

ДНІПРОВСЬКИЙ ДЕРЖАВНИЙ АГРАРНО-ЕКОНОМІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ

Інженерно-технологічний факультет

Кафедра інжинірингу технічних систем

П о я с н ю в а л ь н а з а п и с к а

до дипломного проєкту

ступеня вищої освіти «Бакалавр» на тему:

Удосконалення механізованої технологічної лінії приготування рідких кормів на свинофермі з удосконаленням кавітаційного подрібнювача

Виконав: студент 4 курсу, групи АІ-3-22 за
спеціальністю 208 «Агроінженерія»

_____ Шляховий Максим Юрійович

Керівник: _____ Алієв Ельчин Бахтияр огли

Рецензент: _____ Носенко Євгеній Олегович

Дніпро – 2026

ДНІПРОВСЬКИЙ ДЕРЖАВНИЙ АГРАРНО-ЕКОНОМІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ

Інженерно-технологічний факультет

Кафедра інжинірингу технічних систем

Ступінь вищої освіти: «Бакалавр»

Спеціальність: 208 «Агроінженерія»

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри

ІТС

(назва кафедри)

доцент

(вчене звання)

Дудін В.Ю.

(підпис)

прізвище, ініціали)

«05» травня 2026 р

З А В Д А Н Н Я НА ДИПЛОМНИЙ ПРОЄКТ СТУДЕНТУ

Шляховому Максиму Юрійовичу

(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема проєкту: Удосконалення механізованої технологічної лінії приготування рідких кормів на свинофермі з удосконаленням кавітаційного подрібнювача

керівник проєкту Алієв Ельчин Бахтияр огли, д.т.н., старший дослідник

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

затверджені наказом вищого навчального закладу від «5» травня 2026 року № 912

2. Строк подання студентом проєкту 12.06.2026 р.

3. Вихідні дані до проєкту Аналіз сучасного стану тваринництва та наявних технологій приготування і роздавання кормів. Проведення патентного пошуку, вивчення наукових публікацій і останніх досліджень за обраним напрямом.

4. Зміст розрахунково-пояснювальної записки (перелік питань, які потрібно розробити). 1. Аналіз технологічних рішень приготування рідких кормів на свиновідгодівельній фермі. 2. Проектування механізованої лінії приготування кормів на свиновідгодівельній фермі. 3. Розробка кавітаційного подрібнювача. 4. Охорона праці та захист навколишнього

середовища. 5. Техніко-економічна ефективність проєкту. Висновки та пропозиції. Бібліографія. Додатки.

5. Перелік графічного матеріалу (з точним зазначенням обов'язкових креслень)

1. План, розріз (А1). 2. Технологічна схема (А1). 3. Вигляд загальний (А1). 4. Вал (А3). 5. Корпус (А3). 6. Крильчатка (А3). 7. Ребро (А4). 8. Бобишка (А4). 9. Економічні показники (А1).

6. Консультанти розділів проєкту

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	завдання прийняв
1-5	Алієв Е.Б., професор	05.05.2026	12.06.2026
нормоконтроль	Івлєв В.В., доцент	12.06.2026	

7. Дата видачі завдання: «05» травня 2026 р

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва етапів дипломного проєкту	Строк виконання етапів проєкту	Примітка
1	Аналітичний (оглядовий)	до 12.05.2026 р.	
2	Технологічний	до 19.05.2026 р.	
3	Конструкційний	до 26.05.2026 р.	
4	Охорона праці	до 02.06.2026 р.	
5	Економічний	до 09.06.2026 р.	
6	Графічна частина	до 12.06.2026 р.	

Студент

_____ Шляховий М. Ю.
(підпис) (прізвище та ініціали)

Керівник проєкту

_____ Алієв Е.Б.
(підпис) (прізвище та ініціали)

№ п/п	Формат	Позначення			Найменування	Кількість аркушів	Номер аркуша	Примітка
					<u>Текстові документи</u>			
1	A4	46ДП.166000.000.ПЗ			Пояснювальна записка	67		
					<u>Графічні матеріали</u>			
2	A1	46ДП.166000.000.ПР			План, розріз	1	1	
3	A1	46ДП.166000.000.ТС			Технологічна схема	1	2	
4	A1	46ДП.166001.000.ВЗ			Вигляд загальний	1	3	
5	A3	46ДП.166001.001			Вал	1	4	
6	A3	46ДП.166001.002			Корпус	1	4	
7	A3	46ДП.166001.003			Крильчатка	1	4	
8	A4	46ДП.166001.004			Ребро	1	4	
9	A4	46ДП.166001.005			Бобишка	1	4	
10	A1	46ДП.166000.000.ПЕ			Економічні показники	1	5	
					46ДП.166000.000.ПЗ			
Вм.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата				
Розробив	Шляховий М.Ю.				Удосконалення механізованої технологічної лінії приготування рідких кормів на свинофермі з удосконаленням кавітаційного подрібнювача		літ	аркуш
Перевірів	Алієв Е.Б.							4
								67
Н. контр.	Івлєв В.В.						ДДАЕУ АІ-3-22	
Затверд.	Дудін В. Ю.							

АНОТАЦІЯ

Шляховий М. Ю. Удосконалення механізованої технологічної лінії приготування рідких кормів на свинофермі з удосконаленням кавітаційного подрібнювача / Випускна кваліфікаційна робота на здобуття освітнього ступеня «Бакалавр» за спеціальністю 208 «Агроінженерія». – ДДАЕУ, Дніпро, 2026.

У роботі розглянуто питання удосконалення механізованої технологічної лінії приготування рідких кормів на свиновідгодівельній фермі. У першому розділі проведено аналіз сучасних технологій годівлі свиней, обґрунтовано ефективність використання рідких кормових сумішей та розглянуто організацію процесу їх приготування. Встановлено, що застосування рідких кормів сприяє підвищенню засвоюваності поживних речовин і продуктивності тварин. У другому розділі виконано проєктування механізованої лінії: визначено структуру поголів'я за технологічними групами, обґрунтовано технологію утримання, розраховано продуктивність обладнання та підібрано технічні засоби для приготування і роздавання кормів. Третій розділ присвячений розробці кавітаційного подрібнювача. Наведено аналіз існуючих конструкцій, обґрунтовано необхідність удосконалення, описано конструкцію машини та виконано розрахунок її основних параметрів. У четвертому розділі розглянуто питання охорони праці та захисту навколишнього середовища при експлуатації технологічної лінії. У п'ятому розділі проведено техніко-економічне обґрунтування проєкту, яке підтверджує доцільність впровадження запропонованого обладнання. У результаті виконаної роботи доведено, що використання кавітаційного подрібнювача забезпечує підвищення ефективності приготування кормів, зниження їх витрат та отримання економічного ефекту, що підтверджує практичну цінність розробки.

Ключові слова: свинарство, рідкі корми, механізована технологічна лінія, кавітаційний подрібнювач, кормоприготування, гомогенізація, подрібнення, ефективність годівлі, продуктивність тварин, енергозбереження, автоматизація процесів, техніко-економічна ефективність.

Зміст

1 АНАЛІЗ ТЕХНОЛОГІЧНИХ РІШЕНЬ ПРИГОТУВАННЯ РІДКИХ КОРМІВ НА СВИНОВІДГОДІВЕЛЬНІЙ ФЕРМІ.....	10
1.1 Аналіз технологій годівлі свиней.....	10
1.2 Ефективність використання рідких кормів у свинарстві.....	13
1.3 Організація технологічного процесу приготування рідких кормових сумішей.....	15
1.4 Висновки до розділу.....	19
2 ПРОЄКТУВАННЯ МЕХАНІЗОВАНОЇ ЛІНІЇ ПРИГОТУВАННЯ КОРМІВ НА СВИНОВІДГОДІВЕЛЬНІЙ ФЕРМІ.....	21
2.1 Визначення кількості тварин у розрізі технологічних груп.....	21
2.2 Прийнята технологія утримання.....	24
2.3 Визначення продуктивності лінії.....	25
2.4 Обґрунтування вибору технічних засобів для приготування та роздавання кормів і розрахунок їх кількості.....	27
2.5 Висновки до розділу.....	32
3 РОЗРОБКА КАВІТАЦІЙНОГО ПОДРІБНЮВАЧА.....	33
3.1 Обґрунтування актуальності досліджуваного питання.....	33
3.2 Аналіз існуючого стану та постановка задачі проєктування.....	35
3.3 Конструкція кавітаційного подрібнювача.....	40
3.4 Обчислення основних конструктивно-технологічних параметрів кавітаційного подрібнювача.....	43
3.5 Висновки до розділу.....	46
4. ОХОРОНА ПРАЦІ ТА ЗАХИСТ НАВКОЛИШНЬОГО СЕРЕДОВИЩА.....	48
5 ТЕХНІКО-ЕКОНОМІЧНА ЕФЕКТИВНІСТЬ ПРОЄКТУ.....	52
ВИСНОВКИ.....	55
БІБЛІОГРАФІЯ.....	57
Додатки.....	61

Вступ

Сучасний розвиток тваринництва, зокрема свинарства, характеризується зростанням вимог до ефективності виробництва, якості продукції та раціонального використання ресурсів. У цих умовах особливого значення набуває вдосконалення технологічних процесів приготування та роздавання кормів, оскільки саме кормова база визначає до 70 % собівартості продукції та істотно впливає на продуктивність тварин.

Одним із перспективних напрямів розвитку кормовиробництва є використання рідких кормів, які забезпечують кращу засвоюваність поживних речовин, підвищують апетит тварин і дозволяють ефективніше використовувати різноманітні компоненти, включаючи відходи харчової промисловості. Рідкі кормові суміші також сприяють автоматизації процесів годівлі, що особливо актуально для великих свиноферм із високим рівнем концентрації поголів'я.

Разом із тим існуючі механізовані технологічні лінії приготування рідких кормів мають ряд недоліків. До них належать значні енерговитрати, недостатня однорідність кормових сумішей, нерівномірність подрібнення компонентів, а також зношування робочих органів обладнання. Особливо гострою є проблема ефективного подрібнення сировини, яка значною мірою визначає якість кінцевого продукту.

У цьому контексті перспективним є застосування кавітаційних технологій, які базуються на використанні явища кавітації – утворення та руйнування бульбашок у рідині, що супроводжується локальними високими температурами і тиском. Це явище забезпечує інтенсивне подрібнення, диспергування та гомогенізацію кормових компонентів. Кавітаційні подрібнювачі дозволяють підвищити ефективність процесу обробки сировини, зменшити енерговитрати та покращити якість кормових сумішей.

Однак існуючі конструкції кавітаційних подрібнювачів не повною мірою відповідають сучасним вимогам виробництва. Вони потребують

удосконалення з точки зору підвищення продуктивності, зниження енергоспоживання, забезпечення стабільності технологічного процесу та збільшення ресурсу роботи обладнання. Саме тому актуальним є завдання розробки та обґрунтування нових конструктивно-технологічних рішень для вдосконалення кавітаційних подрібнювачів у складі механізованих ліній приготування рідких кормів.

Актуальність теми дослідження зумовлена необхідністю підвищення ефективності виробництва свинини за рахунок удосконалення процесів приготування кормів, впровадження енергоощадних технологій та зниження експлуатаційних витрат. Використання вдосконалених кавітаційних подрібнювачів дозволяє не лише покращити якість кормів, але й підвищити рівень автоматизації виробництва, що є важливим фактором конкурентоспроможності сучасних аграрних підприємств.

Метою роботи є удосконалення механізованої технологічної лінії приготування рідких кормів на свинофермі шляхом розробки та обґрунтування конструкції кавітаційного подрібнювача, який забезпечує підвищення ефективності процесу подрібнення та гомогенізації кормових компонентів.

Аби досягти запланованої цілі, варто розв'язати наступні ключові завдання:

- провести аналіз сучасних технологічних рішень приготування рідких кормів на свинофермах, дослідити існуючі системи годівлі та обґрунтувати доцільність використання рідких кормових сумішей;
- визначити особливості організації технологічного процесу приготування рідких кормів та сформулювати основні вимоги до технологічної лінії;
- виконати проєктування механізованої лінії приготування кормів, зокрема визначити структуру поголів'я, обрати технологію утримання, розрахувати продуктивність лінії та обґрунтувати вибір технічних засобів;

- розробити конструкцію кавітаційного подрібнювача, провести аналіз існуючих аналогів, обґрунтувати параметри та виконати інженерні розрахунки основних конструктивно-технологічних показників;

- дослідити питання охорони праці та екологічної безпеки при експлуатації технологічної лінії;

- провести техніко-економічну оцінку запропонованого рішення, визначити економічний ефект та строк окупності впровадження розробки.

Об’єктом дослідження є процес механізованого приготування рідких кормів на свинофермі.

Предметом дослідження є конструктивні та технологічні параметри кавітаційного подрібнювача, що впливають на ефективність подрібнення та якість кормових сумішей.

Практичне значення отриманих результатів полягає у можливості впровадження удосконаленого кавітаційного подрібнювача у виробничі умови свиноферм, що дозволить підвищити продуктивність технологічної лінії, знизити енерговитрати та покращити якість кормів. Це, у свою чергу, сприятиме підвищенню продуктивності тварин і економічної ефективності господарства в цілому.

Таким чином, удосконалення механізованих технологічних ліній приготування рідких кормів із застосуванням кавітаційних подрібнювачів є актуальним і перспективним напрямом розвитку сучасного свинарства, що відповідає вимогам ресурсозбереження, інтенсифікації виробництва та підвищення його ефективності.

1 АНАЛІЗ ТЕХНОЛОГІЧНИХ РІШЕНЬ ПРИГОТУВАННЯ РІДКИХ КОРМІВ НА СВИНОВІДГОДІВЕЛЬНІЙ ФЕРМІ

1.1 Аналіз технологій годівлі свиней

У сучасному промисловому свинарстві застосовують два базові способи годівлі тварин – сухий та рідкий. Окрім того, застосовуються й перехідні форми, зокрема годівля у стані помірного зволоження (щось середнє між сухим та вологим) і повністю волога годівля. Обидва ці методи полягають у тому, що сухі корми спершу змочують або ж змішують із водою прямо перед тим, як вони потраплять до годівниць. Такі технології поєднують окремі переваги обох підходів і використовуються залежно від виробничих умов та технічного оснащення господарства.

На даний час приблизно 70–75 відсотків свиногосподарств у світі обирають сухий спосіб годування. Це зумовлено тим, що він технологічно нескладний, а вартість апаратури для нього порівняно невисока, плюс до того ж корм зберігати зручно. Серед суттєвих плюсів сухого годування виділяють незмінність санітарно-гігієнічних характеристик кормів у формі гранул, а також здатність зростати їхній поживний потенціал завдяки термічній дії (як-от гранулювання, екструзія чи експандування). Як наслідок, поживні компоненти стають легше доступними для травних ферментів у шлунково-кишковому тракті, що призводить до кращого їх засвоєння – на рівні 10–20 відсотків, а отже, і до зростання ефективності продуктивності тварин на 5–25 відсотків. Водночас слід зазначити, що така обробка не гарантує повного знезараження кормів і не виключає ризиків бактеріального ураження, зокрема сальмонельозу.

Разом із тим сухий спосіб годівлі має ряд суттєвих недоліків. Він може спричиняти порушення фізіологічних процесів у травній системі тварин, зокрема підвищує ризик розвитку гастритів та інших захворювань шлунково-кишкового тракту, що потребує додаткових ветеринарних

втручань. Крім того, спостерігається нераціональна поведінка тварин: до 25% поголів'я, особливо молодняку, постійно переміщується між годівницею та напувалкою, що призводить до підвищеної конкуренції, стресу та втрат корму, які можуть досягати 3–9%. Серйозною проблемою є також запиленість приміщень, яка негативно впливає як на здоров'я тварин, так і на умови праці персоналу. Частка пилоподібних фракцій у сухих кормах може досягати 20%, що спричиняє зростання захворювань органів дихання на 8–10%.

Альтернативою сухій годівлі є рідкий спосіб, який останніми роками набуває все більшого поширення, особливо в країнах Європи. Зокрема, на теренах Ірландії цей спосіб годування використовується приблизно дев'ятьма десятками відсотків господарств, тоді як у Німеччині та Данії подібні системи обирають понад шістдесят відсотків великих свинарських підприємств. У Нідерландах ця частка сягає приблизно половини загалу поголів'я, а у Фінляндії абсолютна більшість новобудов комплексів одразу проєктується з урахуванням рідких систем годування. Така тенденція обумовлена рядом вагомих технологічних та економічних переваг.

Рідка годівля більш повно відповідає фізіологічним потребам свиней, оскільки корм подається у формі, близькій до природної. Це дозволяє плавно змінювати раціони, забезпечувати точніше дозування та значно спрощує внесення різноманітних добавок, включаючи премікси, ферменти та медикаменти. Окрім того, спостерігається скорочення втрат корму, покращується його засвоєння (зростання до 5%), а також збільшуються щоденні надої чи прирости (на рівні до 6%), при цьому коефіцієнт конверсії корму знижується на 10%. Водночас зменшується обсяг виділеного гною, що позитивно позначається як на санітарно-гігієнічних умовах утримання тварин, так і на загальних екологічних аспектах виробничого процесу.

Важливою перевагою є можливість використання трубопровідного транспорту для швидкої доставки корму на значні відстані, що особливо актуально для великих свинарських комплексів. Крім того, рідка годівля

характеризується високою гнучкістю: раціон можна оперативно змінювати без залучення комбікормових підприємств, поступово вводити нові компоненти та адаптувати корм до потреб різних вікових груп. За даними виробничої практики, впровадження таких систем дозволяє скоротити чисельність обслуговуючого персоналу до 25%, знизити енерговитрати та мінімізувати вплив людського фактору.

Показники ефективності різних типів годівлі (відгодівельне поголів'я)			
Показник	Тип годівлі		Порівняння, %
	сухий	вологий	
Щоденний приріст ваги, г	711	738	↑ + 3.8 %
Конверсія корму	2,93	2,81	↓ - 4 %
Витрати на корм, US\$/ кг приросту ваги	0,64	0,58	↓ - 10 %

Показники ефективності різних типів годівлі (основні свиноматки)			
Показник	Тип годівлі		Порівняння, %
	сухий	вологий	
Корму в день на свиноматку, кг сухої речовини	5,2	5,2	0
Втрати поросят у підсисний період, %	12,3	10,6	↓ -14
Кількість опоросів на рік	2,12	2,26	↑ +6,6
Поросят на свиноматку в рік	19,1	21,4	↑ +12
Вага відлучених поросят на свиноматку в рік, кг	126,1	147,7	↑ +17
Вага всіх відлучених поросят у станку на рік, кг	696,0	773,0	↑ +11

Рисунок 1.1 – Показники ефективності різних типів годівлі

Окремо слід відзначити можливість ферментації рідких кормів, яка є однією з ключових переваг даної технології. У процесі ферментації змінюється біохімічний склад корму, підвищується доступність поживних речовин, покращується стан мікрофлори кишечника та зміцнюється імунітет тварин. Це сприяє підвищенню загальної ефективності виробництва.

Що стосується технічної реалізації рідкої годівлі, то на сьогодні використовують два основні типи систем: системи з попереднім

приготуванням корму (традиційна рідка годівля) та системи з приготуванням кормової суміші безпосередньо перед її подачею до годівниці (мультифазна годівля). Кожен із цих підходів має свої конструктивні особливості, рівень автоматизації та експлуатаційні переваги, що потребує їх подальшого детального розгляду.

1.2 Ефективність використання рідких кормів у свинарстві

Рідка система годівлі свиней є одним із найбільш прогресивних напрямів розвитку сучасного тваринництва, що забезпечує підвищення ефективності використання кормів і покращення виробничих показників. Її застосування базується на поєднанні технологічних, біологічних та організаційних факторів, які в сукупності визначають результативність вирощування тварин.

Основою формування рідких кормових сумішей є використання високоякісної сировини з урахуванням її поживної цінності, ступеня засвоюваності та відповідності фізіологічним потребам тварин. До складу таких кормів можуть входити як традиційні компоненти (зернові, білкові добавки), так і рідкі побічні продукти переробної промисловості. Завдяки цьому забезпечується більш раціональне використання ресурсів і зниження собівартості продукції.

Приготування рідких кормів включає комплекс технологічних операцій: дозування, змішування, диспергування та доведення суміші до необхідної консистенції. Важливою умовою є отримання однорідної структури корму, що забезпечує рівномірний розподіл поживних речовин і стабільність раціону. Використання автоматизованих систем керування дозволяє підвищити точність процесів, зменшити втрати корму та оптимізувати витрати праці.

Аналіз світового досвіду свідчить про широке впровадження рідкої годівлі, особливо в країнах із високим рівнем інтенсифікації виробництва.

Це обумовлено її економічною доцільністю, можливістю використання альтернативних кормових ресурсів і високою ефективністю впливу на продуктивність тварин.

Серед основних переваг даної технології слід відзначити точність дозування кормів, зниження їх втрат, підвищення поїдання та покращення показників конверсії. Крім того, значно спрощується введення біологічно активних добавок і ветеринарних препаратів, що підвищує керованість технологічного процесу. Важливою перевагою є також можливість транспортування кормів трубопроводами на значні відстані та оперативне коригування раціонів.

Окрему роль відіграють біотехнологічні процеси, зокрема ферментація кормових сумішей. Вона сприяє підвищенню доступності поживних речовин, нормалізації мікрофлори травного тракту та зміцненню імунітету тварин. Це, у свою чергу, позитивно впливає на їх ріст, розвиток і загальний стан здоров'я.

Водночас впровадження рідкої годівлі потребує врахування певних обмежень. До них належать значні капітальні витрати на обладнання, необхідність постійного контролю технологічних процесів і дотримання санітарних вимог. Також важливим є забезпечення належного мікроклімату в приміщеннях, оскільки підвищена вологість може негативно впливати на умови утримання тварин.

Таким чином, рідка годівля є ефективною технологією, що дозволяє підвищити продуктивність свинарства за умови її грамотного технічного та технологічного забезпечення. Подальший розвиток цього напрямку пов'язаний із удосконаленням обладнання, автоматизацією процесів та впровадженням інноваційних методів обробки кормів, зокрема кавітаційних технологій.

1.3 Організація технологічного процесу приготування рідких кормових сумішей

У сучасних умовах ведення свинарства технічне забезпечення процесу рідкої годівлі базується переважно на двох основних підходах: класичній системі рідкої годівлі з попереднім приготуванням кормової суміші та мультифазній системі, в якій корм формується безпосередньо перед його подачею тваринам. Кожна з цих систем має свої конструктивні особливості, рівень автоматизації та сферу ефективного застосування, що обумовлює доцільність їх детального аналізу.

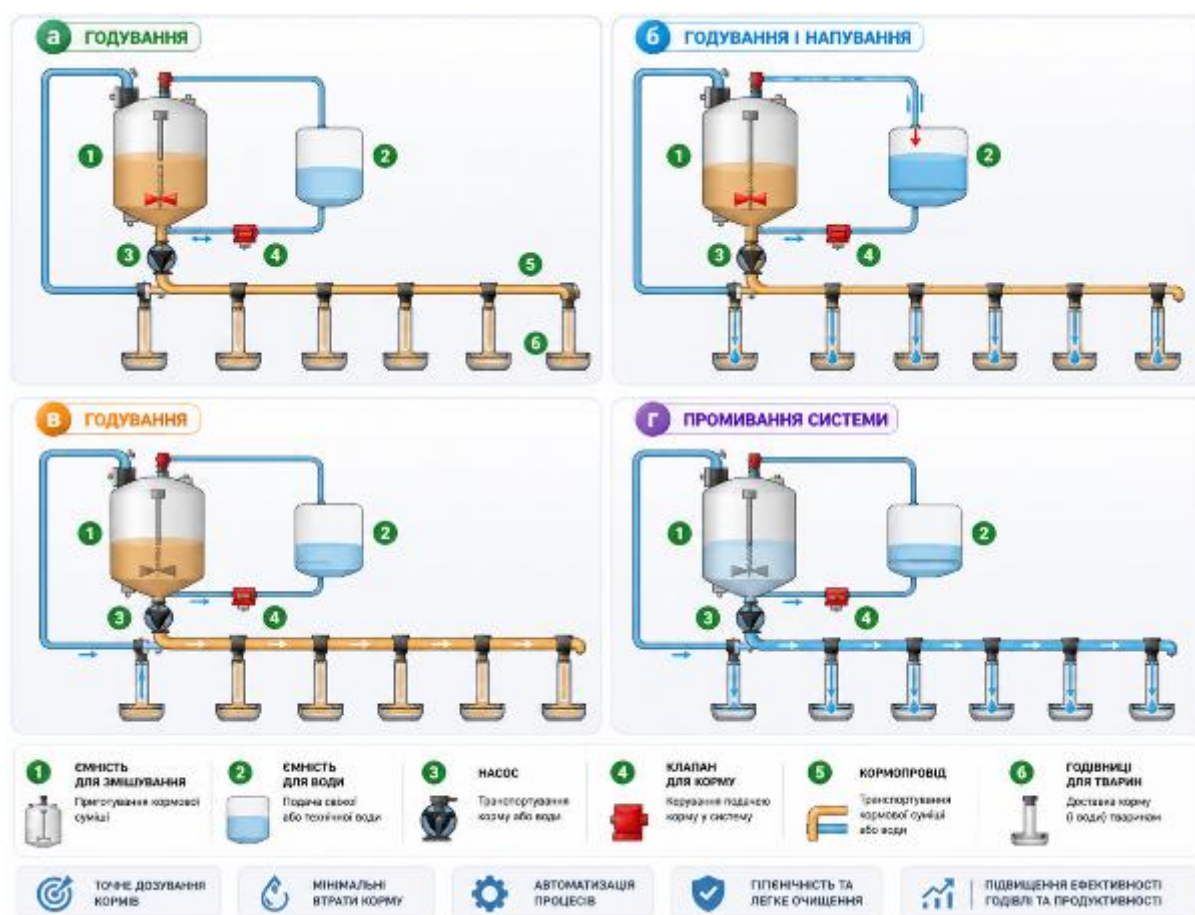


Рисунок 1.2 – Схема роботи системи Liquid Feeding System

Класичну систему рідкої годівлі доцільно розглянути на прикладі комплексу Liquid Feeding System, розробленого компанією WEDA Dammann & Westerkamp GmbH. Дана система є високотехнологічним

комплексом, до складу якого входять змішувальний резервуар, вагова система для точного дозування компонентів, насосне обладнання, ємності для технічної та питної води, компресор, а також мережа кормопроводів із запірною арматурою, розміщеною безпосередньо у виробничих приміщеннях.

Керування всіма технологічними процесами здійснюється автоматизовано за допомогою комп'ютерної системи, яка аналізує потреби тварин з урахуванням їх віку, живої маси та стадії розвитку. На основі цих даних формується індивідуальний раціон і графік годівлі, що забезпечує точне дозування корму та підвищує ефективність його використання.

Процес приготування кормової суміші відбувається у змішувальному резервуарі, встановленому на ваговій платформі, що дозволяє забезпечити високу точність дозування кожного компонента. Після завершення змішування готова кормова маса транспортується трубопроводами за допомогою насоса. При цьому вода використовується як транспортне середовище, що дозволяє ефективно переміщувати корм і мінімізувати його залишки в системі.



Рисунок 1.3 – Технологічна система рідкої годівлі поросят Culina Cup виробництва Big Dutchman

Робочий цикл системи включає кілька послідовних етапів: подачу корму до годівниць, розподіл його між секціями, витіснення залишків корму водою та очищення трубопроводів. Після завершення роздачі вода витісняє залишки корму та повертається у відповідну ємність, звідки може бути повторно використана для наступного циклу приготування. Такий підхід забезпечує практично повне використання корму, зменшує втрати та підвищує санітарний рівень системи.

Окремі модифікації таких систем передбачають наявність додаткових ліній для циркуляції використаної води, що дозволяє значно скоротити тривалість технологічного циклу та підвищити продуктивність. Також застосовуються конструктивні рішення, які забезпечують диференційовану подачу корму для різних вікових груп тварин – зокрема, використання резервуарів із кількома вихідними каналами для окремої годівлі поросят і дорослих свиней. Це сприяє підвищенню гігієнічності процесу та виключає змішування залишків кормів різного призначення.



Рисунок 1.4 – Варіанти побудови систем рідкої годівлі

Для великих свинарських комплексів із розгалуженою структурою приміщень застосовуються технічні рішення, що дозволяють скоротити довжину кормопроводів і оптимізувати транспортування корму. У таких системах можливе введення медикаментів безпосередньо в окремі ділянки трубопроводів, що забезпечує їх точне дозування та ефективне використання.

Альтернативою класичній системі є мультифазна технологія годівлі, прикладом якої є система Babyfeed, розроблена компанією Schauer Agrotronic GmbH. Її принцип роботи полягає у приготуванні корму безпосередньо перед подачею. У змішувачі порційного типу, обладнаному електронними вагами, формується необхідна кількість сухого корму, яка потім транспортується до ротаційного розподільника.



Рисунок 1.5 – Автоматизована система рідкої годівлі поросят Babyfeed (Schauer)

У розподільчому вузлі до сухого корму додається рідина, внаслідок чого утворюється кормова суміш потрібної консистенції – від сухої до

рідкої. Після цього корм подається безпосередньо до годівниць. Такий підхід забезпечує високу гнучкість технологічного процесу та дозволяє адаптувати раціон до потреб кожної групи тварин.

Система оснащена датчиками контролю рівня корму в годівницях, що дозволяє автоматично регулювати частоту та обсяг подачі. Перед приготуванням нової порції комп'ютерна система перевіряє наявність залишків корму. Якщо корм повністю спожито, формується нова порція; у протилежному випадку подача відкладається. Додатково здійснюється періодичний контроль стану годівниць через задані проміжки часу, що дозволяє накопичувати статистичні дані та оптимізувати процес годівлі.

Після кожного циклу система автоматично очищує кормопроводи та розподільчі елементи за допомогою стисненого повітря та водяного аерозолі, що забезпечує належний санітарно-гігієнічний стан обладнання.

Таким чином, обидві розглянуті системи – як класична рідка годівля з попереднім приготуванням, так і мультифазна технологія – забезпечують високий рівень автоматизації та точності дозування кормів. Вибір конкретного рішення залежить від масштабів виробництва, технологічних вимог та економічних можливостей господарства, а також від необхідності гнучкого управління процесами годівлі.

1.4 Висновки до розділу

У сучасному свинарстві домінує сухий тип годівлі, який застосовується приблизно у 70–75% господарств завдяки простоті конструкції обладнання та відносно невисоким початковим капіталовкладенням. Проте результати аналізу технологічних процесів і виробничих показників свідчать про вищу ефективність систем рідкої та мультифазної годівлі, особливо у великих промислових свинокомплексах.

Використання рідких кормових сумішей сприяє покращенню поїдання корму тваринами до 5%, підвищенню середньодобових приростів

живої маси до 6% та зниженню витрат корму на одиницю приросту до 10%. Важливою перевагою є можливість точного дозування компонентів і адаптації раціонів до вікових та фізіологічних потреб тварин, що забезпечує більш ефективне використання поживних речовин.

Додатково системи рідкої годівлі дозволяють автоматизувати основні технологічні операції, завдяки чому скорочується потреба в обслуговуючому персоналі до 25%, зменшуються втрати корму та підвищується санітарно-гігієнічний рівень виробництва. У сухих системах втрати корму можуть досягати 3–9% внаслідок розпилення та нерівномірного споживання, тоді як у рідких системах ці показники істотно нижчі.

Суха годівля має також низку технологічних недоліків. Значна запиленість комбікормів, яка в окремих випадках досягає 20%, негативно впливає на мікроклімат приміщень та сприяє збільшенню респіраторних захворювань у тварин на 8–10%. Крім того, до 25% свиней проявляють нераціональну поведінку під час споживання сухих кормів, що призводить до додаткових витрат корму та погіршення умов утримання.

Перспективним напрямом удосконалення рідкої годівлі є використання мультифазних систем із кавітаційним подрібненням корму. Застосування кавітаційного подрібнювача забезпечує більш високий ступінь диспергування компонентів, підвищує однорідність кормової суміші та покращує її засвоюваність. Це дозволяє додатково зменшити енерговитрати на приготування корму, підвищити стабільність технологічного процесу та покращити продуктивність тварин.

Отже, системи рідкої та мультифазної годівлі мають суттєві технологічні, економічні та зоотехнічні переваги порівняно із сухою годівлею. Їх застосування забезпечує підвищення продуктивності свиней на 5–6%, зниження витрат корму до 10%, покращення санітарних умов утримання та ефективнішу організацію виробничих процесів, що підтверджує доцільність подальшого впровадження та вдосконалення таких систем у сучасному свиначстві.

2 ПРОЄКТУВАННЯ МЕХАНІЗОВАНОЇ ЛІНІЇ ПРИГОТУВАННЯ КОРМІВ НА СВИНОВІДГОДІВЕЛЬНІЙ ФЕРМІ

2.1 Визначення кількості тварин у розрізі технологічних груп

Основною метою даного розділу є, відповідно до тематики проєкту, визначення виду та чисельності поголів'я свиней за окремими технологічними групами на фермі, обґрунтування вибору технологій їх утримання і засобів механізації, а також визначення необхідних виробничих приміщень для розміщення тварин. Це, у свою чергу, дозволить розробити генеральний план ферми та обґрунтувати раціональну організацію праці на підприємстві.

Вихідними даними для проєктування є:

- свиноферма відгодівельного типу із завершеним виробничим циклом;
- виробнича потужність – 500 т свинини на рік.

Крім того, до початкових даних належать технологічні показники, наведені в таблиці 2.1, а також тривалість окремих технологічних циклів, подана в таблиці 2.2.

Таблиця 2.1 – Параметри технології виробництва

Показник	Значення
Запліднюваність свиноматок, %	80
Багатоплідність, голів	11,5
Втрати в підсисний період, %	8
Кількість поросят при відлученні, голів	10,5
Середньодобовий приріст (підсисний період), г	250
Маса поросят при відлученні, кг	8,0
Середньодобовий приріст (дорощування), г	400
Втрати під час дорощування, %	6
Середньодобовий приріст (відгодівля), г	800
Втрати під час відгодівлі, %	2

При утриманні холостих і поросних свиноматок санітарний розрив не передбачається, оскільки вони розміщуються в одному приміщенні, а при зміні поголів'я здійснюється лише очищення окремих станків.

Таблиця 2.2 – Тривалість технологічних циклів

Група тварин	Комплектація, діб	Утримання, діб	Санрозрив, діб	Всього
Холості свиноматки	–	7	–	7
Поросні (I половина)	–	35	–	35
Поросні (II половина)	–	77	–	77
Підсисні	4	28	3	35
Дорощування	–	49	7	56
Відгодівля	–	109	3	112

Окрім зазначених технологічних груп, на фермі із завершеним циклом необхідно передбачити наявність кнурів. Ремонт маточного стада планується здійснювати за рахунок придбання племінного молодняку.

Розрахунок поголів'я є складним завданням, оскільки об'єктом виступає біологічна система, якій притаманні певні коливання показників. Вони проявляються у змінності рівня прохолосту свиноматок, кількості порослят при опоросі, а також темпів росту молодняку. Додатково на ці параметри впливають умови утримання та годівлі.

Річну кількість тварин, що підлягають реалізації, визначаємо за формулою:

$$П_v = 1000 \cdot 500 / 120 = 4166 \text{ гол.}$$

де $V = 500$ т – річний обсяг виробництва; $M = 120$ кг – жива маса товарної свині.

Застосування потоково-ритмічної технології передбачає поділ поголів'я на технологічні групи зі зміщенням у часі відповідно до ритму виробництва, який приймаємо рівним 7 діб.

Кількість порослят після дорощування:

$$П_d = 4166 / 0,98 = 4591 \text{ гол.}$$

Кількість порослят після опоросу:

$$П_0 = 4591 / (0,92 \cdot 0,94) = 5308 \text{ гол.}$$

Кількість новонароджених поросят на одну технологічну групу:

$$П_{\text{опг}} = 5308 / 52 = 102 \text{ гол.}$$

Чисельність підсисних свиноматок:

$$N_{\text{під}} = 102 / 11,5 = 9 \text{ гол.}$$

Уточнене значення:

$$П_{\text{опг}}' = 9 \cdot 11,5 = 103 \text{ гол.}$$

Кількість поросят у групах: дорощування: $103 \cdot 0,92 = 95$ гол.,
відгодівлі: $103 \cdot 0,94 = 97$ гол.

Кількість технологічних груп: поросні (І період): 5 груп; поросні (ІІ період): 11 груп; підсисні: 5 груп; дорощування: 8 груп; відгодівля: 16 груп.

Кількість свиноматок для осіменіння:

$$N_{\text{ос}} = 9 + 9 \cdot 20/100 = 11 \text{ гол.}$$

Поголів'я кнурів-плідників:

$$N_{\text{кн}} = 11 \cdot 52 \cdot 2 / 900 = 2 \text{ гол.}$$

З урахуванням кнура-пробника загальна кількість становить 3 голови.

Загальну чисельність тварин визначаємо за формулою:

$$N_{\text{заг}} = N_i \cdot G_i$$

Таблиця 2.3 – Потреба у станкомісцях

Група	У групі	К-сть груп	Всього
Кнури	2	1	2
Холості	11	2	22
Поросні (І)	9	5	45
Поросні (ІІ)	9	11	99
Підсисні	9	5	45
Дорощування	95	8	760
Відгодівля	97	16	1552

Отримані результати дозволяють перейти до наступного етапу – планування розміщення тварин у виробничих приміщеннях та розробки загальної структури ферми.

2.2 Прийнята технологія утримання

У прийнятій технології виробництва передбачається утримання свиней на відгодівлі на глибокій незмінюваній підстилці в неопалюваних приміщеннях ангарного типу. Такий спосіб дозволяє знизити витрати на енергоресурси та спростити конструкцію будівель. Поросні свиноматки, ремонтний молодняк, а також поросята на дорощуванні утримуються у групових станках у капітальних свинарниках, що забезпечує кращий контроль мікроклімату та умов утримання.

Годівля всього поголів'я здійснюється комбікормами. Для свиноматок застосовується нормована система годівлі з урахуванням їх фізіологічного стану, тоді як для молодняку та відгодівельного поголів'я передбачено вільний доступ до корму (ад лібітум). Роздавання кормів організовано за допомогою бункерних самогодівниць, що забезпечує рівномірне споживання корму та зменшує його втрати.

Транспортування кормів до виробничих приміщень здійснюється із використанням завантажувачів сухих кормів типу ЗСК-15, що дозволяє механізувати процеси подачі та скоротити трудові витрати. Напування тварин організоване через автоматичні напувалки типу Mira Fount 3410, розраховані на обслуговування до 100 голів, що гарантує постійний доступ тварин до води. Видалення гною з приміщень здійснюється механізованим способом за допомогою бульдозерів-навантажувачів типу Bobcat, що значно підвищує ефективність санітарного обслуговування.

Запропонована технологія характеризується високим рівнем механізації та часткової автоматизації основних виробничих процесів. Значна частина операцій виконується без безпосередньої участі людини, а функції обслуговуючого персоналу зводяться переважно до контролю технологічних процесів, регулювання обладнання та виконання допоміжних робіт. Це дозволяє зменшити трудомісткість виробництва, підвищити продуктивність праці та стабільність технологічних показників.

До основних переваг такої системи належать: скорочення витрат праці, підвищення рівня механізації, покращення умов утримання тварин відповідно до сучасних вимог, а також можливість ефективної організації виробництва на великих фермах. Разом із тим, слід враховувати, що впровадження подібної технології потребує значних початкових капіталовкладень у обладнання та подальших витрат на його обслуговування.

У зв'язку з відсутністю типових проєктів приміщень для обраної технології утримання, для розміщення відгодівельного поголів'я (500 голів) передбачається використання приміщень ангарного типу. Площа одного такого ангара становить приблизно 550 м², що забезпечує достатній простір для утримання тварин із урахуванням нормативних вимог щодо щільності посадки.

Для інших технологічних груп (свиноматки, поросята на дорощуванні, ремонтний молодняк) використовуються капітальні свинарники, які забезпечують необхідний мікроклімат, зручність обслуговування та можливість впровадження механізованих систем годівлі, напування та прибирання.

2.3 Визначення продуктивності лінії

Загалом технологічний процес годівлі на фермі можна представити у вигляді послідовної схеми (рис. 2.1), яка включає такі етапи: завантаження мобільного агрегату сухими повнораціонними комбікормами, транспортування корму до виробничих приміщень, подальше перевантаження його у резервуар-змішувач, додавання води або поживних розчинів із наступним інтенсивним перемішуванням до отримання однорідної кормової суміші, після чого здійснюється подача корму стаціонарним кормороздавачем у бункерні самогодівниці та безпосереднє згодовування тваринам.



Рисунок 2.1 – Технологічна схема роздавання кормів на свинівідгодівельній фермі

У даному проєкті передбачено використання повнораціонних комбікормів як основи годівлі свиней. Добову потребу в комбікормі для всього поголів'я визначаємо за формулою:

$$G_{\text{доб}}^{\text{кк}} = \frac{n \cdot G_{\text{кк}} \cdot K_z}{1000}, \text{ т}$$

де: $G_{\text{добкк}}$ – добова потреба в комбікормах, т; n – кількість тварин на фермі, голів; $G_{\text{кк}}=3,0$ кг/добу – середньодобова норма споживання комбікорму; $K_z=1,05$ – коефіцієнт запасу корму.

Підставляючи вихідні дані, отримуємо:

$$G_{\text{доб}}^{\text{гкк}} = \frac{1000 \cdot 3,0 \cdot 1,05}{1000} = 3,15 \text{ т.}$$

Згідно з рекомендаціями виробників обладнання для рідкої годівлі, оптимальне співвідношення води до комбікорму становить **2:1**. Враховуючи це, загальна маса рідкої кормової суміші, яку необхідно приготувати та роздати протягом доби, становить:

$$G_{\text{сум}} = 3,15 \cdot 3 = 9,45 \text{ т.}$$

Розрахунок продуктивності технологічної лінії приготування кормів виконується за формулою:

$$Q_{\text{л}} = \frac{G_{\text{доб}}^{\text{гкк}} \cdot 3}{T \cdot K}, \text{ т/год}$$

де $K=3$ – кратність годівлі протягом доби; $T=2$ год – тривалість одного циклу приготування корму.

Тоді продуктивність лінії становитиме:

$$Q_{\text{л}} = \frac{9,45}{3 \cdot 2} = 1,575 \text{ т/год.}$$

Отже, для забезпечення потреб ферми необхідно передбачити технологічну лінію продуктивністю не менше 1,6 т/год, що гарантує своєчасне приготування та роздавання кормів, стабільність технологічного процесу та ефективну організацію годівлі поголів'я.

2.4 Обґрунтування вибору технічних засобів для приготування та роздавання кормів і розрахунок їх кількості

Доставку комбікормів до виробничих приміщень доцільно здійснювати за допомогою мобільного агрегату типу ЗСК-10. Для оцінки ефективності його роботи визначаємо експлуатаційну продуктивність за формулою:

$$Q_{\text{е}} = \frac{G}{t_{\text{ц}}}, \text{ т/год}$$

де $G = 4,7$ т – вантажопідйомність агрегату відповідно до технічної

характеристики; $t_{\text{ц}}$ – тривалість одного робочого циклу, год.

Тривалість циклу роботи агрегату визначається як сума окремих операцій:

$$t_{\text{ц}} = t_{\text{в}} + t_{\text{п}} + t_{\text{з}} + t_{\text{р}} + t_{\text{м}}, \text{ год}$$

де $t_{\text{в}}$ – час руху завантаженого агрегату; $t_{\text{п}}$ – час руху порожнього агрегату; $t_{\text{з}}$ – тривалість завантаження; $t_{\text{р}}$ – тривалість розвантаження; $t_{\text{м}}$ – час на виконання маневрових операцій.

Час переміщення завантаженого агрегату визначаємо за формулою:

$$t_{\text{в}} = \frac{l}{V_{\text{в}}} = \frac{0,05}{20} = 0,0025 \text{ год}$$

де $l = 0,05$ км – відстань перевезення; $V_{\text{в}} = 20$ км/год – швидкість руху з вантажем.

Час руху порожнього агрегату:

$$t_{\text{п}} = \frac{l}{V_{\text{п}}} = \frac{0,05}{35} = 0,0014 \text{ год}$$

де $V_{\text{п}} = 35$ км/год – швидкість руху без вантажу.

Тривалість завантаження визначаємо:

$$t_{\text{з}} = \frac{G}{Q_{\text{з}}} = \frac{4,7}{60} = 0,078 \text{ год}$$

де $Q_{\text{з}} = 60$ т/год – продуктивність завантажувального обладнання.

Тривалість розвантаження:

$$t_{\text{р}} = \frac{G}{Q_{\text{р}}} = \frac{4,7}{15} = 0,313 \text{ год}$$

де $Q_{\text{р}} = 15$ т/год – продуктивність розвантаження.

Час на маневрування приймаємо $t_{\text{м}} = 0,1$ год, враховуючи обмежену кількість операцій переміщення між двома точками.

Отже, загальна тривалість циклу становить:

$$t_{\text{ц}} = 0,0025 + 0,0014 + 0,078 + 0,313 + 0,1 = 0,49 \text{ год}$$

Тоді експлуатаційна продуктивність агрегату:

$$Q_{\text{е}} = \frac{4,7}{0,49} = 9,59 \text{ т/год}$$

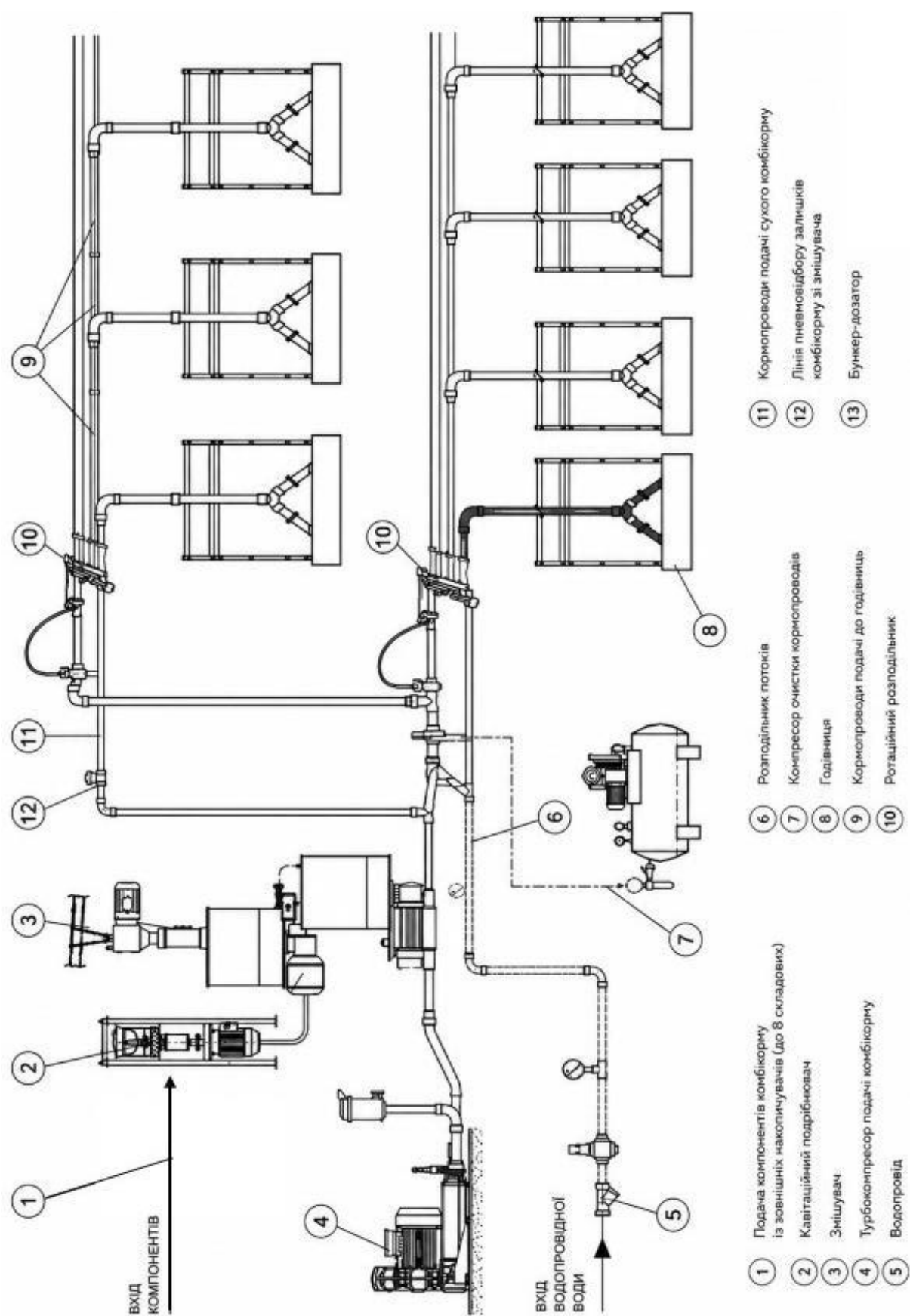


Рисунок 2.2 – Прийнята технологічна схема рідкого годування свиней

Система мультифазної годівлі призначена для автоматизованого приготування, транспортування та роздавання кормових сумішей свиням із одночасним підвищенням ступеня подрібнення та однорідності корму за рахунок використання кавітаційного подрібнювача. Технологічний процес забезпечує точне дозування компонентів, зменшення втрат корму та підвищення ефективності його засвоєння тваринами.

Сухі компоненти комбікорму із зовнішніх накопичувачів подаються до кавітаційного подрібнювача (поз. 2), де відбувається додаткове диспергування та руйнування крупних частинок під дією кавітаційних процесів. Це забезпечує підвищення однорідності кормової суміші, покращення змочування компонентів і збільшення доступності поживних речовин.

Після подрібнення корм надходить у змішувач (поз. 3), де здійснюється приготування кормової суміші з додаванням води із системи водопостачання (поз. 5). Дозування компонентів та контроль процесу змішування виконуються автоматизовано відповідно до встановленого раціону годівлі.

Транспортування корму кормопроводами (поз. 9, 11) здійснюється за допомогою турбокомпресора подачі комбікорму (поз. 4). Розподіл корму між окремими лініями годівлі забезпечується розподільником потоків (поз. 6) та ротаційними розподільниками (поз. 10), які направляють корм до відповідних годівниць (поз. 8).

Система дозволяє формувати різні фази годівлі залежно від віку, фізіологічного стану та продуктивності тварин. Це забезпечує раціональне використання кормових ресурсів і зниження витрат на годівлю.

Для очищення кормопроводів після завершення циклу роздавання використовується компресор очищення (поз. 7), який подає стиснене повітря в систему. Залишки корму повертаються через лінію пневмовідбору (поз. 12), що забезпечує підтримання належного санітарно-гігієнічного стану обладнання та запобігає накопиченню кормових залишків у

трубопроводах.

Застосування кавітаційного подрібнювача у складі системи дозволяє підвищити ефективність підготовки корму, зменшити енерговитрати на змішування та покращити якість кормових сумішей, що позитивно впливає на продуктивність тварин і економічну ефективність технологічного процесу.

Тривалість роботи агрегату протягом доби визначаємо:

$$t_{\text{доб}} = \frac{3,15}{9,59} = 0,33 \text{ год}$$

Таким чином, з урахуванням того, що продуктивність агрегату значно перевищує добову потребу в кормах, для виконання операцій транспортування і завантаження достатньо одного завантажувача ЗСК-10.

Приготування рідких кормових сумішей відповідно до прийнятої технології передбачається здійснювати за допомогою системи рідкого годування свиней Big Dutchman типу HYDROMIX-стандарт. До складу цієї системи входять: змішувальний резервуар об'ємом 500 л із мішалкою та системою очищення, електронні ваги, кормовий насос, трубопровідна мережа з кормовими клапанами, а також комп'ютеризована система керування процесом годівлі.

Необхідну кількість таких установок визначаємо за формулою:

$$n = \frac{Q_{\text{л}}}{Q_{\text{м}}} = \frac{1,575}{1} = 1,575 \approx 2 \text{ комплекти}$$

де $Q_{\text{м}} = 1$ т/год – продуктивність одного комплекту обладнання.

З урахуванням отриманого результату доцільно прийняти два комплекти системи HYDROMIX-стандарт, які розміщуються у різних частинах виробничого приміщення для забезпечення рівномірного розподілу кормів та підвищення надійності роботи системи.

Отже, для ефективного функціонування технологічної лінії приготування і роздавання кормів необхідно використовувати один мобільний завантажувач ЗСК-10 та два комплекти системи рідкої годівлі

HYDROMIX-стандарт, що забезпечить своєчасне приготування кормів, їх рівномірну подачу та безперервність виробничого процесу.

2.5 Висновки до розділу

У результаті розрахунків встановлено, що для забезпечення річної виробничої потужності 500 т свинини необхідно реалізовувати 4166 голів відгодівельних свиней. Для цього слід отримати 5308 поросят на рік, що відповідає 103 поросят на одну технологічну групу. Чисельність підсисних свиноматок становить 9 голів у групі, а для осіменіння — 11 голів за ритм. Сформовано структуру виробництва: 5 груп поросних (І період), 11 – поросних (ІІ період), 5 – підсисних, 8 – дорощування та 16 – відгодівлі, що забезпечує безперервність виробничого процесу. Загальна потреба у станкомісцях становить 2525 голів, з яких найбільша частка припадає на відгодівлю – 1552 голови ($\approx 61\%$). Добова потреба в комбікормі складає 3,15 т, а з урахуванням води (2:1) – 9,45 т рідкої кормосуміші. Розрахункова продуктивність технологічної лінії становить 1,575 т/год. Для забезпечення роботи достатньо 1 агрегату ЗСК-10 (9,59 т/год) та 2 комплектів системи HYDROMIX (по 1 т/год кожен). Отже, прийнята технологія забезпечує повну відповідність виробничій програмі, раціональну структуру поголів'я та ефективну організацію годівлі при мінімально необхідній кількості технічних засобів.

3 РОЗРОБКА КАВІТАЦІЙНОГО ПОДРІБНЮВАЧА

3.1 Обґрунтування актуальності досліджуваного питання

Сучасні напрями розвитку обладнання для кормоприготування свідчать про те, що інтенсифікація технологічних процесів у сфері підготовки та обробки кормів повинна бути спрямована не лише на їх механічне подрібнення чи фізичну трансформацію, а й на глибші структурні зміни матеріалу на клітинному рівні. Саме такий підхід дозволяє максимально розкрити природний поживний потенціал кормової сировини та підвищити ефективність її використання у тваринництві.

Функціональні можливості кавітаційних подрібнювачів, які застосовуються для диспергування матеріалів у рідкому середовищі, отримання високодисперсних суспензій та емульсій, інтенсифікації процесів масообміну, гомогенізації й знезараження рідин, відкривають широкі перспективи їх використання при приготуванні рідких кормових сумішей на основі зернової та рослинної сировини. Такі пристрої забезпечують не лише подрібнення, а й комплексну фізико-хімічну обробку компонентів корму.

Одним із найбільш ефективних способів інтенсифікації хіміко-технологічних процесів у рідких середовищах є використання явища кавітації. Кавітація являє собою процес локального концентрування енергії: енергія низької щільності трансформується у висококонцентровану енергію внаслідок пульсацій і схлопування кавітаційних бульбашок.

У фазі розрідження акустичної хвилі або при локальному зниженні тиску в рідині (наприклад, під час обтікання твердих тіл) утворюються кавітаційні порожнини – бульбашки, заповнені насиченою парою рідини. У фазі стиснення ці бульбашки під дією підвищеного тиску та сил поверхневого натягу різко схлопуються, при цьому відбувається конденсація пари. Водночас у порожнину дифундують розчинені в рідині

гази, які зазнають інтенсивного адіабатичного стискання. У момент схлопування кавітаційної бульбашки локальні значення тиску та температури можуть досягати екстремальних величин – до 100 МПа і 10000 К відповідно.

У результаті схлопування бульбашок у рідині виникають сферичні ударні хвилі, які швидко затухають у просторі, але встигають здійснити значний вплив на навколишнє середовище. При цьому кавітаційні зародки (дрібні парогазові бульбашки), що присутні в рідині, можуть збільшуватись у розмірах, формуючи кавітаційні кластери. Їх форма і розміри визначаються початковими умовами, спектром зародків та характером прикладених напружень.

У кавітаційні порожнини можуть проникати пари рідини, розчинені гази та леткі компоненти, тоді як іони й молекули нелетких речовин туди не потрапляють. Енергія, що вивільняється під час схлопування бульбашок, є достатньою для ініціювання процесів іонізації та дисоціації молекул, що додатково підсилює фізико-хімічний вплив на оброблюване середовище.

Основні технологічні ефекти кавітації – ерозія твердих поверхонь, диспергування частинок, розчинення, екстрагування, емульгування та гомогенізація – реалізуються переважно за рахунок двох механізмів: дії ударних хвиль та утворення кумулятивних струменів. Останні виникають під час асиметричного схлопування бульбашок і здатні руйнувати поверхневі шари твердих матеріалів завдяки високій кінетичній енергії. Частинки, розміри яких співрозмірні з перерізом цих струменів, захоплюються ними та інтенсифікують процес подрібнення і руйнування структури матеріалу.

Ключовим етапом у технологіях виробництва білково-вітамінної трав'яної пасти є отримання максимально дисперсної емульсії (пульпи) із зеленої фітомаси. Це забезпечує ряд важливих технологічних і біохімічних ефектів:

- руйнування клітинних оболонок рослинної сировини;

- підвищення виходу розчинних білків і біологічно активних речовин;
- посилення дії коагуляційних процесів;
- інтенсивне руйнування клітковини;
- підвищення біологічної цінності та засвоюваності корму;
- спрощення технології виробництва кормових продуктів;
- зменшення втрат поживних речовин у процесі обробки;
- зниження енерговитрат виробництва;
- збільшення вмісту протеїну (до 70%) за рахунок використання білків жомової частини;
- усунення необхідності подальшої переробки жому;
- максимальне вилучення корисних компонентів із рослинної клітковини.

Таким чином, застосування кавітаційних технологій у процесах приготування кормів дозволяє значно підвищити ефективність їх переробки, покращити поживні властивості кормових сумішей і оптимізувати технологічні процеси у тваринництві.

3.2 Аналіз існуючого стану та постановка задачі проєктування

Якість кормової продукції значною мірою визначається сукупністю технологічних операцій, що виконуються під час її приготування. Насамперед корм повинен характеризуватися однорідністю за фракційним складом. Це означає, що процес подрібнення має забезпечувати формування рівномірної дисперсності кожного з компонентів рослинної сировини, які входять до складу кормової суміші. По-друге, важливо досягти однорідного розподілу компонентів у всьому об'ємі суміші. Відповідно, процес змішування повинен забезпечувати мінімальну варіацію концентрації окремих компонентів, тобто високий ступінь рівномірності розподілу в об'ємі або масі корму. По-третє, кормова продукція повинна максимально

зберігати поживні речовини, вітаміни та біологічно активні сполуки, не містити токсичних або шкідливих домішок, а також відповідати принципам безвідходного використання рослинної сировини у харчовому ланцюзі. Отже, технологічні процеси приготування кормів повинні бути спрямовані на забезпечення всіх зазначених вимог.

Процеси подрібнення та зведення до однорідності складників кормів за допомогою кавітаційної обробки значною мірою задовольняють висунуті критерії. Так, диспергування (або розсіювання) визначається як технологічна операція, спрямована на високоточне зменшення розміру часток та рівномірне розподілення твердих, рідких чи газоподібних складників у певній матриці, результатом чого є утворення розсіяних систем, таких як порошки, суспензії, емульсії чи аерозолі. Водночас, гомогенізація являє собою процес, метою якого є зниження варіативності у розподілі фаз та окремих елементів у системах, що мають різнорідну структуру. Кавітація (cavitation) визначається як фізичне явище утворення та руйнування парогазових бульбашок у рідині, що супроводжується вивільненням значної кількості енергії у вигляді ударних хвиль. Таким чином, кавітаційна обробка забезпечує ефективне подрібнення компонентів корму за рахунок імпульсного енергетичного впливу.

На сучасному етапі існує значна кількість диспергаторів і гомогенізаторів, що працюють на основі кавітаційних ефектів, у тому числі для переробки кормової сировини з метою підвищення її засвоюваності. Значна частина таких гідродинамічних пристроїв створювалася з метою виробництва зволжених кормосумішей із зернових, олійних та бобових культур, а також із продуктів тваринного походження, призначених для худоби різного віку. При цьому паралельно досягається дезінфекція та нейтралізація шкідливих сполук (наприклад, мікотоксинів та алкалоїдів), а фінальний продукт виходить у формі рідинних суспензій чи емульсій.

Обладнання, призначене для диспергування, можна класифікувати наступним чином:

- апарати із задіянням механічних елементів (млини кульові, бісерні, вібраційні, а також дезінтегратори);
- пристрої, що працюють на принципі самоподрібнення (це стосується барабанних, центрифугальних та струменевих апаратів);
- подрібнювачі, що використовують енергію вибуху (завдяки різкому скиданню тиску чи застосуванню вибухових матеріалів).



Рисунок 3.1 – Основні робочі вузли кавітаційних гідроударних диспергаторів

Основними недоліками таких установок є інтенсивний знос робочих органів, забруднення продукту частками зносу, висока енергоємність процесу, низький коефіцієнт корисної дії, а також схильність частинок до агрегації при досягненні високої дисперсності.

Останнім часом активно розвиваються технології, що поєднують диспергування та гомогенізацію в одному процесі. До таких належать ультразвукові установки, кавітаційні пристрої, електрогідравлічні системи, апарати роторних пульсацій і гідроударні установки. Ультразвукові установки застосовуються обмежено через специфічні умови використання,

а електрогідравлічні пристрої поки що не набули широкого впровадження. Найбільш поширеними є роторно-пульсаційні та гідроударні установки.

Сучасні тенденції розвитку технологій передбачають перехід до диспергування у двофазному середовищі (тверда фаза + рідина), що дозволяє поєднати процеси подрібнення і гомогенізації в одному апараті. Рідкою фазою може виступати вода або інші рідини (наприклад, олія чи рослинний сік). Це дає змогу використовувати фізичні закономірності рідин (закони Паскаля, Бернуллі) та реалізовувати ефекти гідравлічного удару, кавітації, турбулентності та імпульсів високого тиску.

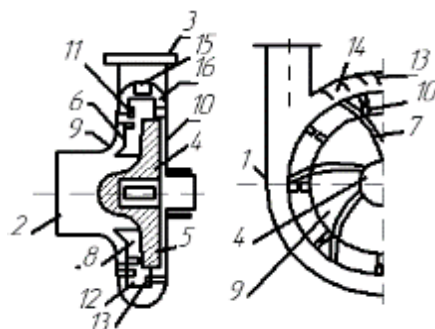
Кавітаційна обробка забезпечує ефективне подрібнення сировини та гомогенізацію кормових сумішей, що робить можливим їх транспортування по стандартних трубопровідних системах рідкої годівлі. Крім того, диспергування у рідкому середовищі усуває недоліки сухого подрібнення, оскільки зменшується знос робочих органів, відсутнє забруднення продукту та знижується агрегація частинок завдяки зменшенню поверхневої енергії твердої фази.

Ключовими складовими частинами гідроударних диспергаторів кавітаційного типу є ротор і нерухома частина, що зветься статором. У роторній частині інтегровано камери для резонансу, тоді як статор оснащений звужуючими (конфузорними) отворами. Як тільки ротор починає обертатися зі швидкістю 3000–4000 обертів на хвилину, відбувається циклічне блокування прохідних отворів, що, своєю чергою, генерує імпульсні гідродинамічні явища.

Подрібнення здійснюється за рахунок дії кавітації та гідравлічного удару, який має пульсуючий характер. Завдяки резонансним явищам відбувається багаторазове підсилення тиску (до 10 разів порівняно з роторно-пульсаційними апаратами), що забезпечує високу ефективність руйнування частинок. Процес супроводжується інтенсивною турбулентністю, яка сприяє якісній гомогенізації.

В Україні відомі розробки у цій сфері, зокрема агрегати серії «Мрія», а також технологія «Cavikorm», що базується на використанні роторних диспергаторів для отримання високоякісних кормових добавок.

Разом із тим, існуючі конструкції мають ряд недоліків: складність конструкції, висока матеріаломісткість, підвищене енергоспоживання, відсутність систем контролю якості процесу, складність регулювання та обмежена універсальність.



- 1 – корпусна частина; 2 – підвідний патрубок; 3 – нагнітальний патрубок;
 4 – обертовий ротор; 5 – опорна база; 6 – захисний диск; 7 – робочий лопатевий диск; 8 – міжлопатеві канали; 9 – циліндричний підвід;
 10 – стаціонарний ротор; 11 – виступні елементи; 12 – робочі лопаті;
 13 – перфораційні отвори; 14 – зона всмоктування.

Рисунок 3.2 – Конструктивна схема та загальний вигляд насоса-гомогенізатора

Аналіз сучасних технологій показує, що традиційні методи змішування (пропелерні, турбінні, якорні мішалки) ефективні лише для легко змочуваних матеріалів і характеризуються низьким енергоспоживанням, але недостатньою інтенсивністю обробки. Для складніших систем необхідне використання високозсувних пристроїв, таких як роторно-статорні змішувачі або диспергатори.

Однак навіть ці технології не завжди забезпечують необхідний рівень дисперсності, що обумовлює використання додаткового обладнання (гомогенізаторів високого тиску, колоїдних млинів), які характеризуються високою вартістю та складністю експлуатації.

У зв'язку з цим перспективним напрямком є розвиток ультрависокозсувних змішувачів (UHSM), які дозволяють значно підвищити ефективність диспергування та гомогенізації, зменшити енерговитрати та покращити якість кінцевого продукту.

Таким чином, удосконалення технологій диспергування і гомогенізації, зокрема на основі кавітаційних ефектів, є важливим напрямком підвищення ефективності кормоприготування та якості кормових сумішей у сучасному тваринництві.

3.3 Конструкція кавітаційного подрібнювача

Кавітаційний подрібнювач включає робочу камеру 1, у якій встановлено конусоподібний напрямний елемент 2. На приводному валу 3 послідовно закріплені два яруси ножів – 4 та 5. Перший ряд ножів 4 має чашоподібну конфігурацію та оснащений криволінійною ріжучою кромкою 6. Другий ряд різаків, позначений цифрою 5, складається з плоских складових, що мають пряму ріжучу грань, яка має позначення 7.

Ротор, позначений як 8, являє собою циліндр, що є порожнистим усередині, і обладнаний центральним отвором для всмоктування, позначеним як 9, а також лопатями 10, розміщеними радіально. У бічних

поверхнях цього ротора, у двох рядах, зміщених один відносно одного з фіксованим інтервалом, закріплені елементи гідравлічної кавітації 11, які мають форму насадок типу Вентурі.

Статор 12 складається з двох співвісних кілець – внутрішнього 13 та зовнішнього 14, у яких також у два ряди зі зміщенням і визначеним інтервалом розміщені кавітаційні пристрої 15 і 16. При цьому у внутрішньому кільці використано насадки типу Борда, а у зовнішньому – насадки Вентурі.

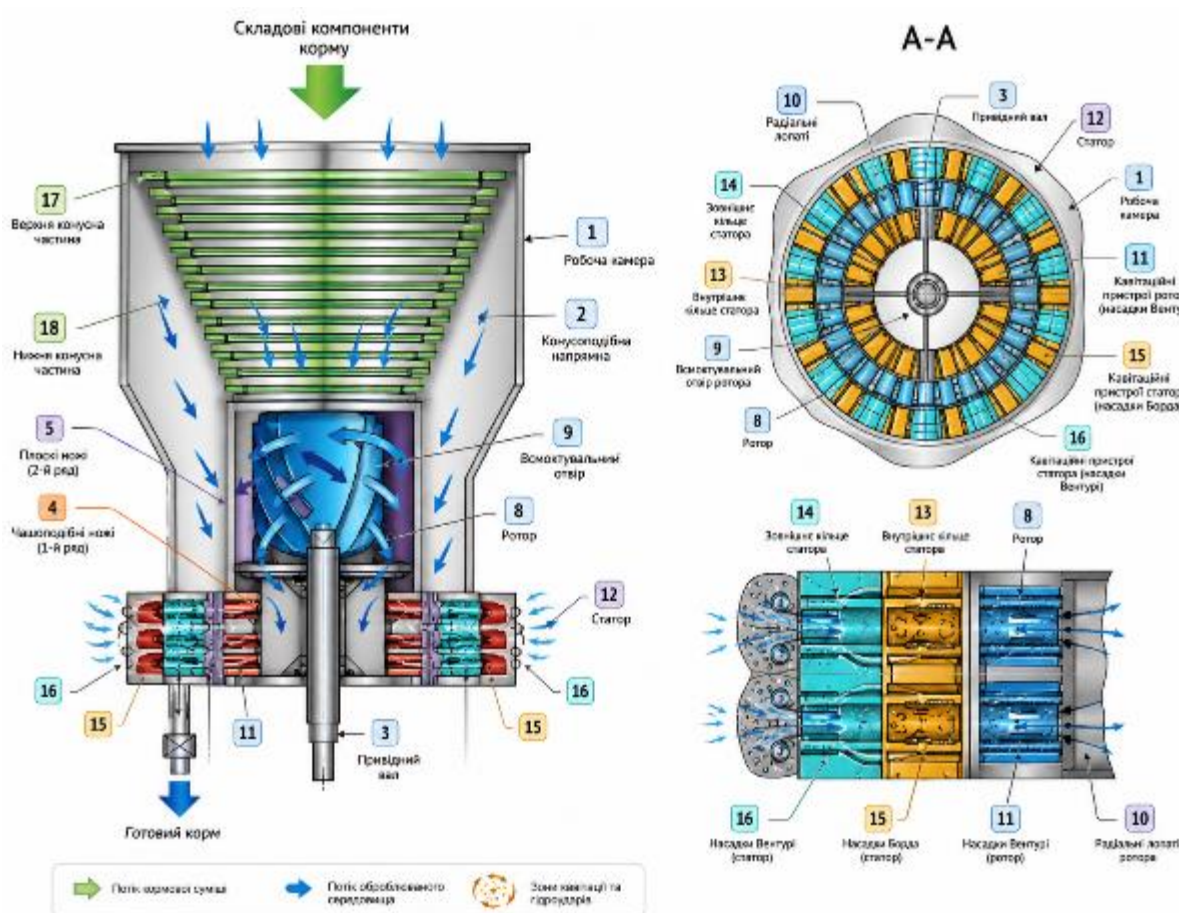


Рисунок 3.3 – Конструкція кавітаційного подрібнювача

Конусоподібний напрямний елемент 2 утворений двома частинами – верхньою суцільною 17 та нижньою 18, яка складається з ряду коаксіально розміщених кілець 19. Діаметр кожного наступного кільця зменшується відповідно до форми конуса, а відстань між ними поступово збільшується у

напрямку руху матеріалу. У робочу камеру заливають воду або поживний розчин відповідно до рецептури кормової суміші. Після цього вмикають електродвигун, який приводить у рух вал 3, ножі 4 і 5, ротор 8 та робочу рідину. Далі у камеру поступово подають компоненти суміші. Під дією сили тяжіння матеріал рухається по напрямному конусу та послідовно проходить через два ступені подрібнення. На першому етапі, взаємодіючи з чашоподібними ножами 4, відбувається попереднє руйнування структури завдяки криволінійному різанню. На другому етапі плоскі ножі 5 здійснюють додаткове подрібнення за рахунок прямолінійного різання потоку. Після цього суміш засмоктується в ротор через отвір 9 під дією лопатей 10. У середині ротора середовище прискорюється та проходить через кавітаційні насадки 11, де досягає високих швидкостей. При частковому перекритті отворів виникають гідравлічні удари та турбулентні вихрові зони, що інтенсивно руйнують частинки – це третій етап обробки. Коли отвори ротора співпадають із каналами статора, середовище потрапляє до насадок Борда 15, де відбувається різке зниження тиску і формуються кавітаційні бульбашки. Їх схлопування створює імпульсні навантаження, які додатково подрібнюють тверді включення – четвертий етап. Далі потік переходить до насадок Вентурі 16, де швидкість знову зростає, а тиск підвищується. Утворюються інтенсивні вихрові структури, що забезпечують ще один ступінь руйнування частинок – п'ятий етап. Оброблене середовище, насичене кавітаційними бульбашками, із значною швидкістю взаємодіє з основною масою суміші в робочій камері. У зонах їх схлопування відбувається активний масообмін, що сприяє гомогенізації, нагріванню, знезараженню та прискоренню фізико-хімічних процесів. Після цього частково оброблена суміш знову підхоплюється лопатями ротора та спрямовується до нижньої частини конусної напрямної, проходить через щілини між кільцями і повторно циркулює в системі. Процес триває циклічно до досягнення однорідної структури.

Після завершення обробки готова кормова суміш подається на подальше використання для годівлі тварин.

3.4 Обчислення основних конструктивно-технологічних параметрів кавітаційного подрібнювача

Визначення кількості отворів у статорі та роторі. Ефективність функціонування кавітаційного подрібнювача визначається сукупністю конструктивних і режимних параметрів, серед яких основними є:

- кількість і геометричні розміри отворів у статорі та роторі;
- пропускна здатність окремого ступеня;
- частота обертання ротора;
- початкові розміри частинок, що підлягають подрібненню;
- величина тиску гідравлічного удару;
- інтенсивність масообміну між газовою та рідкою фазами;
- достатність імпульсних навантажень для руйнування частинок у резонансному режимі;
- частоти процесів розрідження (у статорі) та стиснення (у роторі).

Кількість стадій оброблення та їхні параметри частоти встановлюються з огляду на потрібний розмір частинок фінальної продукції. Конструкція апарата формується таким чином, щоб забезпечити ефективне змішування, диспергування та отримання однорідної високодисперсної системи.

Для обґрунтування параметрів роторно-статорного вузла виконують попередні теоретичні розрахунки, які дозволяють визначити оптимальну кількість і розміри отворів, відстані між ними, а також пов'язані з цими параметрами значення тиску і пропускної здатності.

Відповідно до відомих методик, вводяться такі позначення: i – довжина кола контакту ротора і статора, м; z – ширина отвору, м; k_s – кількість отворів у статорі; k_r – кількість отворів у роторі.

Добуток $k_s \cdot z$ характеризує сумарну ширину отворів статора, а різниця між довжиною кола і цією величиною визначає сумарні проміжки між отворами. Відстань між сусідніми отворами статора обчислюється за формулою:

$$a_c = \frac{i - k_c \cdot z}{k_c}$$

Аналогічно для ротора:

$$a_p = \frac{i - k_p \cdot z}{k_p}$$

Отвори в роторі та статорі мають однакову форму і розміри, проте їх кількість відрізняється: у статорі їх більше. Це забезпечує рівномірність роботи і запобігає виникненню суцільного гідроудару, який може пошкодити обладнання.

При обертанні ротора отвори періодично частково або повністю перекриваються, утворюючи змінні щілини. Якщо позначити різницю кроків як Δ , то ширина щілин змінюється за законом: $z, z - \Delta, z - 2\Delta \dots$

Повне перекриття отворів (при $z = j \cdot \Delta$) призводить до виникнення гідроудару. Відповідно, кількість отворів, у яких одночасно виникають такі явища, визначається як:

$$N = \frac{k_c}{2(j+1)}$$

Пропускна здатність одного ступеня залежить від сумарної ширини відкритих каналів і визначається як функція параметрів z і k . При зміщенні ротора на величину меншу за Δ загальна пропускна здатність практично не змінюється, що забезпечує стабільність процесу.

Параметр Δ визначається як:

$$\Delta = \frac{z}{j}$$

Зі збільшенням Δ зменшується номер отвору, в якому виникає повне перекриття, що впливає на частоту і силу гідроударів.

Після підстановки числових значень встановлено, що кількість отворів у роторі становить 24 шт.

Визначення швидкості руху суміші. Середню швидкість руху суміші визначають через тиск гідравлічного удару за формулою Жуковського:

$$P = \rho(V_1 - V_0)a$$

де ρ – густина середовища; V_1 і V_0 – швидкості потоку до і після перекриття; a – швидкість поширення ударної хвилі.

Частоту гідроударів розглядають для двох зон: отворів і міжлопатевого простору. При цьому у міжлопатевій зоні вона є вищою.

Швидкість потоку у роторі визначається залежністю:

$$V_1 = \frac{2Q}{m \cdot z \cdot k_c}$$

де Q – витрата, m – довжина отвору.

Якщо створений тиск перевищує межу міцності частинок, відбувається їх миттєве руйнування. В іншому випадку необхідне багаторазове повторення процесу або проходження через декілька ступенів.

Час проходження частинки через отвір:

$$t = \frac{h}{V_1}$$

Частота гідроударів визначається як:

$$f = n \cdot k$$

де n – частота обертання ротора.

Якщо час проходження частинки співпадає з інтервалом між ударами, вона зазнає одного імпульсу. При меншому часі – декількох, при більшому – може пройти без впливу.

Важливим фактором є також чергування хвиль підвищення і зниження тиску. Зниження тиску (розтягування) сприяє більш ефективному руйнуванню частинок, ніж стискання.

Додатковий ефект забезпечується резонансним руйнуванням, коли частота імпульсів співпадає з власною частотою коливань частинки.

Після перетворення рівнянь отримуємо:

$$P = \frac{\rho \cdot \pi \cdot r^2 \cdot m \cdot z \cdot k \cdot Q}{2a}$$

Потужність, необхідна для роботи апарата:

$$W = Q \cdot P$$

У результаті розрахунків отримано: продуктивність – 0,11 кг/с (398 кг/год); споживана потужність – 1,98 кВт.

3.5 Висновки до розділу

Проведений аналіз та розрахунок конструктивно-технологічних параметрів кавітаційного подрібнювача підтвердив доцільність його використання для інтенсифікації процесів приготування кормових сумішей. Встановлено, що ефективність роботи апарата визначається комплексною дією кавітації, гідроударів та турбулентних потоків, які забезпечують глибоке подрібнення і гомогенізацію сировини.

У результаті розрахунків визначено оптимальні параметри робочого органа, зокрема кількість отворів у роторі становить 24 шт., що забезпечує стабільний режим роботи без виникнення суцільного гідроудару. Розраховані енергетичні та технологічні показники свідчать про достатню ефективність процесу: продуктивність подрібнювача складає 0,11 кг/с (398 кг/год), а необхідна потужність приводу – 1,98 кВт.

Отримані результати підтверджують, що застосування кавітаційної обробки дозволяє підвищити ступінь диспергування, покращити однорідність кормової суміші та знизити енерговитрати, що робить запропоновану конструкцію перспективною для використання у сучасних технологіях кормоприготування.

4. ОХОРОНА ПРАЦІ ТА ЗАХИСТ НАВКОЛИШНЬОГО СЕРЕДОВИЩА

Організація охорони праці на сучасних свинофермах є невід'ємною складовою ефективного функціонування виробництва та забезпечення безпеки персоналу. Особливу увагу необхідно приділяти механізованим технологічним лініям приготування рідких кормів, які включають комплекс обладнання: подрібнювачі, змішувачі, насоси, трубопроводи, дозатори та системи автоматизації. Удосконалення кавітаційного подрібнювача як ключового елемента технологічної лінії підвищує ефективність процесу, однак водночас висуває додаткові вимоги до безпеки праці та екологічного контролю.

Головними загрозами та шкідливими умовами праці, що можуть виникнути під час експлуатації механізованої лінії, є: елементи машин та механізмів, що рухаються, надмірний гул та вібраційне навантаження, потенційна небезпека ураження електрострумом, виділення пилових частинок та аерозолів, підвищений рівень вологості у робочій зоні, а також ймовірність стикання з біологічно активними субстанціями. Кавітаційний подрібнювач, зокрема, створює локальні зони підвищеного тиску та температури, що може становити небезпеку при порушенні герметичності або неправильній експлуатації.

Для забезпечення безпечних умов праці необхідно передбачити комплекс організаційних і технічних заходів. До організаційних заходів належать проведення інструктажів з охорони праці, навчання персоналу безпечним методам роботи, періодична перевірка знань, а також допуск до роботи лише кваліфікованих працівників. Особливу увагу слід приділяти інструкціям з експлуатації кавітаційного подрібнювача, оскільки неправильне використання цього обладнання може призвести до аварійних ситуацій.

Технічні заходи включають оснащення обладнання захисними кожухами, блокувальними пристроями та аварійними вимикачами. Усі рухомі частини машин повинні бути надійно огорожені. Кавітаційний подрібнювач повинен мати герметичний корпус, який запобігає витоку робочої суміші та знижує рівень шуму. Також необхідно встановлювати датчики контролю тиску, температури та рівня заповнення, що дозволяє своєчасно виявляти відхилення від нормального режиму роботи.

Важливим аспектом є електробезпека. Усі електричні установки повинні відповідати вимогам нормативних документів, мати заземлення та захисне відключення. Електродвигуни, що використовуються в технологічній лінії, повинні бути захищені від вологи та пилу. Регулярне технічне обслуговування електрообладнання дозволяє запобігти коротким замиканням і пожежам.

Рівень шуму та вібрації, який виникає під час роботи подрібнювачів і насосів, може негативно впливати на здоров'я працівників. Для його зниження застосовують амортизуючі опори, шумоізоляційні матеріали та оптимізацію режимів роботи обладнання. Працівники повинні використовувати індивідуальні засоби захисту, такі як навушники або беруші.

Особливу увагу необхідно приділяти санітарно-гігієнічним умовам. Приміщення для приготування рідких кормів повинні бути обладнані системами вентиляції, які забезпечують видалення надлишкової вологи та шкідливих газів. Освітлення повинно відповідати встановленим нормам і забезпечувати достатню видимість робочої зони. Регулярне прибирання та дезінфекція приміщень дозволяють зменшити ризик поширення патогенних мікроорганізмів.

Значну роль відіграє використання засобів індивідуального захисту. Працівники повинні бути забезпечені спецодягом, гумовими рукавицями, захисними окулярами та взуттям. У разі роботи з агресивними

середовищами або дезінфікуючими речовинами необхідно застосовувати додаткові засоби захисту органів дихання.

Пожежна безпека є ще одним важливим аспектом. Хоча рідкі корми не є легкозаймистими, у приміщеннях можуть накопичуватися горючі матеріали, пил та електрообладнання, що створює ризик виникнення пожежі. Необхідно передбачити наявність первинних засобів пожежогасіння, таких як вогнегасники, а також забезпечити вільний доступ до евакуаційних виходів.

Щодо захисту навколишнього середовища, основними джерелами впливу є відходи виробництва, стічні води та викиди в атмосферу. У процесі приготування рідких кормів можуть утворюватися залишки сировини та відходи, які необхідно утилізувати або використовувати повторно. Рациональне використання ресурсів дозволяє зменшити негативний вплив на довкілля.

Стічні води, що утворюються під час миття обладнання та приміщень, можуть містити органічні речовини та мікроорганізми. Для їх очищення необхідно застосовувати системи механічної та біологічної очистки. Забороняється скидання неочищених стоків у природні водойми.

Викиди в атмосферу включають водяну пару, гази та запахи, які можуть утворюватися під час ферментації кормів. Для їх зменшення застосовують вентиляційні системи з фільтрами та біофільтрами. Розміщення виробничих приміщень повинно враховувати санітарно-захисні зони.

Удосконалення кавітаційного подрібнювача також має екологічні переваги. Завдяки більш ефективному подрібненню сировини зменшується енергоспоживання та підвищується засвоюваність кормів, що, у свою чергу, знижує обсяг відходів. Крім того, зменшується потреба у додаткових технологічних операціях, що позитивно впливає на екологічні показники виробництва.

Важливим напрямом є впровадження автоматизованих систем контролю, які дозволяють оптимізувати технологічні процеси та зменшити вплив людського фактора. Такі системи забезпечують контроль параметрів роботи обладнання, своєчасне виявлення несправностей і зниження ризику аварій.

Таким чином, забезпечення охорони праці та захисту навколишнього середовища при експлуатації механізованої технологічної лінії приготування рідких кормів на свинофермі є комплексним завданням, що потребує системного підходу. Реалізація запропонованих заходів дозволяє створити безпечні умови праці, підвищити ефективність виробництва та мінімізувати негативний вплив на довкілля. Удосконалення кавітаційного подрібнювача є важливим кроком у напрямі підвищення технологічного рівня виробництва, однак воно повинно супроводжуватися відповідними заходами безпеки та екологічного контролю.

5 ТЕХНІКО-ЕКОНОМІЧНА ЕФЕКТИВНІСТЬ ПРОЄКТУ

У базовому варіанті процес приготування повнораціонних рідких кормосумішей здійснюється за допомогою системи рідкого годування HYDROMIX-стандарт виробництва компанії Big Dutchman.

У проектному варіанті використовується аналогічна система, проте передбачено застосування розробленого кавітаційного подрібнювача, що забезпечує інтенсифікацію процесу подрібнення та змішування кормових компонентів.

Оскільки обидва варіанти відрізняються лише типом змішувального обладнання, економічну оцінку доцільно виконувати за експлуатаційними показниками роботи саме цих машин. Основними критеріями порівняння є питомі експлуатаційні витрати, додаткові капіталовкладення та додатковий прибуток.

Питомі експлуатаційні витрати визначаються як сума витрат на електроенергію, амортизацію, ремонт і технічне обслуговування:

$$I = I_z + I_e + I_a + I_t.$$

У даному випадку витрати на оплату праці (I_z) відсутні, оскільки як базова, так і проектована лінія працюють в автоматизованому режимі.

Оновлення вихідних економічних показників

Для адаптації розрахунків до сучасних умов приймаємо:

- вартість електроенергії: $C_e = 4,5$ грн/кВт·год
- вартість комбікорму: $C = 14$ грн/кг
- інші параметри залишаємо без змін (обсяги, продуктивність)

Розрахунок витрат на електроенергію

Річні питомі витрати електроенергії визначаються залежністю:

$$I_e = (n \cdot W \cdot t \cdot C_e) / P$$

де n – кількість одиниць обладнання (2 – базовий, 4 – проектний), W – потужність (1,5 кВт і 2 кВт відповідно), t – тривалість роботи, $P = 3449,25$ т/рік.

Час роботи обладнання: $t_b = 1724,6$ год; $t_p = 2155,8$ год

Тоді:

$$I_{eб} = (2 \cdot 1,5 \cdot 1724,6 \cdot 4,5) / 3449,25 \approx 6,75 \text{ грн/т}$$

$$I_{ep} = (4 \cdot 2 \cdot 2155,8 \cdot 4,5) / 3449,25 \approx 22,5 \text{ грн/т}$$

Амортизаційні відрахування. З урахуванням сучасних цін на обладнання приймаємо: базове обладнання: 120 000 грн/од., кавітаційний подрібнювач: 220 000 грн/од.

Балансова вартість:

$$C_b = 2 \cdot 120000 \cdot (1 + 0,13 + 0,15) = 307\,200 \text{ грн}$$

$$C_p = 4 \cdot 220000 \cdot (1 + 0,13 + 0,15) = 1\,126\,400 \text{ грн}$$

Амортизація (15%):

$$I_{aб} = (0,15 \cdot 307200) / 3449,25 \approx 13,4 \text{ грн/т}$$

$$I_{ap} = (0,15 \cdot 1126400) / 3449,25 \approx 49,0 \text{ грн/т}$$

Витрати на ремонт і технічне обслуговування

$I_t = 15\%$ від вартості: $I_{tb} \approx 13,4$ грн/т, $I_{tp} \approx 49,0$ грн/т

Загальні питомі витрати

Базовий варіант: $I_b = 6,75 + 13,4 + 13,4 \approx 33,6$ грн/т

Проектний варіант: $I_p = 22,5 + 49,0 + 49,0 \approx 120,5$ грн/т

Прямі річні експлуатаційні витрати

$$I_{пр.б} = 33,6 \cdot 3449,25 \approx 115\,900 \text{ грн/рік}$$

$$I_{пр.п} = 120,5 \cdot 3449,25 \approx 415\,600 \text{ грн/рік}$$

Додатковий економічний ефект. Завдяки використанню кавітаційного подрібнювача досягається економія кормів до 5% за рахунок підвищення їх засвоюваності.

Маса зекономленого корму:

$$M = 0,05 \cdot 1149,75 \cdot 1000 \approx 57\,487 \text{ кг/рік}$$

Додатковий дохід:

$$D = 57\,487 \cdot 14 \approx 804\,800 \text{ грн/рік}$$

Річний економічний ефект

$$E = D - (I_{пр.п} - I_{пр.б})$$

$$E = 804\,800 - (415\,600 - 115\,900) \approx 505\,100 \text{ грн/рік}$$

Строк окупності. Додаткові інвестиції:

$$\Delta K = 1\,126\,400 - 307\,200 = 819\,200 \text{ грн}$$

Тоді строк окупності:

$$T = 819\,200 / 505\,100 \approx 1,6 \text{ року}$$

Таблиця 6.1 – Техніко-економічні показники

Показники	Базовий варіант	Проектний варіант
Річний об'єм виробництва, т	3449,25	3449,25
Питомі експлуатаційні витрати, грн/т	33,6	120,5
у тому числі:		
– заробітна плата	0	0
– витрати на електроенергію	6,75	22,5
– амортизація	13,4	49,0
– ремонт і ТО	13,4	49,0
Прямі річні витрати, грн	115 900	415 600
Балансова вартість обладнання, грн	307 200	1 126 400
Додаткові капіталовкладення, грн	–	819 200
Економія кормів, кг/рік	–	57 487
Додатковий дохід, грн/рік	–	804 800
Річний економічний ефект, грн	–	505 100
Строк окупності, років	–	1,6

Отримані результати свідчать, що, незважаючи на значно вищі експлуатаційні витрати проєктованого варіанту, впровадження кавітаційного подрібнювача є економічно доцільним. Основним фактором ефективності є зниження витрат кормів, що в сучасних умовах високих цін на комбікорми забезпечує суттєвий економічний ефект.

Проектована технологічна лінія дозволяє отримати понад 500 тис. грн додаткового прибутку на рік, а строк окупності інвестицій становить менше 2 років, що відповідає сучасним вимогам до ефективності аграрного виробництва.

ВИСНОВКИ

1. У сучасному свинарстві домінує сухий тип годівлі (70–75% господарств), однак рідка годівля демонструє вищу ефективність. Зокрема, при використанні рідких кормів підвищується поїдання корму до 5%, збільшуються середньодобові прирости до 6%, а витрати корму (конверсія) знижуються до 10%. Додатково спостерігається скорочення чисельності обслуговуючого персоналу до 25% та зменшення втрат корму (у сухих системах – до 3–9%). Водночас суха годівля супроводжується рядом недоліків: до 25% тварин мають нераціональну поведінку під час годівлі, запиленість кормів може досягати 20%, що спричиняє зростання респіраторних захворювань на 8–10%. Рідка годівля забезпечує підвищення продуктивності на 5–6%, зниження витрат корму до 10% та покращення організації виробництва, що підтверджує її більшу технологічну та економічну ефективність.

2. У результаті розрахунків встановлено, що для забезпечення річної виробничої потужності 500 т свинини необхідно реалізовувати 4166 голів відгодівельних свиней. Для цього слід отримати 5308 поросят на рік, що відповідає 103 поросятам на одну технологічну групу. Чисельність підсисних свиноматок становить 9 голів у групі, а для осіменіння — 11 голів за ритм. Сформовано структуру виробництва: 5 груп поросних (І період), 11 – поросних (ІІ період), 5 – підсисних, 8 – дорощування та 16 – відгодівлі, що забезпечує безперервність виробничого процесу. Загальна потреба у станкомісцях становить 2525 голів, з яких найбільша частка припадає на відгодівлю – 1552 голови ($\approx 61\%$). Добова потреба в комбікормі складає 3,15 т, а з урахуванням води (2:1) – 9,45 т рідкої кормосуміші. Розрахункова продуктивність технологічної лінії становить 1,575 т/год. Для забезпечення роботи достатньо 1 агрегату ЗСК-10 (9,59 т/год) та 2 комплектів системи HYDROMIX (по 1 т/год кожен).

3. Проведений аналіз та розрахунок конструктивно-технологічних параметрів кавітаційного подрібнювача підтвердив доцільність його використання для інтенсифікації процесів приготування кормових сумішей. Встановлено, що ефективність роботи апарата визначається комплексною дією кавітації, гідроударів та турбулентних потоків, які забезпечують глибоке подрібнення і гомогенізацію сировини. У результаті розрахунків визначено оптимальні параметри робочого органа, зокрема кількість отворів у роторі становить 24 шт., що забезпечує стабільний режим роботи без виникнення суцільного гідроудару. Розраховані енергетичні та технологічні показники свідчать про достатню ефективність процесу: продуктивність подрібнювача складає 0,11 кг/с (398 кг/год), а необхідна потужність приводу – 1,98 кВт.

4. Забезпечення охорони праці та захисту навколишнього середовища при експлуатації механізованої технологічної лінії приготування рідких кормів на свинофермі є комплексним завданням, що потребує системного підходу. Реалізація запропонованих заходів дозволяє створити безпечні умови праці, підвищити ефективність виробництва та мінімізувати негативний вплив на довкілля. Удосконалення кавітаційного подрібнювача є важливим кроком у напрямі підвищення технологічного рівня виробництва, однак воно повинно супроводжуватися відповідними заходами безпеки та екологічного контролю.

5. Аналіз техніко-економічних показників свідчить, що проектований варіант технологічної лінії з використанням кавітаційного подрібнювача має вищі питомі та річні експлуатаційні витрати порівняно з базовим. Однак за рахунок підвищення ефективності переробки кормів і зменшення їх витрат досягається значний додатковий дохід. Це забезпечує річний економічний ефект понад 500 тис. грн, а строк окупності додаткових капіталовкладень становить близько 1,6 року. Таким чином, впровадження удосконаленої технології є економічно доцільним і перспективним для сучасного виробництва.

БІБЛІОГРАФІЯ

1. Алієв Е. Б., Алієва О. Ю., Малєгін Р. Д. Безвідходна переробка рослинної сировини олійних культур у корми для органічного тваринництва. Наукові горизонти. 2020. № 7 (92). С. 112–119.
2. Алієв Е. Б., Дудін В. Ю., Алієва О. Ю., Малєгін Р. Д. Результати чисельного моделювання кавітаційного диспергатора рідких кормів. Технічний сервіс АПК. 2020. № 21. С. 33–40.
3. Алієв Е. Б., Малєгін Р. Д. Результати експериментальних досліджень гомогенізатора-диспергатора рідких кормів для свиней. Сільськогосподарські машини. 2024. № 50. С. 48–60.
4. Алієв Е. Б., Миколенко С. Ю., Сова Н. А., Алієва О. Ю., Малєгін Р. Д., Лупко К. О., Лінко М. О., Гезь Я. В., Безугла Л. С. Техніко-технологічне забезпечення безвідходної переробки зернової сировини у харчові продукти і корми : колективна монографія / за ред. Е. Б. Алієва. Київ : ЛПРА, 2022.
5. Алієв Е. Б., Миколенко С. Ю., Яропуд В. М., Малєгін Р. Д. Обґрунтування конструктивно-технологічної схеми кавітаційного диспергатора-гомогенізатора. Техніка, енергетика, транспорт АПК. 2020. № 2 (109). С. 5–15.
6. Григоренко С. М., Тимошенко С. В. Дослідження процесу подрібнення кормів у роторно-пульсаційних апаратах. Вісник ХНТУСГ. 2017. № 183. С. 56–62.
7. Данилів В. Б. Розвиток свинарства на індустріальній основі. Економіка АПК. 2008. № 10 (168). С. 16–25.
8. Іванов В. О., Волощук В. М. Біологія свиней. Полтава : Техсервіс, 2013. С. 195–198.
9. Комалова І. Корисний досвід австрійського свинаря. Agroexpert. 2010. № 8–9 (25–26). С. 43–45.

10. Нові технології для відгодівлі і розведення свиней. Agroexpert : вебсайт. URL: <https://agroexpert.ua/novi-tehnologii-dla-vidgodivli-i-rozvedenna-svinei/> (дата звернення: 02.05.2026).
11. Повод М. Г. Вплив технологічних особливостей на відгодівельні показники свиней. Вісник Сумського НАУ. Серія : Тваринництво. 2014. № 2 (2). С. 194–200.
12. Повод М. Г., Михалко О. Г., Шпетний М. Б., Опара В. О. Продуктивні якості відгодівельного молодняку свиней за різного рівня протеїну в раціоні. Вісник Сумського НАУ. Серія : Тваринництво. 2021. № 3 (46). С. 78–83.
13. Столюк В. Нові підходи в годівлі свиней. Ефективне свинарство. 2010. № 4. С. 33–35.
14. Хомут О. І., Рудик М. І., Гулай О. М. Залежність відгодівельних якостей свиней американського походження від різного типу годівлі. URL: <http://dx.doi.org/10.32845/bsnau.lvst.2021.4.21> (дата звернення: 02.05.2026).
15. Шевченко І. А., Павліченко В. М., Лиходід В. В., Забудченко В. М. Аналіз конструкцій технічних засобів для виробництва вологих високозасвоюваних кормів. Конструювання, виробництво та експлуатація с.-г. машин. 2013. Вип. 43, ч. І. С. 180–184.
16. Agostini P. S., Gasa J., Manzanilla E. G., da Silva C. A., de Blas C. Descriptive study of production factors affecting performance traits in growing-finishing pigs in Spain. Spanish Journal of Agricultural Research. 2013. Vol. 11, No. 2. P. 371–381. DOI: <https://doi.org/10.5424/sjar/2013112-3011>
17. Aliiev E., Maliehin R., Ivliev V., Aliieva O. Simulation of the process of cavitation treatment of liquid feed. Scientific Horizons. 2021. Vol. 24 (2). P. 16–26.
18. Aliyev E. B., Mykolenko S. Yu., Yaropud V. M., Maliehin R. D. Establishment of the constructive and technological scheme of the cavitation disperser. Technology, Energy, Transport of AIC. 2020. No. 2 (109). P. 5–15.

19. Blavi L., Solà-Oriol D., Llonch P., López-Vergé S., Martín-Orúe S. M., Pérez J. F. Management and feeding strategies in early life to increase piglet performance and welfare. *Animals*. 2021. Vol. 11 (2). 302.
20. Davoudkhani M., Mahé F., Dourmad J. Y., Gohin A., Darrigrand E., Garcia-Launay F. Economic optimization of feeding strategies in pig production. *Agricultural Systems*. 2020. Vol. 184. 102899.
21. Devi V., Khanam S. Comparative study of extraction processes for hemp seed oil. *Journal of Cleaner Production*. 2019. Vol. 207. P. 645–657.
22. Gaillard C., Brossard L., Dourmad J. Y. Improvement of feed and nutrient efficiency in pig production. *Animal Feed Science and Technology*. 2020. Vol. 268. 114611.
23. Hein T. Different water-to-feed ratios in growing-finishing pigs. All About Feed : website. URL: <https://www.allaboutfeed.net/animal-feed/feed-processing/different-water-to-feed-ratios-in-growing-finishing-pigs/> (дата звернення: 02.05.2026).
24. Jo Y. Y., Choi M. J., Chung W. L., Hong J. S., Lim J. S., Kim Y. Y. Effects of feed form and particle size on pigs. *Animal Bioscience*. 2021. Vol. 34 (6). P. 1061–1069.
25. Lawlor P., O'Meara F. Comparison of dry and wet feeding for pigs. Pig Development Department. 2018.
26. Middelkoop A., Choudhury R., Gerrits W. J. J., Kemp B., Kleerebezem M., Bolhuis J. E. Effects of creep feed provision. *Frontiers in Veterinary Science*. 2020. Vol. 7. 879.
27. Minzanova S. T., Mironov V. F., Sosnina N. A., Vyshtakalyuk A. B. Technological aspects of feed additives production. Kazan Scientific Center. 2000–2012.
28. Pomar C., Remus A. Precision pig feeding. *Animal Frontiers*. 2019. Vol. 9 (2). P. 52–59.

29. Shevchenko I. A., Pavlichenko V. M., Likhodid V. V., Zabudchenko V. M. Analysis of technical equipment for feed production. КНТУ. 2013. Вип. 43. С. 179–184.
30. Sol C., Castillejos L., López-Vergé S., Muns R., Gasa J. Effects of feed-water mixing proportion. *Animals*. 2019. Vol. 9. 791.
31. Tangorra F. M., Calcante A. Energy consumption analysis of feeding systems. *Journal of Agricultural Engineering*. 2018. Vol. 49 (4). P. 228–232.
32. Vázquez N. A., Barragán H. B., Aguila N. C. V., Brenner E. G., Dávila F. S., Trejo A. M., Ramírez M. C. Effect of wet feeding of pigs. *Revista Mexicana de Ciencias Pecuarias*. 2021. Vol. 12 (2). P. 370–385.

Додатки

Дніпровський державний аграрно-економічний університет
Інженерно-технологічний факультет
Кафедра інжинірингу технічних систем

Удосконалення механізованої технологічної лінії приготування рідких кормів на свинофермі з удосконаленням кавітаційного подрібнювача

Демонстраційний матеріал до дипломного проєкту освітнього ступеня «Бакалавр»

Виконав: студент 4 курсу, групи АІ-3-22 за
спеціальністю 208 «Агроінженерія»
Шляховий Максим Юрійович

Керівник: д.т.н., старший дослідник
Алієв Ельчин Бахтияр огли

Дніпро, 2026

