лінії, а у складі вакуумних цистерн. Вони створюють розрідження у цистерні,

завдяки чому гній засмоктується з приймального приямка, а потім транспортується мобільним агрегатом. Такий спосіб універсальний, але він менш зручний для повністю автоматизованого безперервного гноєвидалення у великих приміщеннях і потребує достатньої кількості мобільної техніки.

Експериментальні дослідження насосів для гноївки показують, що їхня ефективність суттєво залежить від вмісту сухих речовин. У роботі ASABE порівнювали гвинтові, занурювальні та відцентрові насоси, зокрема конструкції з подрібнювачем і мішалкою, на гної великої рогатої худоби з різним вмістом сухих речовин; для кожного насоса будували характеристики «напір–подача», споживання потужності та ККД [7]. Це підтверджує, що підбір і модернізація насоса повинні виконуватися не абстрактно, а з урахуванням фактичних властивостей гною на конкретній фермі.

Для молочно-товарної ферми з безпідстилковим утриманням найбільш доцільним є насос, який поєднує достатню продуктивність, стійкість до засмічення, здатність перекачувати волокнисті домішки, просте очищення робочої камери та помірні енергетичні витрати. Типовими напрямками модернізації є збільшення прохідного перерізу всмоктувального патрубку, застосування напіввідкритого або вільновихрового робочого колеса, встановлення різального елемента перед колесом, поліпшення форми корпусу для зменшення застійних зон, використання зносостійких матеріалів, удосконалення ущільнень та введення швидкознімної кришки для обслуговування.

Важливо також узгодити насос із трубопроводом. Завелика швидкість руху гноївки підвищує гідравлічні втрати та зношування труб, а замала швидкість сприяє осіданню твердих часток. Для трубопроводів рідких відходів у довідкових матеріалах рекомендують обмежувати швидкість у трубі, щоб зменшити гідроудари та втрати на тертя, а у всмоктувальних лініях підтримувати ще нижчі швидкості [5]. Отже, модернізація насоса повинна супроводжуватися перевіркою діаметра трубопроводу, довжини лінії, висоти підйому і режиму заповнення приймального приямка.

Таблиця 1.3 – Аналіз насосів для перекачування рідкого гною

Тип насоса	Переваги	Недоліки
Відцентровий з відкритим або напіввідкритим колесом	Проста конструкція, значна подача, зручність приводу	Ризик забивання волокнистими домішками, зменшення ККД при в'язкій масі
Відцентровий з подрібнювачем	Подрібнює волокна на вході, зменшує закупорювання, може працювати при змінному складі гноївки	Більше зношування різального вузла, потреба в регулюванні зазорів
Занурювальний	Не потребує значної висоти всмоктування, компактний, може працювати у прямку	Складніші умови ремонту, вимоги до герметичності електродвигуна
Гвинтовий	Стабільна подача в'язких середовищ, здатність створювати значний напір	Чутливість до абразивів і сухого ходу, вища вартість робочих пар
Поршневий або діафрагмовий	Високий тиск, робота з в'язкими матеріалами	Пульсуюча подача, клапани чутливі до забруднення, потреба у захисті від перевантаження
Вакуумна система цистерни	Мобільність, можливість обслуговування різних ємкостей	Не забезпечує автоматичну стаціонарну роботу, залежність від тракторного агрегату

1.4 Висновки до розділу

1. Безприв'язне боксове утримання ВРХ є раціональною технологією для сучасних молочно-товарних ферм, але при безпідстилковому варіанті воно потребує постійно справної системи очищення проходів і перекачування рідкого гною.

2. Найбільш поширеними елементами безпідстилкового утримання є щільнна підлога, суцільні проходи зі скреперними установками та гумові килимки у боксах для відпочинку. Їх ефективність залежить від чистоти підлоги, своєчасного видалення гною і правильного відведення рідкої фракції.

3. Технології видалення рідкого гною включають самопливні канали, скреперне очищення, підпідлогові накопичувальні канали, гідрозмив і насосно-трубопровідне транспортування. Для МТФ із безпідстилковим утриманням доцільно застосовувати комбіновану схему з приймальним напрямком і насосною подачею до гноєсховища.

4. Насосний вузол є найбільш відповідальною ланкою технологічного процесу, оскільки він працює з неоднорідним, абразивним і волокнистим середовищем. Саме насос визначає безперервність роботи всієї лінії після надходження гною у приймальну ємкість.

5. Аналіз конструкцій показав, що звичайні відцентрові насоси мають обмежену придатність для гноївки з волокнистими домішками, гвинтові насоси чутливі до абразивів, а поршневі й діафрагмові установки складніші в експлуатації. Найперспективнішим напрямом є модернізація відцентрового або вільновихрового насоса з підвищеною прохідністю та елементами подрібнення домішок.

6. Подальше удосконалення насоса для перекачування безпідстилкового гною повинно бути спрямоване на зменшення засмічення, підвищення надійності, спрощення очищення робочої камери, зниження зношування деталей і забезпечення стабільної подачі гною до гноєсховища за змінної вологості та неоднорідного складу маси.

2 Модернізація технологічного процесу видалення безпідстилкового гною

2.1 Обґрунтування важливості питання

Ефективне видалення безпідстилкового гною є однією з головних умов стабільної роботи молочно-товарної ферми, оскільки від справності цієї ланки залежать санітарний стан приміщень, мікроклімат, безпека руху тварин, витрати ручної праці та можливість подальшого використання органічних відходів як добрива. На фермах з безприв'язним утриманням ВРХ гній формується як суміш фекалій, сечі, технологічної води, залишків корму і дрібних механічних домішок. Така маса має несталий склад і змінну в'язкість, тому її переміщення потребує надійних каналів, гноєприймачів та насосного обладнання з підвищеною стійкістю до засмічення [9].

Для ферми на 600 дійних корів зі шлейфом технологічний процес видалення гною повинен забезпечувати ритмічне очищення проходів після основних циклів годівлі та доїння, швидке транспортування гнойової маси до гноєприймача, а далі — перекачування до гноєсховища або лінії попередньої підготовки. За даними довідкових матеріалів з управління гноєм, сучасна дійна корова утворює в середньому близько 68 кг гнойової маси на добу, причому фактичний вихід залежить від живої маси, рівня продуктивності, раціону та кількості технологічної води [10]. Тому при проектуванні системи необхідно враховувати не тільки середню добову кількість гною, а й нерівномірність його надходження протягом доби.

На практиці найчастіше застосовують комбіновану схему: гній з технологічних проходів прибирають скреперними установками або самопливом через щілинну підлогу, після чого він потрапляє у поперечний канал чи гноєприймач. Далі маса перекачується насосом по напірному трубопроводу в накопичувач. Така схема є доцільною для великих ферм, оскільки дозволяє розділити операції збирання і транспортування гною, зменшує тривалість перебування гнойової маси у приміщенні та полегшує механізацію процесу [11].

Разом із тим найбільш навантаженим елементом технологічної лінії є насос. Він працює з неоднорідним середовищем, у якому можуть бути залишки корму, волокнисті включення, пісок, частинки підстилки, солома, дрібне каміння або інші абразивні домішки. Звичайні відцентрові насоси при такій роботі швидко втрачають продуктивність через забивання робочого колеса, зношування ущільнень і зменшення фактичного напору. Тому модернізацію технологічного процесу доцільно спрямувати на підвищення пропускної здатності та надійності насосного вузла, забезпечення стабільної подачі гнойової маси і зменшення простоїв на очищення.

Метою модернізації у даному розділі є обґрунтування технологічної схеми видалення безпідстилкового гною на фермі ВРХ з 600 дійними коровами, визначення основних параметрів процесу та підбір розрахункових показників для удосконалення насоса. Удосконалення повинно забезпечити роботу з рідким гноєм підвищеної неоднорідності, зменшити ризик закупорювання всмоктувальної частини, стабілізувати подачу та забезпечити резерв продуктивності на пікові надходження.

2.2 Вихідні дані та зоотехнічні вимоги

Розрахунки виконано для молочно-товарної ферми ВРХ на 600 дійних корів зі шлейфом. Приймається безпідстилкова система утримання з боксами для відпочинку, гнойовими проходами і механізованим очищенням. Основними джерелами надходження гною є корівники, доїльний блок, переддоїльні та післядоїльні майданчики, а також канали збору технологічної води після санітарного миття обладнання.

Зоотехнічні вимоги до системи видалення гною передбачають регулярне очищення гнойових проходів без травмування тварин, мінімальне накопичення вологи на підлозі, недопущення різкого підвищення концентрації аміаку у приміщенні та збереження нормальних умов для відпочинку корів. Гній необхідно видаляти з проходів не рідше двох разів на добу, а за високої вологості підлоги або інтенсивного руху тварин — частіше. Затримка гною у

проходах збільшує ковзання, погіршує чистоту вимені та кінцівок, сприяє розвитку мікрофлори і підвищує витрати праці на ручне доочищення.

Вихідні дані для розрахунку технологічного процесу наведено в таблиці 2.1.

Таблиця 2.1 – Вихідні дані для розрахунку технологічного процесу

Показник	Позначення	Значення
Кількість дійних корів	N	600 голів
Середній добовий вихід гнойової маси від однієї корови	g_d	68 кг/гол.·добу
Коефіцієнт урахування технологічної води	k_v	1,15
Середня густина рідкого гною	ρ	1030 кг/м ³
Кількість циклів очищення на добу	$n_{\text{ц}}$	2
Загальна тривалість роботи насоса на добу	t_n	2 год
Коефіцієнт запасу продуктивності	k_3	1,25
Орієнтовна довжина напірного трубопроводу	L	130 м
Прийнятий внутрішній діаметр трубопроводу	D	0,10 м
Геодезична висота підйому	H_{Γ}	3,0 м

Для безпідстилкового утримання важливо забезпечити узгоджену роботу трьох зон: місця утворення гною, приймально-транспортної частини та гноєсховища. У місці утворення гній не повинен накопичуватися шаром, що ускладнює рух тварин і техніки. У приймальній частині гній має надходити без зависання в каналах, а у напірному трубопроводі швидкість руху повинна бути достатньою для перенесення дрібних твердих домішок. У гноєсховищі необхідно передбачати об'єм з урахуванням строку накопичення, опадів, технологічної води та запасу на нерівномірність надходження [12].

Основні зоотехнічні та технологічні вимоги до модернізованої системи наведено в таблиці 2.2.

Таблиця 2.2 – Зоотехнічні та технологічні вимоги до системи видалення гною

Вимога	Призначення	Реалізація у проєкті
Регулярне очищення проходів	Підтримання чистоти підлоги та зменшення ковзання	Два основні цикли прибирання з можливістю додаткового запуску
Мінімальне перебування гною у приміщенні	Зменшення запаху, вологості та виділення аміаку	Передача гною у поперечний канал і гноєприймач після кожного циклу
Стабільне перекачування рідкої маси	Недопущення переповнення гноєприймача	Насос з резервом продуктивності та захистом від засмічення
Робота з неоднорідною масою	Перекачування волокнистих і дрібних твердих домішок	Збільшений прохід робочого органа, подрібнювальний або перемішувальний вузол
Можливість технічного обслуговування	Скорочення простоїв	Ревізійні люки, запірні арматура, доступ до всмоктувальної частини
Енергоощадність	Зменшення експлуатаційних витрат	Робота насоса за графіком, вибір діаметра трубопроводу за допустимою швидкістю

2.3 Розробка технологічної схеми процесу

За основу прийнято схему, наведену у вихідному файлі розділу. Вона передбачає обслуговування трьох корівників на 200 голів кожний, доїльно-молочного блока, гноєприймача, гноєзбірника та насосної станції. Гній з корівників надходить у поздовжні канали або гнойові проходи, переміщується до поперечного каналу, після чого потрапляє у гноєприймач. Далі насосна

станція перекачує рідкий гній напірною лінією до гноєсховища або наступної споруди обробки.

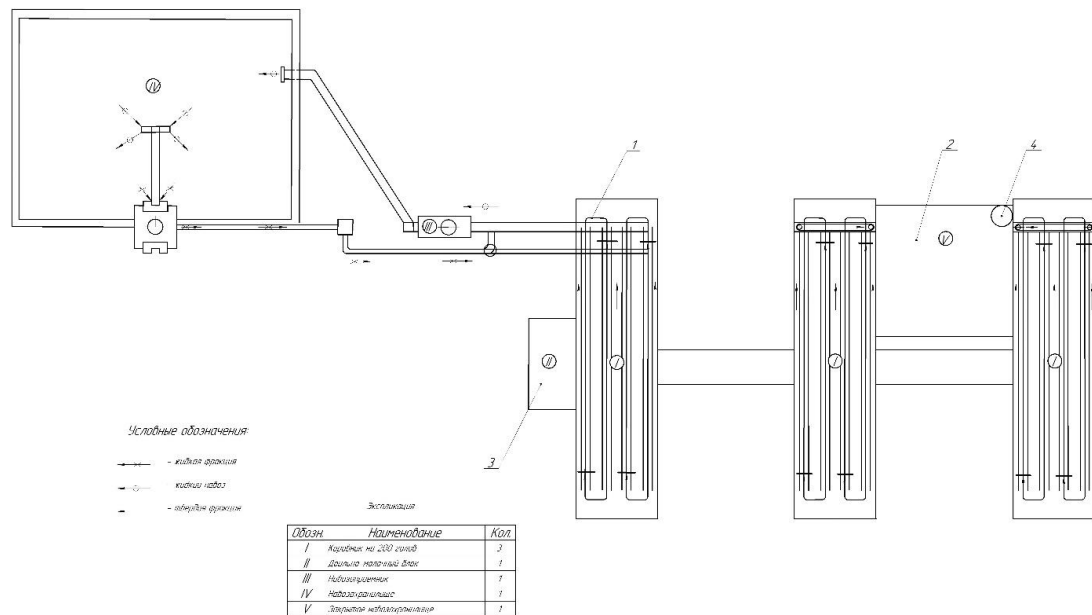


Рисунок 2.1 – Технологічна схема видалення безпідстилкового гною на фермі ВРХ

На схемі застосовано такі основні елементи: 1 — корівник на 200 голів; 2 — доїльно-молочний блок; 3 — гноєприймач; 4 — гноєзбірник; 5 — насосна станція або вузол напірного перекачування. Умовними лініями показано напрямки руху гною, технологічної води та рух рідкої фракції. Для ферми на 600 дійних корів така компоновка є раціональною, оскільки кожен корівник має власну зону первинного збирання, а централізоване перекачування виконується через один насосний вузол.

Технологічний процес роботи лінії включає такі операції:

1. Накопичення гною у гнойових проходах і каналах корівників.
2. Переміщення гнойової маси скреперними установками до поперечного каналу.
3. Самопливне або примусове надходження гною у гноєприймач.
4. Короткочасне перемішування маси у гноєприймачі перед перекачуванням.

5. Вмикання насоса та подача рідкого гною по напірному трубопроводу.

6. Скидання гною у гноєсховище з можливістю подальшого внесення на поля або переробки.

Перевагою прийнятої схеми є простота планування і можливість поступового завантаження гноєприймача від окремих корівників. Це знижує пікове навантаження на насос, полегшує контроль за роботою скреперів і дозволяє виконувати ремонт окремого каналу без повної зупинки ферми. Недоліком базової схеми є висока залежність від надійності насосного вузла: при його зупинці гноєприймач швидко переповнюється, а у каналах виникає застій маси. Тому модернізація повинна передбачати удосконалення насоса, зокрема збільшення прохідного перерізу, захист робочого органа від волокнистих включень та забезпечення стабільної подачі при зміні густини гною.

Для покращення роботи технологічної лінії пропонується модернізувати насосний вузол за такими напрямками:

1. встановлення приймального перемішувача у гноєприймачі для вирівнювання концентрації сухих речовин;
2. застосування насоса з відкритим або напіввідкритим робочим колесом, придатним для перекачування забруднених рідин;
3. збільшення діаметра всмоктувального патрубка і зменшення кількості різких поворотів перед насосом;
4. встановлення ревізійного люка та швидкознімної кришки для очищення робочої камери;
5. захист електродвигуна від перевантаження при потраплянні твердих включень;
6. застосування запірної арматури для можливості обслуговування без спорожнення всієї системи.

Запропонована модернізація не змінює загальної схеми руху гною, але підвищує надійність найбільш відповідальної ділянки — перекачування з

гноєприймача до накопичувача. Це дозволяє зберегти технологічну наступність і водночас усунути основний експлуатаційний недолік системи.

2.4 Розрахунок технічних та технологічних параметрів процесу

Розрахунок виконано з метою визначення добового виходу гнойової маси, необхідної продуктивності насоса, діаметра напірного трубопроводу, розрахункового напору та потужності приводу. Всі розрахункові залежності подано з поясненням елементів формул. Номери ставляться лише біля основних розрахункових формул, а біля числових підстановок номери не наводяться.

Добову масу безпідстилкового гною з урахуванням технологічної води визначають за формулою [1, 2]:

$$G_{\text{доб}} = N \cdot g_{\text{д}} \cdot k_{\text{в}} \quad (2.1)$$

де:

$G_{\text{доб}}$ – добова маса гнойової суміші, кг/добу;

N – кількість дійних корів, голів;

$g_{\text{д}}$ – середній добовий вихід гною від однієї корови, кг/гол·добу;

$k_{\text{в}}$ – коефіцієнт урахування технологічної води.

Підставляємо прийняті значення:

$$G_{\text{доб}} = 600 \cdot 68 \cdot 1,15 = 46920 \text{ кг/добу} = 46,92 \text{ т/добу}$$

Добовий об'єм гнойової маси визначають через її густину:

$$V_{\text{доб}} = \frac{G_{\text{доб}}}{\rho} \quad (2.2)$$

де:

$V_{\text{доб}}$ – добовий об'єм гнойової маси, м³/добу;

$G_{\text{доб}}$ – добова маса гнойової суміші, кг/добу;

ρ – густина рідкого гною, кг/м³.

Підставляємо значення:

$$V_{\text{доб}} = \frac{46920}{1030} = 45,55 \text{ м}^3/\text{добу}$$

Об'єм гною, що надходить до гноєприймача за один цикл очищення, визначають за формулою:

$$V_{\text{ц}} = \frac{V_{\text{доб}}}{n_{\text{ц}}} \quad (2.3)$$

де:

$V_{\text{ц}}$ – об'єм гною за один цикл очищення, м^3 ;

$V_{\text{доб}}$ – добовий об'єм гнойової маси, $\text{м}^3/\text{добу}$;

$n_{\text{ц}}$ – кількість циклів очищення на добу.

Підставляємо значення:

$$V_{\text{ц}} = \frac{45,55}{2} = 22,78 \text{ м}^3$$

Необхідну продуктивність насоса визначають з урахуванням добового об'єму, тривалості його роботи і коефіцієнта запасу продуктивності [14]:

$$Q_{\text{н}} = \frac{k_3 \cdot V_{\text{доб}}}{t_{\text{н}}} \quad (2.4)$$

де:

$Q_{\text{н}}$ – необхідна продуктивність насоса, $\text{м}^3/\text{год}$;

k_3 – коефіцієнт запасу продуктивності;

$V_{\text{доб}}$ – добовий об'єм гнойової маси, $\text{м}^3/\text{добу}$;

$t_{\text{н}}$ – сумарна тривалість роботи насоса протягом доби, год.

Підставляємо значення:

$$Q_{\text{н}} = \frac{1,25 \cdot 45,55}{2} = 28,47 \text{ м}^3/\text{год}$$

За результатом розрахунку приймаємо розрахункову продуктивність насоса $Q_{\text{н}} = 30 \text{ м}^3/\text{год}$. Такий запас дозволяє компенсувати пікові надходження гнойової маси після доїння, короткочасне збільшення кількості технологічної води і зниження фактичної подачі при підвищенні в'язкості.

Розрахункову продуктивність переводять у $\text{м}^3/\text{с}$:

$$Q_{\text{нс}} = \frac{Q_{\text{н}}}{3600} \quad (2.5)$$

де:

$Q_{\text{нс}}$ – продуктивність насоса, $\text{м}^3/\text{с}$;

$Q_{\text{н}}$ – продуктивність насоса, $\text{м}^3/\text{год}$.

Підставляємо значення:

$$Q_{\text{нс}} = \frac{30}{3600} = 0,00833 \text{ м}^3/\text{с}$$

Внутрішній діаметр напірного трубопроводу за заданою допустимою швидкістю руху гною визначають за формулою:

$$D_p = \sqrt{\frac{4Q_{\text{нс}}}{\pi v_{\text{доп}}}} \quad (2.6)$$

де:

D_p – розрахунковий внутрішній діаметр трубопроводу, м;

$Q_{\text{нс}}$ – продуктивність насоса, $\text{м}^3/\text{с}$;

$v_{\text{доп}}$ – допустима швидкість руху рідкого гною у трубопроводі, м/с.

Підставляємо значення:

$$D_p = \sqrt{\frac{4 \cdot 0,00833}{3,14 \cdot 1,1}} = 0,098 \text{ м}$$

За розрахунком приймаємо стандартний трубопровід з внутрішнім діаметром $D = 0,10 \text{ м}$. Фактичну швидкість руху гною у прийнятому трубопроводі визначають за формулою:

$$v = \frac{4Q_{\text{нс}}}{\pi D^2} \quad (2.7)$$

де:

v – фактична швидкість руху гнойової маси у трубопроводі, м/с;

$Q_{\text{нс}}$ – продуктивність насоса, $\text{м}^3/\text{с}$;

D – прийнятий внутрішній діаметр трубопроводу, м.

Підставляємо значення:

$$v = \frac{4 \cdot 0,00833}{3,14 \cdot 0,10^2} = 1,06 \text{ м/с}$$

Отримана швидкість є достатньою для транспортування рідкого гною з дрібними завислими домішками і не створює надмірних гідравлічних втрат у напірній лінії.

Загальний напір насоса визначають як суму геодезичної висоти підйому, втрат напору в трубопроводі, місцевих втрат і запасу на викид у гноєсховище:

$$H = H_{\Gamma} + h_{\text{тр}} + h_{\text{м}} + H_{\text{з}} \quad (2.8)$$

де:

H – сумарний напір насоса без урахування поправки на неоднорідність середовища, м;

H_{Γ} – геодезична висота підйому гнойової маси, м;

$h_{\text{тр}}$ – втрати напору на тертя в прямолінійній ділянці трубопроводу, м;

$h_{\text{м}}$ – місцеві втрати напору, м;

$H_{\text{з}}$ – запас напору на викид у гноєсховище і несталі режими роботи, м.

Втрати напору на тертя визначають за формулою Дарсі–Вейсбаха [14]:

$$h_{\text{тр}} = \lambda \cdot \frac{L}{D} \cdot \frac{v^2}{2g} \quad (2.9)$$

де:

$h_{\text{тр}}$ – втрати напору на тертя, м;

λ – коефіцієнт гідравлічного опору трубопроводу;

L – довжина напірного трубопроводу, м;

D – внутрішній діаметр трубопроводу, м;

v – фактична швидкість руху гнойової маси, м/с;

g – прискорення вільного падіння, м/с².

Підставляємо значення:

$$h_{\text{тр}} = 0,04 \cdot \frac{130}{0,10} \cdot \frac{1,06^2}{2 \cdot 9,81} = 2,98 \text{ м}$$

Місцеві втрати напору визначають за формулою:

$$h_{\text{м}} = \sum \xi \cdot \frac{v^2}{2g} \quad (2.10)$$

де:

h_m – місцеві втрати напору, м;

$\Sigma \xi$ – сума коефіцієнтів місцевих опорів;

v – фактична швидкість руху гнойової маси, м/с;

g – прискорення вільного падіння, м/с².

Підставляємо значення:

$$h_m = 8 \cdot \frac{1,06^2}{2 \cdot 9,81} = 0,46 \text{ м}$$

Сумарний напір без поправки на неоднорідність середовища становить:

$$H = 3,0 + 2,98 + 0,46 + 1,5 = 7,94 \text{ м}$$

Оскільки рідкий гній є неоднорідним середовищем, розрахунковий напір насоса приймають з поправкою на підвищену в'язкість і наявність твердих включень:

$$H_p = k_c \cdot H \quad (2.11)$$

де:

H_p – розрахунковий напір насоса, м;

k_c – коефіцієнт урахування складності перекачуваного середовища;

H – сумарний напір без поправки, м.

Підставляємо значення:

$$H_p = 1,2 \cdot 7,94 = 9,53 \text{ м}$$

Отже, для проектної лінії приймаємо насос із продуктивністю не менше 30 м³/год і напором не менше 10 м.

Гідравлічну потужність насоса визначають за формулою [14]:

$$P_r = \frac{\rho g Q_{nc} H_p}{1000} \quad (2.12)$$

де:

P_r – гідравлічна потужність насоса, кВт;

ρ – густина рідкого гною, кг/м³;

g – прискорення вільного падіння, м/с²;

Q_{nc} – продуктивність насоса, м³/с;

H_p – розрахунковий напір насоса, м.

Підставляємо значення:

$$P_{\Gamma} = \frac{1030 \cdot 9,81 \cdot 0,00833 \cdot 9,53}{1000} = 0,80 \text{ кВт}$$

Потрібну потужність на валу насоса визначають з урахуванням коефіцієнта корисної дії насоса і передачі:

$$P_{\text{в}} = \frac{P_{\Gamma}}{\eta_{\text{н}} \cdot \eta_{\text{п}}} \quad (2.13)$$

де:

$P_{\text{в}}$ – потужність на валу насоса, кВт;

P_{Γ} – гідравлічна потужність насоса, кВт;

$\eta_{\text{н}}$ – коефіцієнт корисної дії насоса;

$\eta_{\text{п}}$ – коефіцієнт корисної дії передачі.

Підставляємо значення:

$$P_{\text{в}} = \frac{0,80}{0,55 \cdot 0,95} = 1,53 \text{ кВт}$$

Потужність електродвигуна з урахуванням коефіцієнта запасу визначають за формулою:

$$P_{\text{е}} = k_{\text{п}} \cdot P_{\text{в}} \quad (2.14)$$

де:

$P_{\text{е}}$ – розрахункова потужність електродвигуна, кВт;

$k_{\text{п}}$ – коефіцієнт запасу потужності;

$P_{\text{в}}$ – потужність на валу насоса, кВт.

Підставляємо значення:

$$P_{\text{е}} = 1,3 \cdot 1,53 = 1,99 \text{ кВт}$$

З урахуванням несталою складу гною, можливого потрапляння волокнистих домішок і необхідності короткочасної роботи при підвищеному навантаженні приймаємо електродвигун потужністю 4,0 кВт. Такий вибір забезпечує резерв для пуску насоса під навантаженням і зменшує ризик перегрівання приводу.

Розрахунковий об'єм гноєсховища на період накопичення визначають за формулою:

$$V_{\text{сх}} = V_{\text{доб}} \cdot T_{\text{зб}} \cdot k_{\text{р}} \quad (2.15)$$

де:

$V_{\text{сх}}$ – необхідний об'єм гноєсховища, м^3 ;

$V_{\text{доб}}$ – добовий об'єм гнойової маси, $\text{м}^3/\text{добу}$;

$T_{\text{зб}}$ – тривалість періоду накопичення, діб;

$k_{\text{р}}$ – коефіцієнт резерву об'єму гноєсховища.

Підставляємо значення для періоду накопичення 180 діб:

$$V_{\text{сх}} = 45,55 \cdot 180 \cdot 1,1 = 9018,9 \text{ м}^3$$

Отже, необхідний об'єм гноєсховища становить не менше 9000 м^3 . За можливості доцільно передбачати секційне гноєсховище або резервну карту, що дозволить виконувати ремонт, перемішування і вивезення гною без зупинки технологічного процесу.

Річний обсяг гнойової маси визначають за формулою:

$$V_{\text{річ}} = V_{\text{доб}} \cdot 365 \quad (2.16)$$

де:

$V_{\text{річ}}$ – річний обсяг гнойової маси, $\text{м}^3/\text{рік}$;

$V_{\text{доб}}$ – добовий об'єм гнойової маси, $\text{м}^3/\text{добу}$.

Підставляємо значення:

$$V_{\text{річ}} = 45,55 \cdot 365 = 16625,75 \text{ м}^3/\text{рік}$$

Отримані результати показують, що головними параметрами для модернізації є продуктивність насоса не менше $30 \text{ м}^3/\text{год}$, напір не менше 10 м, діаметр напірного трубопроводу 100 мм та наявність резерву потужності електродвигуна. Найбільш доцільним є застосування насоса для забруднених рідин з відкритим робочим колесом або подрібнювальним пристроєм, оскільки саме насосний вузол визначає безперервність роботи всієї лінії.

2.5 Висновки до розділу

У розділі виконано обґрунтування технологічного процесу видалення безпідстилкового гною на молочно-товарній фермі ВРХ на 600 дійних корів зі шлейфом. Прийнято схему з трьома корівниками по 200 голів, доїльно-молочним блоком, гноєприймачем, гноєзбірником і насосною станцією. Така схема забезпечує централізоване перекачування гнойової маси і дає можливість організувати очищення приміщень за графіком.

На основі вихідних даних визначено, що добова маса гнойової суміші становить 46,92 т/добу, а добовий об'єм — 45,55 м³/добу. За двох циклів очищення об'єм гною за один цикл становить 22,78 м³. Необхідна продуктивність насоса з урахуванням коефіцієнта запасу становить 28,47 м³/год, тому прийнято насос продуктивністю 30 м³/год.

Розрахунком встановлено, що доцільним є застосування напірного трубопроводу діаметром 100 мм, у якому фактична швидкість руху гнойової маси становить 1,06 м/с. Розрахунковий напір насоса з урахуванням втрат і поправки на неоднорідність середовища становить 9,53 м, тому приймається насос із напором не менше 10 м. Для приводу насоса прийнято електродвигун потужністю 4,0 кВт, що забезпечує необхідний запас на пуск і роботу з неоднорідним середовищем.

Проведені розрахунки підтверджують необхідність модернізації насосного вузла. Основна увага має бути приділена збільшенню прохідного перерізу, захисту робочого органа від волокнистих включень, зручності очищення та підвищенню надійності роботи при змінній густині рідкого гною. Саме ці рішення забезпечать стабільну роботу технологічного процесу видалення безпідстилкового гною і зменшать ризик аварійних зупинок ферми.

3 Удосконалення насоса для перекачування рідкого гною

3.1 Обґрунтування необхідності удосконалення

У технологічному процесі видалення безпідстилкового гною на молочно-товарній фермі насосний вузол є найбільш навантаженою частиною лінії. Через нього проходить неоднорідна гнойова маса, до складу якої входять фекалії, сеча, технологічна вода, залишки корму, пісок, частинки підстилки, волокнисті включення та дрібні тверді домішки. Така суміш має несталу густину, підвищену в'язкість і схильність до розшарування, тому звичайне робоче колесо відцентрового насоса часто працює в умовах підвищених гідравлічних втрат і засмічення проточних каналів [9].

За результатами розділу 2 для ферми на 600 дійних корів зі шлейфом прийнято розрахункову продуктивність насосної лінії не менше 30 м³/год і напір не менше 10 м. Такі параметри є достатніми для перекачування добового об'єму гнойової маси, однак надійність процесу залежить не тільки від продуктивності насоса, а й від конструкції його робочого органа. При потраплянні соломистих або кормових залишків у корпус насоса можливі забивання міжлопатевих каналів, збільшення навантаження на електродвигун, зниження фактичної подачі та аварійна зупинка лінії.

У довідкових матеріалах з використання обладнання для рідкого гною зазначається, що для мас із підвищеним вмістом завислих домішок доцільно застосовувати насоси з відкритими або напіввідкритими робочими колесами, а також конструкції з подрібнювальною чи шнековою дією, які зменшують ризик забивання всмоктувальної частини [5]. Тому модернізацію насоса доцільно спрямувати на зміну конструкції робочого колеса: збільшення прохідного перерізу, надання потоку осьово-відцентрового руху, підвищення самоочищення лопатей і зменшення ймовірності намотування волокнистих включень.

Необхідність удосконалення насоса зумовлена такими причинами:

7. несталість складу рідкого гною і наявність твердих та волокнистих включень;

8. зниження фактичної продуктивності при забиванні міжлопатевих каналів;
9. підвищене навантаження на електродвигун при запуску насоса у забрудненому середовищі;
10. необхідність забезпечення стабільного спорожнення гноєприймача після кожного циклу очищення;
11. потреба у скороченні часу технічного обслуговування і ручного очищення насоса;
12. підвищення експлуатаційної надійності всієї технологічної лінії видалення гною.

Отже, удосконалення насоса слід виконати шляхом заміни звичайного робочого колеса на відкритий гвинтовий робочий орган з плавними криволінійними лопатями. Така конструкція повинна одночасно виконувати функції захоплення гнойової маси, попереднього перемішування, подрібнення дрібних волокнистих включень і подачі суміші до вихідного патрубку.

3.2 Вихідні дані

Вихідні дані прийнято з урахуванням технологічних розрахунків розділу 2, зоотехнічних вимог до безпідстилкового утримання ВРХ та конструктивних параметрів насоса, наведених на кресленнях у вихідному файлі. Рідкий гній розглядається як неоднорідна суспензія з вмістом сухих речовин орієнтовно 6–10 %, густиною 1020–1050 кг/м³ та можливим включенням дрібних волокнистих частинок. Такі характеристики відповідають умовам гідравлічного транспортування рідкого гною на фермах ВРХ [1, 2].

До зоотехнічних вимог, які враховуються під час удосконалення насоса, належать: недопущення переповнення гноєприймача, стабільне перекачування маси після циклів очищення, можливість роботи з неоднорідним рідким гноєм, відсутність різкого подрібнення до утворення зависів у трубопроводі, безпечне обслуговування та швидкий доступ до робочої камери. Насос повинен зберігати працездатність при короткочасному збільшенні густини суміші та при надходженні волокнистих домішок.

Основні вихідні дані для розрахунку удосконаленого робочого колеса наведено в таблиці 3.1.

Таблиця 3.1 – Вихідні дані для розрахунку удосконаленого насоса

Показник	Позначення	Значення
Розрахункова продуктивність насоса	Q_n	30 м ³ /год
Продуктивність у системі SI	Q	0,00833 м ³ /с
Розрахунковий напір насоса	H	10 м
Густина рідкого гною	ρ	1030 кг/м ³
Частота обертання робочого колеса	n	1450 хв ⁻¹
Зовнішній діаметр робочого колеса	D_2	0,220 м
Діаметр вхідного перерізу	D_1	0,100 м
Діаметр маточини у вхідному перерізі	d_0	0,040 м
Ширина вихідного каналу робочого колеса	b_2	0,051 м
Коефіцієнт живого перерізу каналу	φ	0,72
Коефіцієнт напору робочого колеса	ψ	0,36
Орієнтовний зазор біля лопаті	δ	0,005 м
ККД насоса при перекачуванні гною	η	0,55
Прийнята потужність електродвигуна	P_e	4,0 кВт
Допустиме напруження кручення матеріалу вала	$[\tau]$	25 МПа

3.3 Розробка варіанту удосконалення

За основу прийнято установку для перекачування гною, наведену на кресленні вихідного файлу. Конструкція складається з насосного агрегату, направляючої труби, лебідки, канатного блока, кронштейнів, опори та стійки. Така компоновка дає можливість опускати насос у гноєприймач і піднімати його для огляду або ремонту без демонтажу всієї напірної лінії.

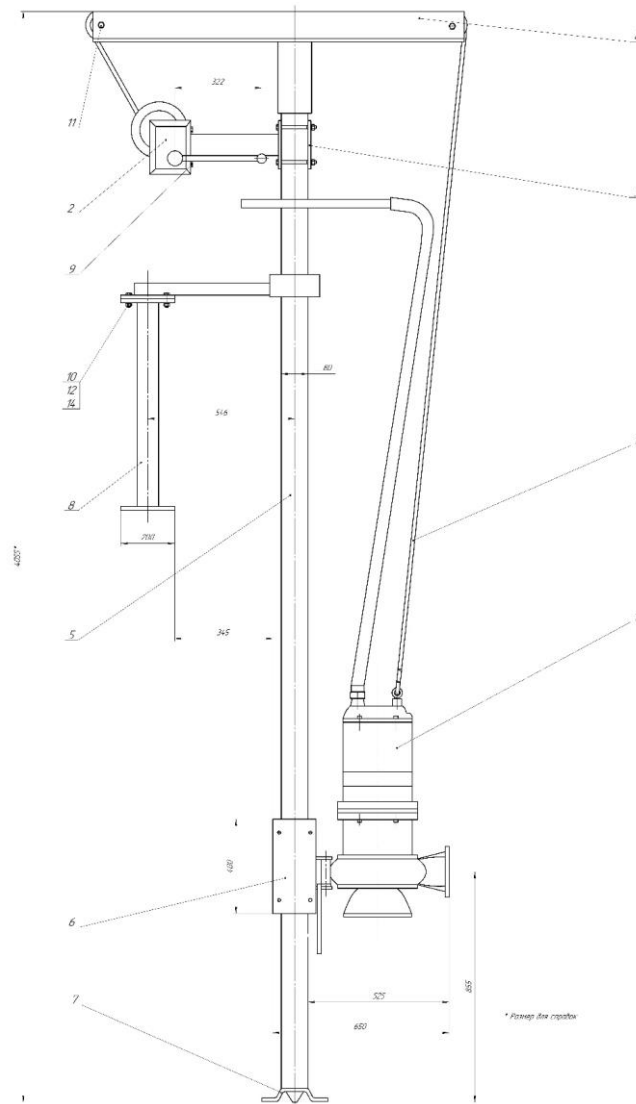


Рисунок 3.1 – Установка для перекачування рідкого гною

Аналіз складального креслення показує, що насос розміщений у нижній частині установки, а передача вертикального переміщення здійснюється лебідкою через канатний блок. Напрямна труба забезпечує положення агрегату відносно гноєприймача, а кронштейни утримують конструкцію у робочому положенні. Напірний патрубок насоса з'єднаний з трубопроводом, яким рідкий гній подається у гноєзбірник або гноєсховище.

Насос, наведений на кресленні, має вертикальне компонування: електродвигун розміщено над насосною частиною, корпус робочої камери знаходиться внизу, а вихідний патрубок виконано збоку. Така схема є зручною

для встановлення у гноєприймачі, оскільки насосна частина занурюється у рідку масу, а двигун залишається вище зони активного контакту з гноєм.

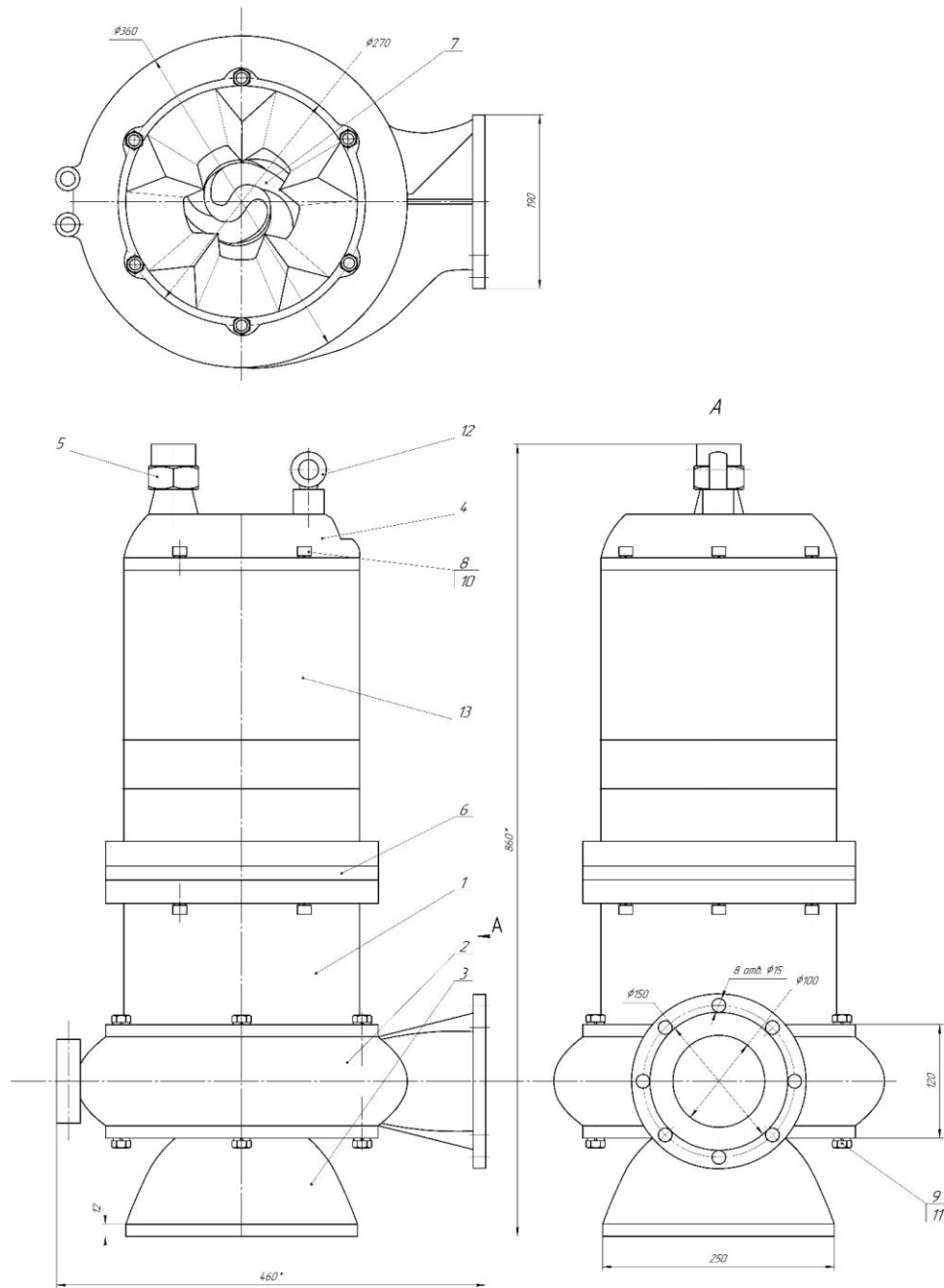


Рисунок 3.2 – Насос для перекачування рідкого гною

Основним недоліком базового насоса є ймовірність забивання робочого колеса при надходженні волокнистих включень. У звичайному відцентровому колесі міжлопатеві канали мають обмежений прохідний переріз, тому солома, залишки корму та довгі органічні частинки можуть намотуватися на маточину

2. створює попередній осьовий рух, який зменшує застій у центрі колеса;
3. підвищує прохідність насоса для волокнистих і дрібних твердих включень;
4. зменшує ймовірність забивання міжлопатевих каналів;
5. сприяє частковому перемішуванню гнойової маси перед викидом у напірний патрубок;
6. знижує трудомісткість очищення, оскільки робочий орган має відкриту форму.

Для виготовлення робочого колеса доцільно застосовувати сталь з антикорозійним покриттям або зносостійке виконання лопатей. Кромки лопатей мають бути заокруглені для зменшення концентрації напружень, а поверхні, що контактують з гноєм, повинні мати мінімальну шорсткість, оскільки налипання органічних залишків підвищує гідравлічний опір і знижує самоочищення.

3.4 Розрахунок конструкційно-технологічних параметрів

Розрахунок виконано для перевірки відповідності удосконаленого гвинтового робочого колеса заданій продуктивності, напору та умовам перекачування рідкого гною. Номери наведено лише біля основних розрахункових формул, а біля числових підстановок номери не ставляться.

Продуктивність насоса переводять із м³/год у м³/с за формулою:

$$Q = \frac{Q_n}{3600} \quad (3.1)$$

де:

Q – продуктивність насоса, м³/с;

Q_n – продуктивність насоса, м³/год.

Підставляємо прийняте значення:

$$Q = \frac{30}{3600} = 0,00833 \text{ м}^3/\text{с}$$

Площа вхідного перерізу робочого колеса з урахуванням маточини визначається за формулою:

$$F_1 = \frac{\pi}{4} (D_1^2 - d_0^2) \quad (3.2)$$

де:

F_1 – площа вхідного перерізу робочого колеса, м^2 ;

D_1 – діаметр вхідного перерізу, м;

d_0 – діаметр маточини у вхідному перерізі, м.

Підставляємо значення:

$$F_1 = \frac{3,14}{4} (0,10^2 - 0,04^2) = 0,00659 \text{ м}^2$$

Швидкість входу гнойової маси у робоче колесо визначають за формулою:

$$v_1 = \frac{Q}{F_1} \quad (3.3)$$

де:

v_1 – швидкість входу гнойової маси у робоче колесо, м/с ;

Q – продуктивність насоса, $\text{м}^3/\text{с}$;

F_1 – площа вхідного перерізу робочого колеса, м^2 .

Підставляємо значення:

$$v_1 = \frac{0,00833}{0,00659} = 1,26 \text{ м/с}$$

Отримана швидкість входу не є надмірною для рідкого гною і забезпечує захоплення маси без різкого зростання втрат у всмоктувальній зоні.

Кутову швидкість робочого колеса визначають за формулою:

$$\omega = \frac{2\pi n}{60} \quad (3.4)$$

де:

ω – кутова швидкість робочого колеса, рад/с ;

n – частота обертання робочого колеса, хв^{-1} .

Підставляємо значення:

$$\omega = \frac{2 \cdot 3,14 \cdot 1450}{60} = 151,8 \text{ рад/с}$$

Колова швидкість на зовнішньому діаметрі робочого колеса визначається за формулою [17]:

$$u_2 = \frac{\pi D_2 n}{60} \quad (3.5)$$

де:

u_2 – колова швидкість на зовнішньому діаметрі робочого колеса, м/с;

D_2 – зовнішній діаметр робочого колеса, м;

n – частота обертання робочого колеса, хв^{-1} .

Підставляємо значення:

$$u_2 = \frac{3,14 \cdot 0,220 \cdot 1450}{60} = 16,70 \text{ м/с}$$

Теоретичний напір, який може бути створений робочим колесом, оцінюють за залежністю:

$$H_T = \psi \cdot \frac{u_2^2}{g} \quad (3.6)$$

де:

H_T – теоретичний напір робочого колеса, м;

ψ – коефіцієнт напору робочого колеса;

u_2 – колова швидкість на зовнішньому діаметрі робочого колеса, м/с;

g – прискорення вільного падіння, м/с^2 .

Підставляємо значення:

$$H_T = 0,36 \cdot \frac{16,70^2}{9,81} = 10,23 \text{ м}$$

Розрахунковий теоретичний напір 10,23 м відповідає прийнятому у розділі 2 значенню 10 м, тому зовнішній діаметр 220 мм і частоту обертання 1450 хв^{-1} можна вважати достатніми для заданих умов.

Площу вихідного живого перерізу робочого колеса визначають за формулою:

$$F_2 = \pi D_2 b_2 \varphi \quad (3.7)$$

де:

F_2 – площа вихідного живого перерізу робочого колеса, м^2 ;

D_2 – зовнішній діаметр робочого колеса, м ;

b_2 – ширина вихідного каналу робочого колеса, м ;

φ – коефіцієнт живого перерізу каналу.

Підставляємо значення:

$$F_2 = 3,14 \cdot 0,220 \cdot 0,051 \cdot 0,72 = 0,0254 \text{ м}^2$$

Середню меридіональну швидкість на виході з робочого колеса визначають за формулою:

$$v_2 = \frac{Q}{F_2} \quad (3.8)$$

де:

v_2 – середня меридіональна швидкість на виході з робочого колеса, м/с ;

Q – продуктивність насоса, $\text{м}^3/\text{с}$;

F_2 – площа вихідного живого перерізу робочого колеса, м^2 .

Підставляємо значення:

$$v_2 = \frac{0,00833}{0,0254} = 0,33 \text{ м/с}$$

Невелика меридіональна швидкість на виході пояснюється відкритою формою гвинтового робочого органа і збільшеним прохідним перерізом. Це позитивно впливає на здатність насоса пропускати домішки, однак вимагає збереження достатньої колової швидкості для створення напору.

Мінімальний прохідний розмір між лопаттю і корпусом з урахуванням монтажного зазору визначають за формулою:

$$a_{\text{пр}} = b_2 - 2\delta \quad (3.9)$$

де:

$a_{\text{пр}}$ – мінімальний прохідний розмір у зоні робочого колеса, м ;

b_2 – ширина вихідного каналу робочого колеса, м ;

δ – монтажний зазор біля лопаті, м .

Підставляємо значення:

$$a_{\text{пр}} = 0,051 - 2 \cdot 0,005 = 0,041 \text{ м} = 41 \text{ мм}$$

Отриманий прохідний розмір 41 мм є достатнім для проходження дрібних кормових залишків і волокнистих включень, які найчастіше спричиняють забивання звичайних робочих коліс. Водночас цей розмір не погіршує напірні властивості насоса, оскільки формування напору забезпечується коловою швидкістю і криволінійною формою лопатей.

Потрібну потужність на валу насоса визначають за формулою [14]:

$$P_{\text{в}} = \frac{\rho g Q H}{1000 \eta} \quad (3.10)$$

де:

$P_{\text{в}}$ – потрібна потужність на валу насоса, кВт;

ρ – густина рідкого гною, кг/м³;

g – прискорення вільного падіння, м/с²;

Q – продуктивність насоса, м³/с;

H – розрахунковий напір насоса, м;

η – коефіцієнт корисної дії насоса.

Підставляємо значення:

$$P_{\text{в}} = \frac{1030 \cdot 9,81 \cdot 0,00833 \cdot 10}{1000 \cdot 0,55} = 1,53 \text{ кВт}$$

З урахуванням пускових навантажень, забрудненості гнойової маси і можливого короткочасного підвищення в'язкості приймається електродвигун потужністю 4,0 кВт. Такий запас є доцільним для сільськогосподарських насосів, що працюють з неоднорідними рідинами.

Крутний момент на валу електродвигуна визначають за формулою:

$$M = \frac{9550 P_{\text{е}}}{n} \quad (3.11)$$

де:

M – крутний момент на валу, Н·м;

$P_{\text{е}}$ – потужність електродвигуна, кВт;

n – частота обертання вала, хв⁻¹.

Підставляємо значення:

$$M = \frac{9550 \cdot 4,0}{1450} = 26,34 \text{ Н} \cdot \text{м}$$

Для перевірки мінімального діаметра вала за умовою міцності на кручення використовують залежність:

$$d_{\text{в}} = \sqrt[3]{\frac{16M}{\pi[\tau]}} \quad (3.12)$$

де:

$d_{\text{в}}$ – мінімальний діаметр вала, мм;

M – крутний момент на валу, Н·мм;

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

Для підстановки момент переводять у Н·мм:

$$M = 26,34 \text{ Н} \cdot \text{м} = 26340 \text{ Н} \cdot \text{мм}$$

Підставляємо значення:

$$d_{\text{в}} = \sqrt[3]{\frac{16 \cdot 26340}{3,14 \cdot 25}} = 17,5 \text{ мм}$$

За результатом розрахунку з урахуванням шпонкового паза, корозійного середовища, можливих ударних навантажень і технологічного запасу приймаємо діаметр вала не менше 25 мм. Для з'єднання з робочим колесом доцільно передбачити шпонкове або шліцьове з'єднання, яке забезпечує передачу крутного моменту без провертання колеса на валу.

Проведені розрахунки підтверджують можливість застосування удосконаленого гвинтового робочого колеса діаметром 220 мм для перекачування рідкого гною з продуктивністю 30 м³/год і напором не менше 10 м. Збільшений прохідний переріз і відкрита форма лопатей покращують роботу насоса з неоднорідною масою, а прийнятий запас потужності електродвигуна підвищує надійність запуску та роботи в умовах ферми.

3.5 Висновки до розділу

У розділі обґрунтовано необхідність удосконалення насоса для перекачування рідкого безпідстилкового гною на молочно-товарній фермі. Встановлено, що основними причинами модернізації є забивання робочого колеса волокнистими включеннями, зниження фактичної продуктивності, підвищення навантаження на електродвигун і потреба у стабільному спорожненні гноєприймача після циклів очищення.

Проаналізовано креслення установки для перекачування гною. Визначено, що установка складається з насосного агрегату, лебідки, кронштейнів, канатного блока, направляючої труби, опори і стійки. Така конструкція забезпечує можливість занурення насоса у гноєприймач, його піднімання для обслуговування та підключення до напірного трубопроводу.

Запропоновано удосконалення робочого колеса насоса шляхом застосування відкритого гвинтового робочого органа з криволінійними лопатями. Сутність удосконалення полягає у збільшенні прохідного перерізу, формуванні осьово-відцентрового руху гнойової маси, зменшенні ймовірності намотування волокнистих домішок та підвищенні здатності насоса до самоочищення.

Розрахунками встановлено, що при зовнішньому діаметрі робочого колеса 220 мм і частоті обертання 1450 хв^{-1} колова швидкість становить 16,70 м/с, а теоретичний напір — 10,23 м. Мінімальний прохідний розмір у зоні робочого колеса становить 41 мм, що є достатнім для перекачування рідкого гною з дрібними волокнистими включеннями. Потрібна потужність на валу насоса дорівнює 1,53 кВт, однак з урахуванням пускових та експлуатаційних навантажень прийнято електродвигун потужністю 4,0 кВт.

Отже, запропоноване удосконалення підвищує надійність насосного вузла, зменшує ризик аварійних зупинок і забезпечує стабільну роботу технологічного процесу видалення безпідстилкового гною на молочно-товарній фермі.

4 Охорона праці

4.1 Загальні вимоги охорони праці при видаленні рідкого гною на фермі ВРХ

Охорона праці при видаленні рідкого гною на молочно-товарній фермі є складовою загальної системи безпечної експлуатації тваринницького об'єкта. У технологічному процесі задіяні тваринницькі приміщення, гнойові канали, приймальні приямки, гноєпроводи, насоси, запірна арматура, накопичувальні місткості та гноєсховища. Такі роботи пов'язані з дією механічних, електричних, хімічних і біологічних небезпечних факторів, тому їх необхідно виконувати відповідно до вимог законодавства про охорону праці, виробничої санітарії та інструкцій з експлуатації обладнання [1, 2].

Рідкий безпідстилковий гній утворюється як суміш фекалій, сечі, технологічної води, залишків корму та дрібних механічних домішок. Під час його накопичення можливе виділення аміаку, сірководню, метану та вуглекислого газу. Особливо небезпечними є закриті або заглиблені гноєприймачі, приямки та ємності, де у разі недостатньої вентиляції можуть накопичуватися токсичні і вибухонебезпечні гази. Тому спуск працівників у гноєнакопичувачі, відкриття люків під час роботи пневматичних або насосних установок, а також усунення несправностей на діючих гноєпроводах не допускаються [20].

До робіт з прибирання, видалення, оброблення та зберігання гною допускають працівників не молодше 18 років, які пройшли навчання, інструктажі, перевірку знань з охорони праці, попередній або періодичний медичний огляд та мають практичні навички безпечної роботи з обладнанням [2, 3, 4]. Оператор установки повинен знати будову насоса, порядок пуску і зупинки, розміщення органів керування, схему електроживлення, місця встановлення запірної арматури, а також порядок дій у разі аварійної ситуації.

Організація робочого місця повинна виключати падіння працівника у гнойові канали, контакт із рухомими частинами обладнання, ураження електричним струмом та потрапляння рідкого гною на відкриті ділянки тіла.

Глибокі гноєприймачі, резервуари, аеротенки, лагуни і гноєсховища необхідно обладнувати огорожами або перилами. Місця над гнойовими каналами, де тимчасово знято решітки або плити перекриття, треба негайно огороджувати та позначати попереджувальними знаками [20].

Підлога в зоні обслуговування гноєвидалення має бути неслизькою, очищеною від залишків гною, льоду, снігу та сторонніх предметів. Проходи до насосної установки, щитів керування, засувок і аварійних вимикачів повинні залишатися вільними. Освітлення робочої зони має забезпечувати чітке розпізнавання органів керування, напрямку руху гнойової маси, стану з'єднань трубопроводів та можливих місць підтікання.

Перед початком зміни оператор зобов'язаний перевірити справність огорожень, кріплень, муфт, фланцевих з'єднань, кабелю живлення, заземлення, пускової апаратури, аварійного вимикача, запірної арматури та стану приймального приямка. Забороняється працювати з установкою за наявності пошкодженої ізоляції проводів, відкритих струмопровідних частин, несправного заземлення, відсутніх кожухів або нештатного шуму і вібрації.

Працівники повинні використовувати спецодяг, гумові або полімерні чоботи з неслизькою підошвою, захисні рукавиці, захисні окуляри або щиток при промиванні обладнання, а за необхідності - засоби захисту органів дихання. Після завершення робіт необхідно виконати санітарну обробку рук, очистити спецодяг і взуття, а забруднені ділянки обладнання промити водою без направлення струменя на електроапаратуру.

4.2 Вимоги охорони праці при роботі з установкою для перекачування гною

Установка для перекачування гною складається з насосного агрегату, прямої труби або опорної рами, кронштейнів, лебідки для опускання і піднімання насоса, гноєпроводу, запірної арматури та електричної частини. Удосконалення робочого колеса спрямоване на зменшення засмічення проточної частини, стабілізацію подачі рідкого гною та зниження потреби в

частому ручному очищенні насоса. Це позитивно впливає на безпеку, оскільки скорочує кількість контактів оператора із забрудненими поверхнями і зменшує ймовірність аварійного розбирання обладнання під час зміни.

Перед пуском установки оператор повинен переконатися, що насос надійно закріплений на напрямній, трос лебідки не має обривів дротин, гак і фіксатори справні, фланцеві з'єднання гноєпроводу затягнуті, засувки встановлено у потрібне положення, а в зоні роботи немає сторонніх осіб. Пуск виконують тільки після попереджувального сигналу. Забороняється запускати насос при закритій напірній лінії, відсутності рідкої маси у приймальній зоні, пошкодженні кабелю або підозрі на заклинювання робочого колеса.

Під час роботи установки оператор стежить за рівномірністю подачі, рівнем рідкого гною у приймальному приймку, показниками навантаження електродвигуна, шумом, вібрацією та герметичністю з'єднань. Не допускається торкатися рухомих частин, відкривати кришки, знімати огороження, підтягувати болтові з'єднання, очищати вхідний патрубок або робоче колесо до повної зупинки механізму та знеструмлення приводу [20].

Якщо в процесі роботи з'явилися різкий шум, стукіт, підвищена вібрація, запах перегрітої ізоляції, зменшення подачі, підтікання через фланці або різке підвищення рівня гною у приймку, установку потрібно негайно зупинити. Після зупинки електроживлення відключають, органи керування фіксують у положенні «вимкнено», а повторний пуск дозволяється тільки після встановлення та усунення причини несправності.

Очищення робочого колеса, приймального патрубку і гноєпроводу дозволяється виконувати лише після повної зупинки насоса, відключення від електромережі та виключення самовільного пуску. Для очищення використовують скребки, гаки або інший ручний інструмент з подовженою рукояткою. Забороняється видаляти намотування руками, проштовхувати забивання ногами або використовувати випадкові металеві предмети, які можуть пошкодити робоче колесо.

Піднімання і опускання насоса лебідкою виконують плавно, без ривків. Працівник не повинен перебувати під підвішеним насосом або між насосом і жорсткими елементами рами. Перед підніманням слід від'єднати напірний трубопровід або переконатися, що гнучке з'єднання не створює натягу. Переміщення насоса допускається тільки за справної лебідки, троса, блоків і кронштейнів.

Електробезпека забезпечується справним захисним заземленням, ізоляцією кабелів, правильним вибором пускозахисної апаратури, недопущенням контакту електричних елементів із вологою і гнойовою масою. Корпус електродвигуна, металева рама і електрошафа повинні мати надійне заземлення. Роботи з ремонту електричної частини має виконувати електротехнічний персонал відповідної кваліфікації.

У разі аварійної ситуації, травмування, ураження електричним струмом, отруєння газами або падіння працівника в пряминок необхідно негайно зупинити установку, вимкнути електроживлення, повідомити керівника робіт, викликати медичну допомогу та організувати рятування без спуску непідготовлених осіб у небезпечну зону. Потерпілого із зони можливого накопичення газів виносять на свіже повітря, звільняють від забрудненого одягу і надають домедичну допомогу.

Таблиця 4.2 - Карта контролю показників безпеки установки для перекачування рідкого гною

Показник контролю	Метод контролю	Періодичність	Відповідальна особа
Стан огорожень, кожухів і решіток каналів	Візуальний огляд	Перед кожною зміною	Оператор
Справність аварійного вимикача і пускової апаратури	Пробне вмикання без навантаження	Щозміни	Оператор, електрик
Цілісність кабелю, ізоляції та заземлення	Огляд, перевірка контактів	Щозміни та після ремонту	Електрик

Надійність фланцевих з'єднань гноєпроводу	Огляд на підтікання	Під час роботи	Оператор
Стан троса, гака, блока і лебідки	Огляд на зношування і деформації	Перед підніманням насоса	Оператор
Рівень шуму, стуку і вібрації насоса	Слуховий та візуальний контроль	Постійно під час роботи	Оператор
Наявність засобів індивідуального захисту	Перевірка комплектності	Перед зміною	Оператор, майстер
Чистота проходів і відсутність слизьких ділянок	Огляд робочої зони	Перед і після зміни	Оператор
Стан вентиляції та відсутність ознак загазованості	Огляд, провітрювання, за потреби газоаналізатор	Перед роботами біля приямків	Відповідальний за ОП
Санітарна обробка після контакту з гноєм	Контроль виконання	Після завершення робіт	Оператор

4.3 Висновки до розділу

У розділі розглянуто основні вимоги охорони праці при видаленні рідкого безпідстилкового гною на молочно-товарній фермі. Встановлено, що найнебезпечнішими факторами цього процесу є загазованість приямків і гноєсховищ, контакт з біологічно забрудненою масою, слизькі поверхні, рухомі частини насосної установки, електрообладнання у вологому середовищі та ризики під час обслуговування гноєпроводів.

Безпечна експлуатація установки для перекачування гною забезпечується допуском до роботи навчених працівників, застосуванням засобів індивідуального захисту, справністю огорожень, лебідки, електрозахисту, запірної арматури і гноєпроводу, а також суворою заборобою очищення, ремонту або підтягування з'єднань під час роботи обладнання.

Запропоноване удосконалення робочого колеса насоса має не лише технологічне, а й безпекове значення, оскільки зменшує ймовірність забивання проточної частини, скорочує кількість вимушених зупинок і знижує потребу в ручному очищенні забруднених вузлів. Дотримання наведених вимог дозволяє знизити ризик травмування персоналу, поліпшити санітарні умови праці та підвищити надійність роботи системи гноєвидалення.

5 Техніко-економічна оцінка

Техніко-економічну оцінку виконано для порівняння базового та удосконаленого варіантів насосного вузла системи видалення безпідстилкового гною на молочно-товарній фермі. Базовий варіант передбачає використання насоса зі звичайним робочим колесом, а удосконалений - встановлення відкритого гвинтового робочого органа, який має більший прохідний переріз і меншу схильність до забивання волокнистими включеннями.

Розділ подано без детального ходу розрахунків. Для оцінки прийнято тільки вихідні дані та підсумкові економічні показники. Основними критеріями порівняння є річні експлуатаційні витрати, витрати електроенергії, трудомісткість очищення насоса, втрати від простоїв, питомі витрати на 1 м³ перекачаної гнойової маси та строк окупності додаткових вкладень у модернізацію.

5.1 Вихідні дані

Вихідні показники прийнято з урахуванням технологічних параметрів ферми на 600 дійних корів зі шлейфом, результатів розрахунків продуктивності насосної лінії та конструктивних параметрів удосконаленого робочого колеса. Для порівняння прийнято однаковий річний обсяг перекачування гною, однакову встановлену потужність електродвигуна та різні показники експлуатаційної надійності.

Таблиця 5.1 - Вихідні дані для техніко-економічної оцінки

Показник	Базовий варіант	Удосконалений варіант
Кількість дійних корів зі шлейфом, голів	600	600
Добовий обсяг гнойової маси, м ³ /добу	45,55	45,55
Річний обсяг гнойової маси, м ³ /рік	16625,75	16625,75
Розрахункова продуктивність насоса, м ³ /год	30	30
Розрахунковий напір насоса, м	10	10

Потужність електродвигуна насоса, кВт	4,0	4,0
Час планової роботи насоса, год/рік	730	730
Коефіцієнт завантаження електродвигуна	0,85	0,75
Додаткові витрати часу на очищення та усунення забивань, год/рік	90	30
Вартість 1 год роботи обслуговуючого персоналу, грн/год	80	80
Тариф на електроенергію, грн/кВт·год	8,00	8,00
Річні витрати на технічне обслуговування і поточний ремонт, грн/рік	14000	9000
Втрати від простоїв технологічної лінії, грн/рік	18000	6000
Додаткові капітальні вкладення у модернізацію, грн	-	26500
Очікуваний строк служби удосконаленого робочого органа, років	-	5

5.2 Результати розрахунків економічних показників

Економічний результат модернізації формується за рахунок зменшення кількості забивань робочої камери, скорочення часу ручного очищення, зниження втрат від простоїв та часткового зменшення споживання електроенергії завдяки стабільнішій роботі робочого колеса. Порівняльні результати наведено в таблиці 5.2.

Таблиця 5.2 - Результати розрахунків економічних показників

Показник	Базовий варіант	Удосконалений варіант
Річні витрати електроенергії, кВт·год	2482	2190
Річні витрати на електроенергію, грн/рік	19856	17520
Витрати на очищення та усунення забивань, грн/рік	7200	2400

Витрати на технічне обслуговування і поточний ремонт, грн/рік	14000	9000
Втрати від простоїв технологічної лінії, грн/рік	18000	6000
Загальні річні експлуатаційні витрати, грн/рік	59056	34920
Річна економія експлуатаційних витрат, грн/рік	-	24136
Питомі експлуатаційні витрати, грн/м ³	3,55	2,10
Зниження експлуатаційних витрат, %	-	40,9
Додаткові капітальні вкладення, грн	-	26500
Строк окупності додаткових вкладень, років	-	1,10
Річний економічний ефект після окупності, грн/рік	-	24136

Отримані результати показують, що модернізація не потребує зміни загальної технологічної схеми видалення гною, але дозволяє підвищити надійність найбільш навантаженого вузла - насоса для перекачування рідкої гнойової маси. Найбільша частка економії припадає на зменшення витрат від простоїв і скорочення часу очищення робочої камери від забивань.

Питомі експлуатаційні витрати у базовому варіанті становлять 3,55 грн/м³, а в удосконаленому - 2,10 грн/м³. Зменшення питомих витрат підтверджує доцільність застосування відкритого гвинтового робочого колеса для умов ферми з безпідстилковим утриманням ВРХ.

5.3 Висновки до розділу

1. У розділі виконано порівняння базового та удосконаленого варіантів насосного вузла системи видалення безпідстилкового гною без наведення ходу розрахунків, лише за вихідними даними та підсумковими економічними показниками.

2. Удосконалення робочого колеса насоса забезпечує зменшення додаткових витрат часу на очищення з 90 до 30 год/рік, скорочення витрат на технічне обслуговування та зниження втрат від простоїв технологічної лінії.

3. Загальні річні експлуатаційні витрати зменшуються з 59056 до 34920 грн/рік, тобто річна економія становить 24136 грн. Питомі витрати знижуються з 3,55 до 2,10 грн/м³ перекачаної гнойової маси.

4. Строк окупності додаткових капітальних вкладень у модернізацію становить 1,10 року, тому впровадження удосконаленого робочого органа насоса є економічно доцільним для молочно-товарної ферми на 600 дійних корів зі шлейфом.

Загальні висновки

1. У дипломному проєкті розглянуто модернізацію технологічного процесу видалення безпідстилкового гною на молочно-товарній фермі. Аналіз сучасних технологій утримання ВРХ показав, що для безпідстилкової системи з боксами для відпочинку, щільною підлогою, скреперними установками та килимками у боксах особливо важливими є регулярне очищення проходів, своєчасне відведення рідкої гнойової маси та надійна робота насосного обладнання.

2. Встановлено, що найбільш відповідальною ланкою технологічної лінії є насосний вузол, який працює з неоднорідною гнойовою масою. До її складу входять фекалії, сеча, технологічна вода, залишки кормів, пісок і волокнисті включення, тому звичайні робочі колеса мають підвищений ризик забивання, зниження продуктивності та збільшення простоїв.

3. Для ферми на 600 дійних корів зі шлейфом обґрунтовано технологічну схему видалення безпідстилкового гною, яка передбачає накопичення гнойової маси у проходах і каналах, переміщення її до гноєприймача, короткочасне перемішування та подальше перекачування насосом до гноєсховища. Така схема забезпечує розділення процесу на окремі операції та дає змогу стабільно обслуговувати ферму без ручного очищення основних зон.

4. За результатами технологічних розрахунків добова маса гнойової суміші становить 46,92 т/добу, добовий об'єм — 45,55 м³/добу, а об'єм за один цикл очищення — 22,78 м³. Для забезпечення своєчасного спорожнення гноєприймача прийнято продуктивність насоса 30 м³/год, напір 10 м, внутрішній діаметр напірного трубопроводу 0,10 м та потужність електродвигуна 4,0 кВт. Необхідний об'єм гноєсховища на 180 діб прийнято не менше 9000 м³.

5. Запропоновано удосконалення насоса шляхом встановлення відкритого гвинтового робочого колеса з плавними криволінійними лопатями. Сутність модернізації полягає у збільшенні прохідного перерізу, покращенні

захоплення рідкого гною у вхідній зоні, зменшенні намотування волокнистих включень на маточину та стабілізації руху потоку до напірного патрубку.

6. Розрахунками конструкційно-технологічних параметрів підтверджено працездатність запропонованого робочого органа. Для робочого колеса зовнішнім діаметром 220 мм одержано швидкість входу гнойової маси 1,26 м/с, колову швидкість 16,70 м/с, теоретичний напір 10,23 м, мінімальний прохідний розмір 41 мм та потрібну потужність на валу 1,53 кВт. Прийнятий електродвигун потужністю 4,0 кВт забезпечує необхідний запас для роботи з неоднорідним середовищем.

7. У розділі з охорони праці визначено основні небезпечні та шкідливі фактори під час видалення рідкого гною і роботи установки для перекачування: дія рухомих частин, можливість ураження електричним струмом, слизькі поверхні, наявність шкідливих газів, ризик падіння у гноєприймач та контакт з біологічно забрудненим середовищем. Запропоновані заходи безпеки передбачають огороження небезпечних зон, справність електрозахисту, вентиляцію, застосування засобів індивідуального захисту та виконання технічного обслуговування тільки після зупинки й відключення обладнання.

8. Техніко-економічна оцінка показала, що удосконалений варіант насосного вузла зменшує додаткові витрати часу на очищення та усунення забивань з 90 до 30 год/рік. Річні витрати на технічне обслуговування знижуються з 14000 до 9000 грн, втрати від простоїв — з 18000 до 6000 грн, а витрати на електроенергію — з 19856 до 17520 грн.

9. Загальні річні експлуатаційні витрати зменшуються з 59056 до 34920 грн/рік, річна економія становить 24136 грн, а питомі витрати знижуються з 3,55 до 2,10 грн/м³ перекачаної гнойової маси. Зниження експлуатаційних витрат становить 40,9 %, а строк окупності додаткових капітальних вкладень — 1,10 року.

10. Отже, модернізація технологічного процесу видалення безпідстилкового гною шляхом удосконалення насоса для перекачування

рідкої гнойової маси є технічно обґрунтованою, безпечною за умови дотримання вимог охорони праці та економічно доцільною. Запропоноване рішення підвищує надійність роботи ферми, скорочує простої обладнання, зменшує експлуатаційні витрати та може бути рекомендоване для впровадження на молочно-товарних фермах із безпідстилковою системою утримання ВРХ.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Manitoba Agriculture. (2020). Farm practices guidelines for livestock producers in Manitoba: Odours. Government of Manitoba. <https://www.gov.mb.ca/agriculture/environment/nutrient-management/farm-practices-guidelines.html>
2. Province of Manitoba. (n.d.). Lameness in dairy cows. Government of Manitoba. <https://www.gov.mb.ca/agriculture/livestock/dairy/print,lameness-in-dairy-cows.html>
3. Міністерство освіти і науки України, Уманський національний університет садівництва. (2021). Методичні вказівки до лабораторних робіт з машин та обладнання для тваринництва. Умань.
4. University of Minnesota Extension. (n.d.). Protocols and preparation for manure agitation and pumping. University of Minnesota. <https://extension.umn.edu/manure-management/manure-agitation-and-pumping>
5. Pfost, D. L., Fulhage, C. D., & Alber, O. (2017). Land application equipment for livestock and poultry manure management. University of Missouri Extension. <https://extension.missouri.edu/publications/wq315>
6. Gilbertson, C. B., Fischbach, P. E., Hermanson, R. E., Melvin, S. W., & Sweeten, J. M. (2019). Pumping liquid manure from swine lagoons and holding ponds. Extension.
7. Carson, W. M., Miller, W. M., & Hore, F. R. (1978). Performance characteristics of manure slurry pumps. *Transactions of the ASAE*, 21(5), 972–976. <https://doi.org/10.13031/2013.35410>
8. Chiumenti, A., da Borso, F., Pezzuolo, A., Sartori, L., & Chiumenti, R. (2018). Ammonia and greenhouse gas emissions from slatted dairy barn floors cleaned by robots. *Biosystems Engineering*, 175, 1–12.
9. ASABE. (2005). ASAE D384.2: Manure production and characteristics. American Society of Agricultural and Biological Engineers.

10. Cornell CALS PRO-DAIRY. (2020). Manure management. Cornell University College of Agriculture and Life Sciences. <https://prodairy.cals.cornell.edu/>
11. Penn State Extension. (2024). Manure management – Virtual farm: Dairy farm manure management. Pennsylvania State University. <https://extension.psu.edu/programs/nutrient-management/virtual-farm/dairy-farm-manure-management>
12. Penn State Extension. (2025). Manure separation facilities. Pennsylvania State University. <https://extension.psu.edu/manure-separation-facilities>
13. Ontario Ministry of Agriculture, Food and Agribusiness. (2023). Table 1. Nutrient unit livestock information. Government of Ontario. <https://www.ontario.ca/page/nutrient-management>
14. Engineering ToolBox. (2026). Pump power calculator: Calculate hydraulic and shaft power for pumps. https://www.engineeringtoolbox.com/pumps-power-d_505.html
15. Penn State Extension. (2025). Dairy cattle manure and nutrient management. Pennsylvania State University. <https://extension.psu.edu/dairy-cattle-manure-and-nutrient-management>
16. NRAES. (1998). Manure management guidelines. Natural Resource, Agriculture, and Engineering Service.
17. Gülich, J. F. (2014). Centrifugal pumps (3rd ed.). Springer.
18. Karassik, I. J., Messina, J. P., Cooper, P., & Heald, C. C. (2008). Pump handbook (4th ed.). McGraw-Hill.
19. Верховна Рада України. (1992). Про охорону праці: Закон України від 14.10.1992 № 2694-XII. База даних «Законодавство України». <https://zakon.rada.gov.ua/go/2694-12>
20. Міністерство соціальної політики України. (2018). Про затвердження Правил охорони праці у сільськогосподарському виробництві: Наказ від 29.08.2018 № 1240. База даних «Законодавство України». <https://zakon.rada.gov.ua/go/z1090-18>

21. Міністерство охорони здоров'я України. (2025). Про організацію та проведення обов'язкових медичних оглядів працівників певних категорій: Наказ від 08.09.2025 № 1393. База даних «Законодавство України». <https://zakon.rada.gov.ua/go/z1551-25>
22. Держнаглядохоронпраці України. (2005). НПАОП 0.00-4.12-05. Типове положення про порядок проведення навчання і перевірки знань з питань охорони праці.
23. ДП «УкрНДНЦ». (2016). ДСТУ EN ISO 12100:2016. Безпечність машин. Загальні принципи проектування. Оцінювання ризиків та зменшення ризиків.
24. Міністерство охорони здоров'я України. (1999). ДСН 3.3.6.037-99. Санітарні норми виробничого шуму, ультразвуку та інфразвуку.

Додатки

ДНІПРОВСЬКИЙ ДЕРЖАВНИЙ АГРАРНО-ЕКОНОМІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
Інженерно-технологічний факультет
Кафедра інжинірингу технічних систем

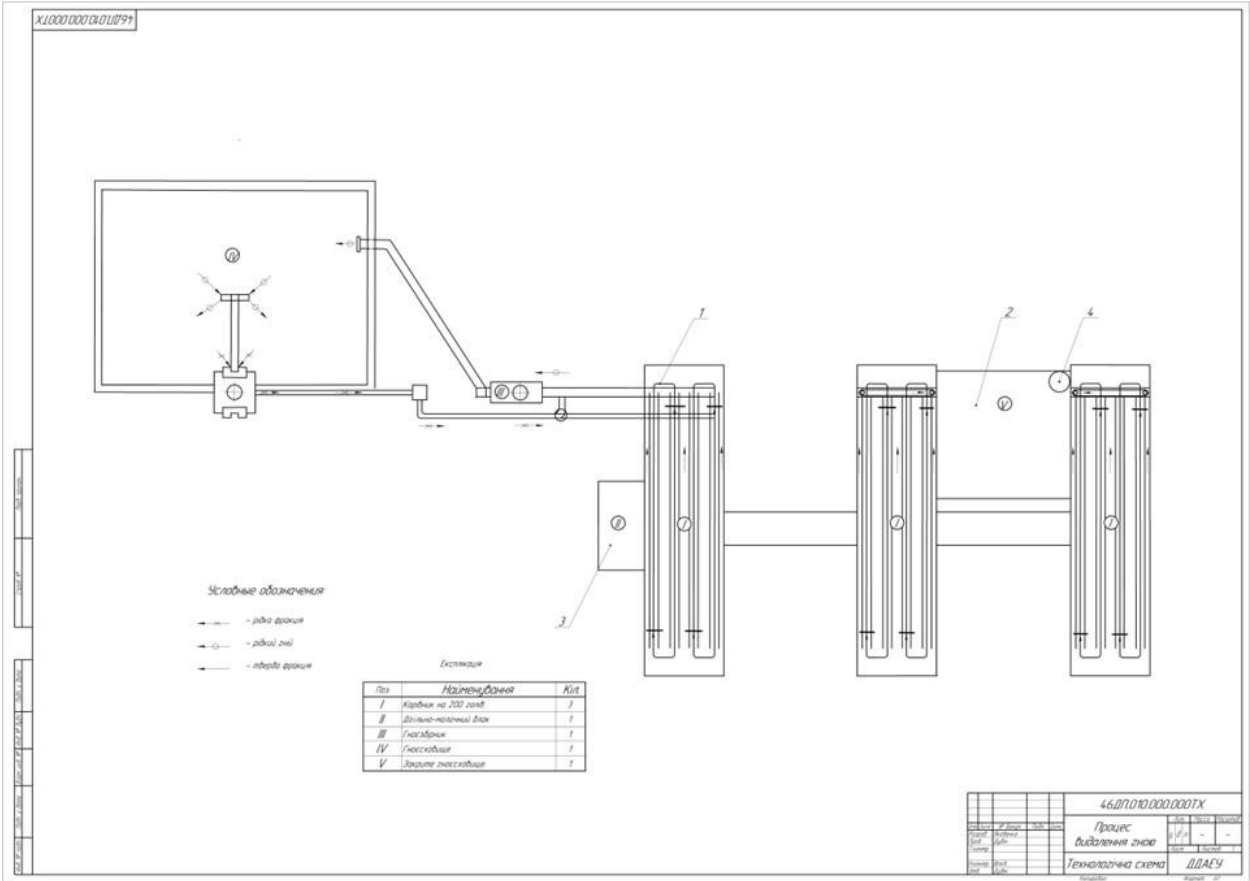
Модернізація технологічного процесу видалення
безпідстилкового гною на молочно-товарній фермі

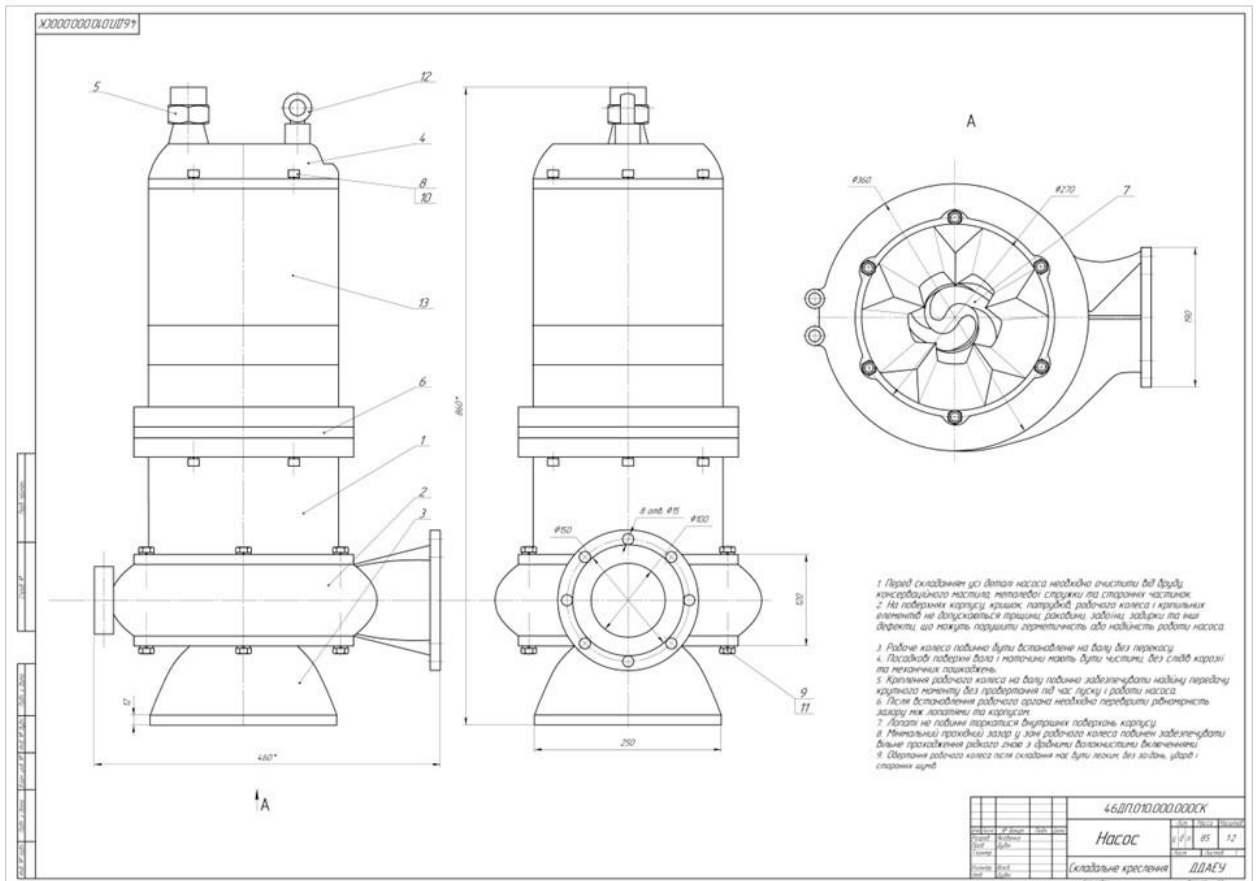
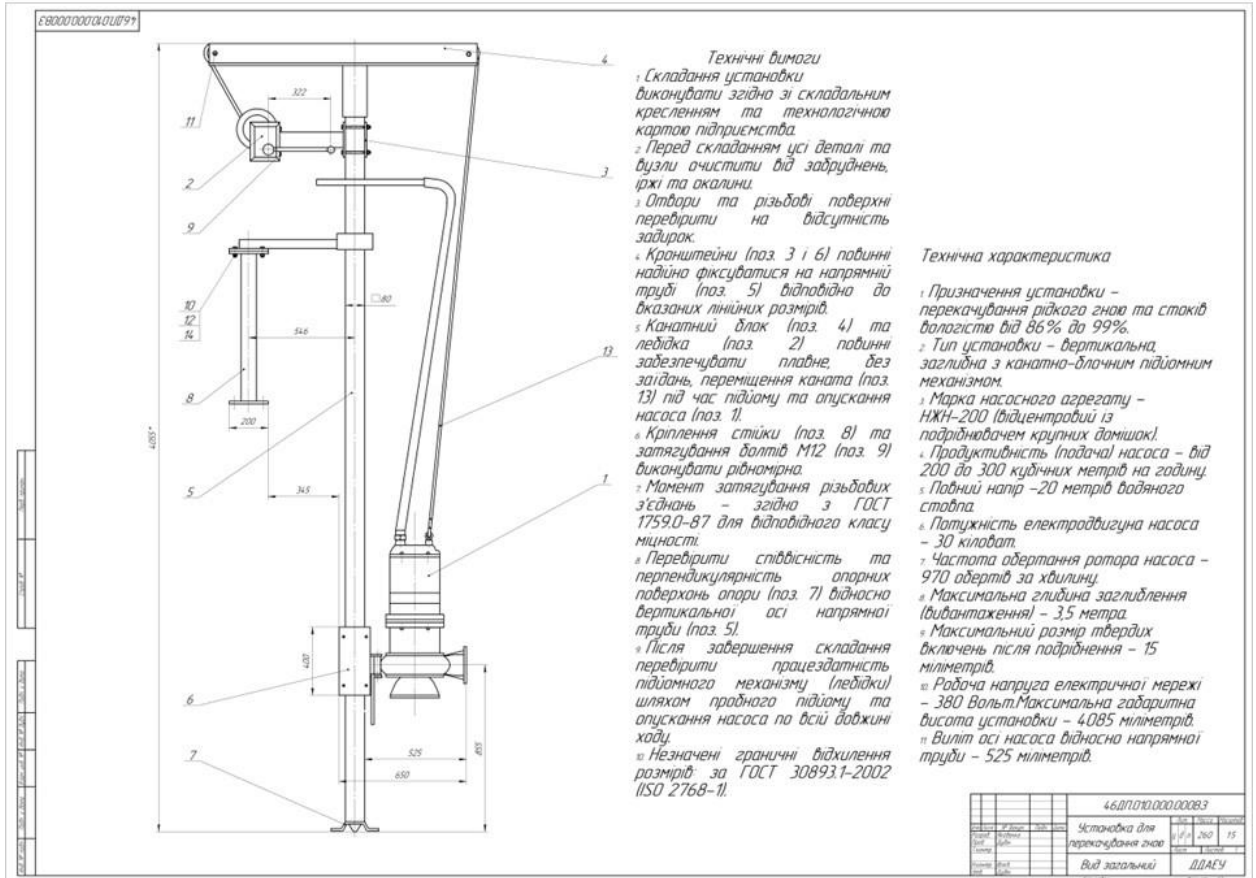
демонстраційний матеріал до дипломного проєкту рівня вищої освіти «Бакалавр»

Виконав: студент 5 курсу, групи АІЗ-1-21
Яковенко Олександр Петрович

Керівник: к.т.н., доцент
Дудін Володимир Юрійович

Дніпро-2026





Карта контролю показників безпеки установки для перекачування рідкого гною			
Показник контролю	Метод контролю	Періодичність	Відповідальна особа
Стан огорожень, кожухів і решіток каналів	Візуальний огляд	Перед кожною зміною	Оператор
Справність аварійного вимикача і пускової апаратури	Пробне вмикання без навантаження	Щозміни	Оператор, електрик
Цілісність кабелю, ізоляції та заземлення	Огляд, перевірка контактів	Щозміни та після ремонту	Електрик
Надійність фланцевих з'єднань гноєпроводу	Огляд на підтікання	Під час роботи	Оператор
Стан троса, гака, блока і лебідки	Огляд на зношування і деформації	Перед підніманням насоса	Оператор
Рівень шуму, стуку і вібрації насоса	Слуховий та візуальний контроль	Постійно під час роботи	Оператор
Наявність засобів індивідуального захисту	Перевірка комплектності	Перед зміною	Оператор, майстер
Чистота проходів і відсутність слизьких ділянок	Огляд робочої зони	Перед і після зміни	Оператор
Стан вентиляції та відсутність ознак загазованості	Огляд, провітрювання, за потреби газоаналізатор	Перед роботами біля приямків	Відповідальний за ОП
Санітарна обробка після контакту з гноєм	Контроль виконання	Після завершення робіт	Оператор

Показник	Базовий варіант	Удосконалений варіант
Річні витрати електроенергії, кВт·год	2482	2190
Річні витрати на електроенергію, грн/рік	19856	17520
Витрати на очищення та усунення забивань, грн/рік	7200	2400
Витрати на технічне обслуговування і поточний ремонт, грн/рік	14000	9000
Втрати від простоїв технологічної лінії, грн/рік	18000	6000
Загальні річні експлуатаційні витрати, грн/рік	59056	34920
Річна економія експлуатаційних витрат, грн/рік	-	24136
Питомі експлуатаційні витрати, грн/м3	3,55	2,10
Зниження експлуатаційних витрат, %	-	40,9
Додаткові капітальні вкладення, грн	-	26500
Строк окупності додаткових вкладень, років	-	1,10
Річний економічний ефект після окупності, грн/рік	-	24136