

**МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
ПОЛІСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ**

**Факультет інженерії та енергетики
Кафедра агроінженерії та технічного сервісу**

**Кваліфікаційна робота
на правах рукопису**

Король Дмитро Романович

УДК 631.363.2:636.4

КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА

**Удосконалення механізованої лінії приготування та роздачі
кормів на свинокомплексі з модернізацією запарника кормів
208 “Агроінженерія”**

Подається на здобуття освітнього ступеня бакалавр
кваліфікаційна робота містить результати власних досліджень. Використання
ідей, результатів і текстів інших авторів мають посилання на відповідне
джерело _____ Король Д.Р.

Керівник роботи

Грудовий Р.С.

кандидат технічних наук, доцент

Житомир – 2026

АНОТАЦІЯ

Король Дмитро Романович. Удосконалення механізованої лінії приготування та роздачі кормів на свинокомплексі з модернізацією запарника кормів. – Кваліфікаційна робота на правах рукопису.

Кваліфікаційна робота на здобуття освітнього ступеня бакалавр за спеціальністю 208 – Агроінженерія. – Поліський національний університет, Житомир, 2026.

У кваліфікаційній роботі розглянуто питання підвищення ефективності механізованої лінії приготування та роздачі кормів на свинокомплексі. Проведено огляд існуючих технологічних схем годівлі свиней, а також обладнання, яке використовується для подрібнення, дозування, змішування, запарювання і транспортування кормових сумішей. Обґрунтовано доцільність застосування потокової технології приготування кормів, що забезпечує рівномірне постачання кормосумішей тваринам різних виробничих груп. Для свинокомплексу з поголів'ям 1200 свиней на відгодівлі виконано розрахунок добової потреби в кормах, визначено раціон і підібрано необхідне технологічне обладнання. У технологічній частині розроблено перспективну карту приготування та роздачі кормів із урахуванням продуктивності транспортерів, дозаторів, змішувачів і кормороздавачів. У конструктивній частині запропоновано модернізацію запарника кормів шляхом удосконалення робочих органів мішалки, що сприяє підвищенню однорідності кормової суміші. Виконані розрахунки підтверджують працездатність основних елементів модернізованого вузла та можливість його використання у складі потокової лінії свинокомплексу. Запропоновані технічні рішення дають змогу покращити якість підготовки кормів, зменшити витрати праці та підвищити ефективність виробничого процесу годівлі свиней.

Ключові слова: свинокомплекс, годівля свиней, кормова суміш, запарник кормів, механізація, кормороздавач.

ANNOTATION

Korol Dmytro Romanovych. Improvements to the mechanised feed preparation and distribution line at a pig farm, including the modernisation of the feed steamer. – Qualification work on the rights of the manuscript.

Qualification work for obtaining a bachelor's degree in the specialty 208 – Agricultural Engineering. – Polissia National University, Zhytomyr, 2026.

This thesis examines ways of improving the efficiency of a mechanised feed preparation and distribution line at a pig farm. It provides an overview of existing pig feeding processes, as well as the equipment used for grinding, dosing, mixing, steaming and transporting feed mixtures. The feasibility of using a continuous-flow feed preparation process is justified, as this ensures a uniform supply of feed mixtures to animals in different production groups. For a pig farm with a stock of 1,200 fattening pigs, the daily feed requirement was calculated, the ration was determined and the necessary process equipment was selected. In the technical section, a prospective flow chart for feed preparation and distribution has been developed, taking into account the capacity of conveyors, dosing units, mixers and feed dispensers. In the design section, a modernisation of the feed steamer is proposed by improving the working parts of the mixer, which helps to increase the uniformity of the feed mixture. The calculations carried out confirm the operational capability of the main components of the modernised unit and the possibility of its use as part of the pig farm's production line. The proposed technical solutions make it possible to improve the quality of feed preparation, reduce labour costs and increase the efficiency of the pig feeding process.

Keywords: pig farm, pig feeding, feed mixture, feed steamer, mechanisation, feed dispenser.

ЗМІСТ

ВСТУП.....	5
РОЗДІЛ 1. ОГЛЯД ІСНУЮЧИХ ТЕХНОЛОГІЧНИХ СХЕМ ТА ОБЛАДНАННЯ ДЛЯ ПРИГОТУВАННЯ І РОЗДАЧІ КОРМІВ У СВИНАРСТВІ.....	10
1.1. Значення механізованого приготування та роздачі кормів у свинарстві.....	10
1.2. Основні вимоги до технологічних схем кормоприготування.....	11
1.3. Аналіз технологічних схем приготування і роздачі кормів.....	12
1.4. Огляд обладнання для приготування кормових сумішей.....	14
1.5. Обладнання для роздачі кормів та системи керування.....	17
1.6. Порівняльна оцінка існуючих рішень і вибір напрямку подальшої розробки.....	18
РОЗДІЛ 2. ТЕХНОЛОГІЧНА ЧАСТИНА.....	19
2.1. Розрахунок структури стада та добової потреби в кормах.....	20
2.2. Розробка та опис перспективної технологічної карти приготування та роздачі кормів.....	23
2.3. Вибір та розрахунок потокових ліній і технологічного обладнання.....	26
2.4. Складання графіків роботи машин та обладнання.....	29
РОЗДІЛ 3. КОНСТРУКТИВНА РОЗРОБКА ЗАПАРНИКА КОРМІВ.....	33
3.1. Характеристика базової машини та напрям модернізації.....	33
3.2. Обґрунтування параметрів модернізованої мішалки.....	35
3.3. Перевірочний розрахунок потужності приводу.....	36
3.4. Перевірка вала мішалки на кручення.....	38
3.5. Розрахунок вала на сумісну дію згину і кручення.....	39
3.6. Розрахунок фланцевої напівмуфти.....	41
3.7. Перевірка шпонкових з'єднань.....	42
Висновки до конструктивного розділу.....	43

	5
ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ.....	44
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ.....	47

ВСТУП

Актуальність теми дослідження. Свинарство є однією з провідних галузей тваринництва, яка має важливе значення для забезпечення населення високоякісною м'ясною продукцією. Виробництво свинини характеризується високою інтенсивністю, швидким оборотом поголів'я та значною залежністю кінцевих результатів від організації технологічних процесів утримання, годівлі, догляду за тваринами і технічного обслуговування виробничого обладнання. У сучасних умовах розвитку аграрного виробництва особливої актуальності набуває впровадження ефективних механізованих ліній, які дають змогу підвищити продуктивність праці, зменшити витрати кормів, забезпечити рівномірність технологічних операцій та покращити економічні показники роботи свиногомплексу.

Одним із найважливіших виробничих процесів у свинарстві є годівля тварин, оскільки саме вона безпосередньо впливає на швидкість росту, прирости живої маси, конверсію корму, стан здоров'я поголів'я та собівартість одержаної продукції. Корми займають значну частку у структурі витрат на виробництво свинини, тому навіть незначне підвищення ефективності їх використання може забезпечити відчутний економічний результат. Недостатньо якісне приготування кормових сумішей, нерівномірне дозування компонентів, низька однорідність змішування або несвоєчасна роздача корму можуть призвести до перевитрати кормових ресурсів, зниження продуктивності тварин і порушення стабільності виробничого циклу.

У зв'язку з цим особливе значення має раціональна організація лінії приготування та роздачі кормів. Така лінія повинна забезпечувати приймання, зберігання, транспортування, дозування, подрібнення, змішування, теплову обробку і подачу корму до місць згодовування. Від правильного вибору технологічної схеми та обладнання залежить безперервність роботи свиногомплексу, точність виконання раціонів, рівень механізації праці та загальна ефективність використання виробничих площ. Для свиногомплексів із

значним поголів'ям, зокрема для підприємства на 1200 свиней на відгодівлі, питання продуктивності кормоцеху, узгодженості роботи машин і надійності обладнання є особливо важливими.

На практиці в господарствах застосовують різні системи годівлі свиней: суху, рідку, вологу та комбіновану. Кожна з них має свої переваги й недоліки, які необхідно враховувати під час проектування технологічної лінії. Суха годівля відзначається простішою організацією транспортування та зберігання корму, однак може супроводжуватися підвищеною запиленістю і не завжди забезпечує оптимальне споживання корму тваринами. Рідка та волога годівля дають змогу краще використовувати окремі види кормової сировини, підвищити поїдання кормів і зменшити їх втрати, проте потребують ретельного контролю за санітарним станом обладнання, якістю змішування та режимами приготування кормосумішей. Тому вибір технологічної схеми повинен бути обґрунтований з урахуванням виробничих умов, чисельності поголів'я, типу кормів, продуктивності обладнання і вимог до якості готової суміші.

Важливе місце в технологічній лінії займає обладнання для теплової обробки кормів, зокрема запарники. Запарювання кормів дозволяє покращити їхні фізико-механічні властивості, підвищити засвоюваність окремих компонентів, зменшити жорсткість частинок і забезпечити кращу придатність кормосуміші до споживання тваринами. Однак ефективність роботи запарника значною мірою залежить від конструкції його робочих органів, рівномірності перемішування, якості розподілу пари, тривалості обробки та зручності вивантаження готового корму. За недостатньої інтенсивності змішування в об'ємі запарника можуть виникати зони нерівномірного прогрівання та неоднакової вологості, що знижує якість корму й ускладнює подальшу його роздачу.

Актуальність теми кваліфікаційної роботи зумовлена необхідністю підвищення ефективності механізованої лінії приготування та роздачі кормів на свинокомплексі шляхом удосконалення технологічної схеми і модернізації запарника кормів. Удосконалення такого обладнання дає змогу підвищити

однорідність кормової суміші, скоротити тривалість технологічного циклу, зменшити витрати ручної праці та забезпечити стабільніші умови годівлі тварин. Модернізація робочих органів запарника є доцільним напрямом, оскільки вона спрямована на покращення процесів перемішування, теплової обробки та вивантаження корму без повної заміни всієї технологічної лінії.

Метою кваліфікаційної роботи є підвищення ефективності механізованої лінії приготування та роздачі кормів на свинокомплексі шляхом обґрунтування технологічної схеми, розрахунку потреби в кормах, вибору обладнання та модернізації запарника кормів.

Для досягнення поставленої мети у роботі необхідно вирішити такі **завдання**: провести огляд існуючих технологічних схем та обладнання для приготування і роздачі кормів у свинарстві; проаналізувати особливості сухої, вологої та рідкої годівлі свиней; визначити структуру поголів'я і добову потребу в кормах для свинокомплексу на 1200 свиней на відгодівлі; розробити перспективну технологічну карту приготування та роздачі кормів; підібрати транспортери, дозатори, змішувачі, запарник і кормороздавальне обладнання; скласти графіки роботи машин та обладнання; обґрунтувати напрям модернізації запарника кормів; виконати необхідні конструктивні та перевірочні розрахунки основних елементів модернізованого вузла.

Об'єктом дослідження є технологічний процес приготування та роздачі кормів на свинокомплексі.

Предметом дослідження є параметри роботи потокової лінії кормоприготування, технічні характеристики обладнання та конструктивні параметри модернізованого запарника кормів.

Перелік публікацій за темою роботи:

1. Грудовий Р.С. **Король Д.Р.**, Мельниченко Н.В., Мельнічук Є.О., Добранський С.С. Енерго- та ресурсозбереження в механізованих системах транспортування і дозування кормів на свинокомплексі. Збірник тез XII Міжнародної науково-практичної конференції «Перспективи і тенденції розвитку конструкцій та технічного сервісу сільськогосподарських машин і

знарядь». 29 квітня 2026 року. Житомир. Видавничий центр ЖАТФК. 2026. С. 120-122.

2. Грудовий Р.С., **Король Д.Р.**, Литвиненко В.Ю., Семчук Д.Л. Перспективні напрями механізації тваринництва в Україні. VI Міжнародна науково-практична конференція молодих учених «Технічне забезпечення інноваційних технологій в агропромисловому комплексі». Запоріжжя: ТДАТУ. URL: https://www.tsatu.edu.ua/tsst/wp-content/uploads/sites/6/hrudovyj_26.pdf (дата звернення 07.06.2026).

Практичне значення роботи полягає у можливості використання запропонованих технологічних і конструктивних рішень під час удосконалення кормоцехів свинарських підприємств. Розроблена технологічна схема дозволяє забезпечити узгоджену роботу машин і обладнання, своєчасне приготування кормових сумішей та їх рівномірну роздачу тваринам. Запропонована модернізація запарника кормів спрямована на підвищення якості змішування та теплової обробки корму, що може позитивно вплинути на ефективність годівлі, зниження трудомісткості робіт і стабільність виробничого процесу.

Таким чином, тема кваліфікаційної роботи є актуальною для сучасного свинарства, оскільки поєднує технологічні й конструктивні аспекти підвищення ефективності виробництва. Комплексне вирішення питань розрахунку потреби в кормах, вибору обладнання, організації потокової лінії та модернізації запарника дозволяє сформулювати обґрунтовані технічні рішення для підвищення продуктивності свиногокомплексу, раціонального використання кормових ресурсів і покращення умов експлуатації кормоприготувального обладнання.

Структура та обсяг роботи. Кваліфікаційна робота складається зі вступу, трьох розділів, висновку та списку використаних джерел з 30 найменувань. Загальний обсяг роботи становить 49 сторінок комп'ютерного тексту, містить 15 рисунків, 14 таблиць та 2 додатки.

РОЗДІЛ 1

ОГЛЯД ІСНУЮЧИХ ТЕХНОЛОГІЧНИХ СХЕМ ТА ОБЛАДНАННЯ ДЛЯ ПРИГОТУВАННЯ І РОЗДАЧІ КОРМІВ У СВИНАРСТВІ

1.1. Значення механізованого приготування та роздачі кормів у свинарстві

Годівля є однією з основних виробничих операцій на свинокомплексі, оскільки саме вона безпосередньо впливає на інтенсивність росту тварин, використання кормових ресурсів, собівартість продукції та санітарний стан приміщень. У сучасному свинарстві кормова лінія повинна не лише перемістити корм від складу до годівниці, а й забезпечити підготовку компонентів, їх точне дозування, рівномірне змішування, дотримання температурного режиму і своєчасну видачу відповідно до технологічної групи тварин.

Для промислових комплексів особливо важливо, щоб процес приготування корму був стабільним у часі. Нерівномірне змішування, несвоєчасна роздача або великі втрати корму призводять до погіршення поїдання, зростання конкуренції між тваринами біля годівниць і збільшення витрат на одиницю приросту. Тому технологічна схема повинна розглядатися як єдина система, що включає склад кормів, підготовче обладнання, змішувач або запарник, транспортні механізми, систему керування та кінцеві пристрої роздачі.

Механізація кормоприготування дає змогу скоротити ручну працю, зменшити контакт працівників з пилом і парою, підвищити повторюваність рецептури та знизити втрати під час транспортування. На малих фермах ще застосовують спрощені мобільні кормороздавачі або напівмеханізоване завантаження, однак для середніх і великих свинокомплексів більш доцільними є стаціонарні автоматизовані лінії. Вони краще узгоджуються з груповим утриманням свиней, можуть працювати за графіком і забезпечують контроль за витратою корму.

За фізичним станом кормової суміші технології годівлі свиней поділяють на сухі, зволожені, напіврідкі та рідкі. У виробничих умовах також використовують комбіновані рішення, коли частина компонентів надходить у сухому вигляді, а перед видачею суміш зволожується або піддається тепловій обробці. Для теми даної кваліфікаційної роботи найбільший інтерес становлять схеми з приготуванням вологих і запарених кормів, оскільки модернізація запарника спрямована на підвищення якості перемішування, зменшення неоднорідності суміші та забезпечення стабільної температури корму перед роздачею.

1.2. Основні вимоги до технологічних схем кормоприготування

Технологічна схема кормової лінії повинна відповідати зоотехнічним, технічним та експлуатаційним вимогам. Зоотехнічні вимоги передбачають отримання кормової суміші з однорідним розподілом компонентів, допустимою вологістю, температурою та структурою частинок. Технічні вимоги стосуються продуктивності лінії, надійності приводів, безпечного пуску, захисту від перевантаження, зручності очищення та можливості регулювання режимів. Експлуатаційні вимоги включають мінімізацію втрат корму, низьку трудомісткість обслуговування, простоту ремонту, доступність запасних частин і можливість санітарного промивання.

Для кормів із зерновою основою важливим є подрібнення до фракції, яка добре поїдається тваринами і не утворює надмірної кількості пилу. При приготуванні запарених сумішей додатково контролюють тривалість теплової обробки, температуру води або пари, інтенсивність перемішування і рівномірність прогрівання маси. Недостатнє перемішування спричиняє розшарування компонентів, а надмірне механічне діяння може призвести до утворення пастоподібної маси, яка гірше переміщується транспортерами та насосами.

Таблиця 1.1 – Основні вимоги до кормоприготування

Вимога	Сутність вимоги	Значення для виробництва	Обладнання, що забезпечує виконання
Точне дозування	Подача компонентів згідно з рецептурою	Стабільна поживність раціону	вагові дозатори, шнекові живильники, бункери-дозатори
Однорідність суміші	Рівномірний розподіл сухих і вологих компонентів	Однакова якість корму в кожній порції	горизонтальні та вертикальні змішувачі, мішалки, запарники
Теплова обробка	Запарювання або підігрівання суміші	Поліпшення поїдання і підготовка важкоперетравних компонентів	запарники, паророзподільники, теплоізолювані резервуари
Своєчасна роздача	Видача корму у встановлені години	Зниження стресу і конкуренції біля годівниць	кормопроводи, конвеєри, роздавальні візки, клапани
Санітарність	Можливість очищення та промивання лінії	Зменшення залишків і мікробного забруднення	люки, промивні контури, гладкі внутрішні поверхні

У практиці проектування важливо узгоджувати продуктивність усіх машин лінії. Якщо дробарка, змішувач або вивантажувальний транспортер мають різну пропускну здатність, виникають простой або переповнення проміжних бункерів. Найбільш уразливими місцями є зони переходу корму з одного механізму в інший, розвантажувальні шибери, місця поворотів кормопроводів та ділянки, де можливе налипання зволоженої маси. Тому схема повинна містити запас продуктивності, а конструкція робочих органів має бути придатною для роботи з конкретною вологістю корму.

1.3. Аналіз технологічних схем приготування і роздачі кормів

Найпростішою є суха технологічна схема. Вона передбачає зберігання зерна і комбікормів у силосах, подрібнення за потреби, дозування сухих компонентів, змішування та транспортування шнековими або ланцюговими механізмами до годівниць. Такі системи мають порівняно невелику витрату енергії, прості в монтажі й добре працюють з гранульованими або сипкими кормами. Їхній недолік полягає у пиловиділенні, нижчій гнучкості використання вологих компонентів і потребі контролю за зависанням корму у бункерах.

Зволожена технологія є проміжним варіантом між сухою та рідкою годівлею. Сухі компоненти подаються до змішувача або запарника, де до них додається вода, пара, подрібнені коренеплоди, відходи харчової промисловості або інші вологі добавки. Такі схеми доцільні для свинокомплексів, які використовують власну кормову базу та потребують підвищення поїдання сумішей. При цьому необхідно забезпечити достатню інтенсивність перемішування, оскільки неоднорідність вологого корму проявляється сильніше, ніж сухого.

Рідка система передбачає приготування корму у змішувальному резервуарі з подальшим транспортуванням насосом по трубопроводу. Сучасні рідкі системи можуть бути кільцевими або тупиковими, із автоматичним керуванням клапанами видачі. Їхня перевага полягає у точному груповому годуванні, можливості використання рідких побічних продуктів і автоматизованому промиванні лінії. Водночас така технологія потребує якісного санітарного обслуговування, стабільної роботи насосів, захисту трубопроводів від відкладень і ретельного контролю залишків корму.



Рис. 1.1. Узагальнена технологічна схема стаціонарної лінії приготування і роздачі кормів.

Для свинокомплексу з механізацією лінії приготування та роздачі кормів найбільш раціональною є стаціонарна схема, у якій усі операції виконуються послідовно та керуються з одного пульта. Вона складається з приймального вузла, силосів або бункерів, дробарки, дозуючих пристроїв, змішувача-

запарника, транспортної магістралі та пристроїв видачі. Наявність запарника дозволяє розширити перелік використовуваних компонентів, зменшити неоднорідність суміші та поліпшити технологічні властивості корму. Саме тому при модернізації доцільно приділяти увагу робочим органам змішування, герметичності кришок, розподілу пари та надійності приводу.

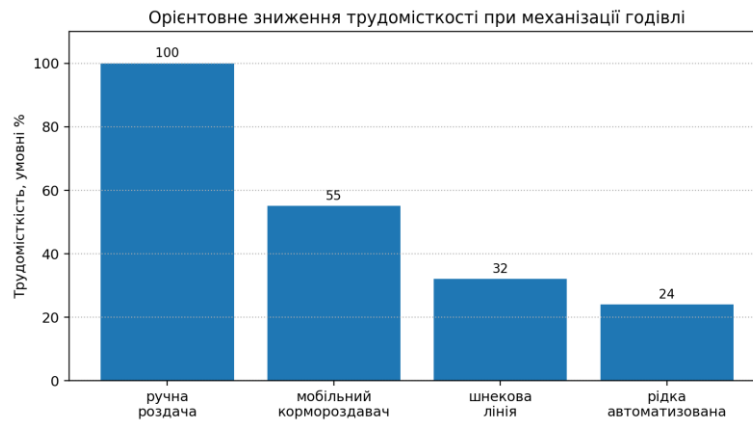


Рис. 1.2.. Порівняльний графік трудомісткості різних способів роздачі кормів

Графік на рис. 1.2 показує орієнтовну тенденцію: чим вищий рівень механізації, тим меншою є потреба у ручній праці. Ручна роздача може бути прийнятною лише для невеликого поголів'я або допоміжних груп тварин. Мобільний кормороздавач знижує трудомісткість, але потребує проїздів у приміщенні та участі оператора. Шнекова стаціонарна лінія забезпечує вищу повторюваність процесу, а повністю автоматизована рідка або зволожена система дає змогу гнучко змінювати раціон за групами тварин.

1.4. Огляд обладнання для приготування кормових сумішей

Першою ланкою технологічної лінії є обладнання для зберігання і подачі компонентів. Силоси використовують для зерна, комбікормів і білково-мінеральних добавок. Вони комплектуються вивантажувальними шнеками, вібраторами або аераційними пристроями, що запобігають зависанню сипкого матеріалу. Для малих витрат застосовують бункери-дозатори, а для високої продуктивності – автоматичні вагові системи з декількома живильниками.

Подрібнення зернових компонентів виконують молотковими або вальцьовими дробарками. Молоткові дробарки універсальні та прості, однак можуть створювати більше пилу. Вальцьові машини забезпечують більш рівномірну фракцію, але є вимогливішими до регулювання зазору. Після подрібнення корм надходить до змішувача, де формується однорідна суміш. У свинарстві застосовують вертикальні, горизонтальні, лопатеві, шнекові та стрічкові змішувачі. Для вологих кормів кращими є горизонтальні апарати з активною мішалкою, оскільки вони ефективніше переміщують масу по всьому об'єму резервуара.

Запарники кормів відрізняються від звичайних змішувачів наявністю паророзподільника, герметизованого корпусу, оглядових люків, зрошувача, вивантажувального шнека та системи контролю температури. Вони призначені для підготовки зволжених кормів із застосуванням тепла. У процесі запарювання важливо уникати локального перегрівання, нерівномірного розподілу пари і застійних зон. Тому конструкція мішалки має забезпечувати одночасне радіальне та осьове переміщення кормової маси. Для цього застосовують лопаті, стрічки, спіральні елементи або комбіновані робочі органи.

Таблиця 1.2 – Обладнання для приготування кормових сумішей

Група обладнання	Призначення	Переваги	Недоліки	Доцільність для запарених кормів
Силоси та бункери	Накопичення запасу сухих компонентів	автоматизація подачі, захист від опадів	потреба у контролі зависання	допоміжна ланка
Дробарки	Подрібнення зерна	можливість власного приготування комбікорму	пил, шум, зношування сит і молотків	потрібні для зернової частини раціону
Сухі змішувачі	Отримання сипкої суміші	простота та невеликі енерговитрати	обмежена робота з вологими компонентами	обмежена
Змішувачі-запарники	Змішування, зволоження і теплова обробка	комплексне виконання операцій	більша складність та потреба у парі	висока
Шнекові транспортери	Переміщення корму	компактність, герметичність	можливе налипання вологої маси	середня або висока при правильному кроці шнека
Трубопровідні системи	Транспортування рідкого корму	точна роздача, автоматизація	потреба у промиванні та насосах	висока для рідких сумішей

Серед закордонних виробників поширені рішення Big Dutchman, SKIOLD, WEDA та інших компаній. Наприклад, сухі системи можуть працювати від силоса до годівниці з використанням трубних транспортерів і електронного керування, а рідкі системи комплектуються міксерами, насосами, клапанами та програмним забезпеченням. Такі рішення демонструють загальний напрям розвитку галузі: перехід від окремих машин до інтегрованої лінії, у якій механічні вузли поєднані з датчиками, контролерами і обліком витрат корму.

Для умов господарства, що використовує запарені корми, пряме копіювання складної рідкої системи не завжди економічно виправдане. Часто більш ефективним є вдосконалення наявного змішувача-запарника та транспортної лінії. Це дозволяє використати існуючу інфраструктуру, зменшити капітальні витрати та отримати помітне підвищення якості кормової суміші. Найбільш перспективним напрямом є модернізація мішалки, оскільки саме вона визначає рівномірність прогрівання, швидкість змішування та повноту вивантаження.



Рис. 1.3. Орієнтовна структура енерговитрат лінії приготування вологих кормів.

У структурі енерговитрат лінії вологих кормів значну частку займають змішування і запарювання. Це пояснюється тим, що у вологій масі зростає опір переміщенню робочих органів, а теплова обробка потребує подачі пари або

гарячої води. Разом з тим саме ці операції найбільше впливають на якість готового корму. Тому модернізація не повинна зводитися лише до збільшення потужності приводу. Раціональніше підбирати форму лопатей або спіральних елементів так, щоб корм переміщувався по замкненій траєкторії, не утворював застійних зон і швидко прогрівався у всьому об'ємі.

1.5. Обладнання для роздачі кормів та системи керування

Роздача корму може виконуватися мобільними або стаціонарними засобами. Мобільні кормороздавачі доцільні там, де приміщення мають широкі проходи, а поголів'я розміщене у кількох відокремлених секціях. Їхні переваги полягають у гнучкості маршруту та можливості використання однієї машини для різних приміщень. Недоліками є залежність від оператора, потреба у регулярному заїзді техніки в тваринницьке приміщення та складність точного дозування для кожної групи.

Стаціонарні роздавальні системи складаються зі шнекових, скребкових, ланцюгово-шайбових або трубопровідних транспортерів. Шнекові механізми прості та компактні, але для вологих кормів потрібно враховувати налипання та збільшений пусковий момент. Скребкові і ланцюгові транспортери краще працюють на довгих трасах, проте потребують натягування ланцюгів і регулярного обслуговування. Трубопровідні системи для рідкого корму забезпечують високу автоматизацію, але висувають підвищені вимоги до санітарного промивання.

Сучасна кормова лінія дедалі частіше комплектується електронною системою керування. Вона забезпечує запуск механізмів у заданій послідовності, контроль аварійних режимів, зважування компонентів, реєстрацію витрат і зміну рецептури. Для запарника особливо важливі датчики температури, блокування відкриття кришок під час подачі пари, контроль рівня завантаження і захист електродвигуна мішалки від перевантаження. Автоматизація не замінює технічного обслуговування, але зменшує вплив людського фактора і підвищує стабільність технологічного процесу.

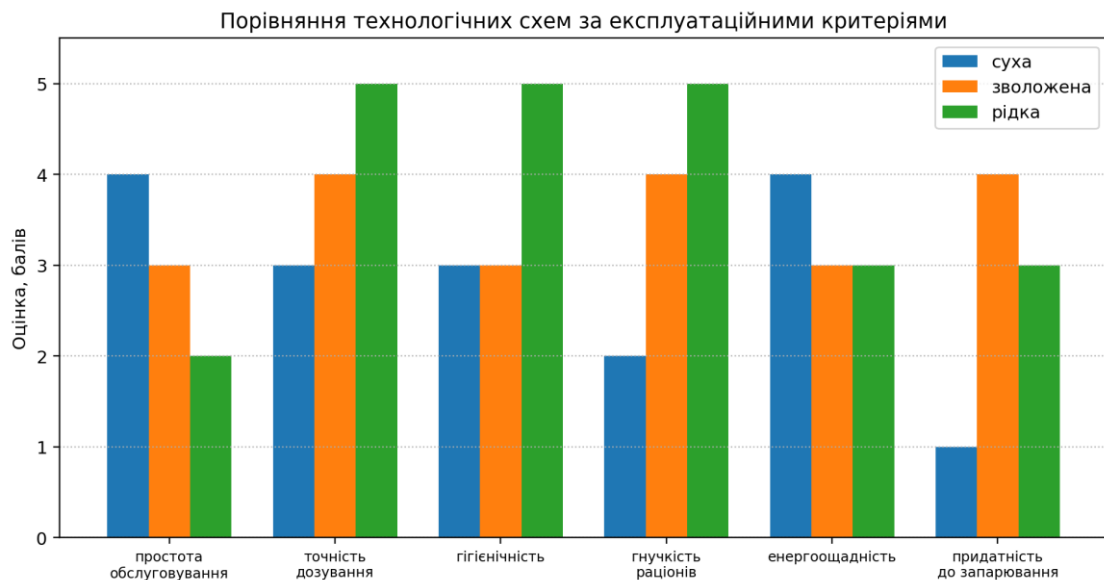


Рис. 1.4. Порівняльна оцінка технологічних схем за експлуатаційними критеріями.

1.6. Порівняльна оцінка існуючих рішень і вибір напрямку подальшої розробки

Порівняння технологічних схем показує, що універсального варіанта для всіх свинокомплексів не існує. Суха схема найпростіша, але обмежено використовує переваги зволоження і теплової обробки. Рідка схема забезпечує високу точність роздачі та автоматизацію, проте потребує значних капітальних витрат, насосів, трубопроводів, промивання і кваліфікованого обслуговування. Зволожена або запарена схема займає проміжне положення і є доцільною для господарства, яке вже має запарник та прагне підвищити якість кормосуміші без повної реконструкції кормоцеху.

Для подальшого проектування доцільно прийняти стаціонарну механізовану лінію з приготуванням вологих або запарених кормів. У такій лінії сухі компоненти зберігаються у бункерах, подрібнюються, дозуються, змішуються з водою або парою в запарнику, після чого готова суміш подається до роздавальної магістралі. Найперспективнішим напрямом удосконалення є модернізація мішалки запарника, оскільки вона визначає однорідність, рівномірність прогрівання та повноту вивантаження корму.

РОЗДІЛ 2

ТЕХНОЛОГІЧНА ЧАСТИНА

Технологічна частина кваліфікаційної роботи присвячена обґрунтуванню параметрів потокової лінії приготування та роздачі кормів на свинокомплексі, де одночасно перебуває 1200 свиней на відгодівлі. Основним завданням розділу є визначення добової потреби у кормах, вибір раціональної схеми механізованого приготування вологих кормосумішей, підбір обладнання за продуктивністю та складання графіків роботи машин. Розрахунки виконано для перспективної технології, у якій сухі комбікормові компоненти дозуються за рецептом, змішуються з водою або рідкими кормовими добавками, проходять теплову обробку в запарнику-змішувачі та подаються до годівниць трубопровідною системою.

У роботі прийнято, що виробниче приміщення поділено на 40 станків по 30 голів. Таке планування дає змогу організувати роздачу корму групами, зменшити довжину розподільних ліній і забезпечити точніше нормування за віком та живою масою. Основною формою корму прийнято вологу кормосуміш, оскільки вона поєднує переваги сухого комбікорму та рідкої годівлі: знижує запиленість у приміщеннях, поліпшує поїдання раціону, забезпечує рівномірне внесення води та дає можливість використовувати запарювання для підвищення засвоюваності окремих компонентів.

Розрахункова частина базується на довідкових нормах споживання корму для свиней на дорощуванні та відгодівлі, а також на технічних можливостях сучасних ліній сухої й рідкої годівлі. Для практичної реалізації обрано схему з силосним зберіганням сухих компонентів, шнековим транспортуванням, ваговим дозуванням, модернізованим запарником-змішувачем і кільцевою магістраллю роздачі корму.

2.1. Розрахунок структури стада та добової потреби в кормах

На свинокомплексі з поголів'ям 1200 голів тварини на відгодівлі розподіляються за технологічними групами залежно від живої маси. Такий поділ потрібний для фазової годівлі: у молодших групах раціон має вищу частку протеїнових компонентів, а у фінальній фазі збільшується частка енергетичних зернових кормів. Для розрахунку прийнято три групи: 30–50 кг, 50–80 кг та 80–115 кг.

$$N_{\text{заг}} = N_1 + N_2 + N_3 = 300 + 540 + 360 = 1200 \text{ голів}$$

Добова потреба у сухій частині корму визначається за формулою:

$$G_{\text{сух.доб}} = \sum(N_i \cdot q_i), \text{ кг/добу}, \quad (2.1)$$

де N_i – кількість свиней у i -й групі, гол.; q_i – середньодобова норма сухого корму на одну голову, кг/гол. Для вологих кормосумішей додатково враховано введення води у співвідношенні 1:2,5 до сухої частини корму. Таке співвідношення забезпечує однорідну консистенцію суміші, придатну для перекачування насосом і розподілу трубопровідною системою.

Таблиця 2.1 – Структура стада та розрахунок добової потреби в кормі

Технологічна група	Жива маса, кг	Кількість, гол.	Норма сухого корму, кг/гол.	Сухий корм, кг/добу	Вода, кг/добу	Волога суміш, кг/добу
Група I	30–50	300	1.90	570	1425	1995
Група II	50–80	540	2.50	1350	3375	4725
Група III	80–115	360	3.10	1116	2790	3906
Разом	-	1200	-	3036	7590	10626

За результатами розрахунку добова потреба в сухому кормі становить 3036 кг, або 3.04 т. При приготуванні вологої кормосуміші у співвідношенні «суха частина : вода» 1:2,5 потрібно подати 7590 кг води або рідкого компонента на добу. Загальна маса готової суміші становить 10626 кг/добу, що відповідає приблизно 10.12 м³ за густини 1,05 т/м³. Якщо годування здійснюється тричі на добу, то за один цикл необхідно приготувати близько 3.54 т кормосуміші.

Структура поголів'я свиней на відгодівлі

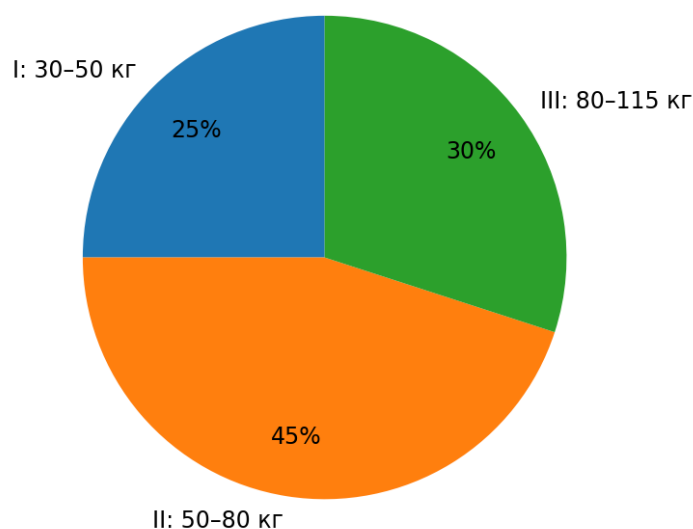


Рис. 2.1. Діаграма структури поголів'я за технологічними групами.

Для підвищення точності нормування приймається трифазна структура раціону. У першій фазі основну увагу приділяють забезпеченню протеїном і незамінними амінокислотами, у другій фазі підтримується інтенсивний приріст, а у третій фазі раціон поступово зміщується в бік енергетичних компонентів. Орієнтовний склад комбікорму для кожної групи наведено в таблиці 2.2.

Таблиця 2.2 – Орієнтовний склад сухої частини раціону за фазами відгодівлі, %

Компонент	30–50 кг	50–80 кг	80–115 кг
Кукурудза	45	48	52
Ячмінь	18	22	25
Пшениця/висівки	12	12	10
Шрот соєвий	17	10	6
Шрот соняшниковий	4	5	4
Премікс і мінерали	4	3	3

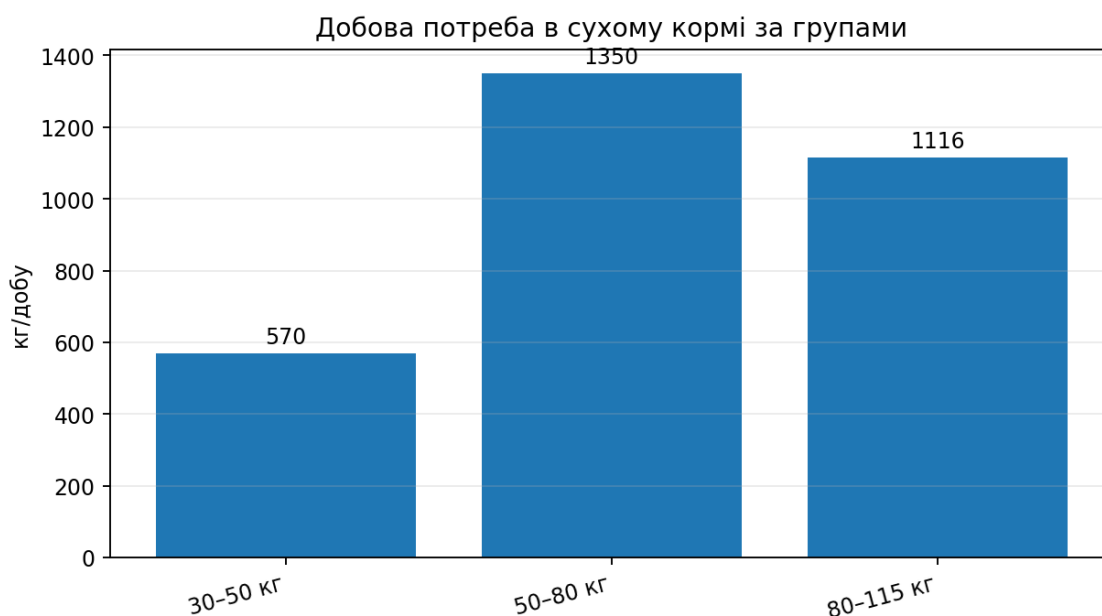


Рис. 2.2. Графік добової потреби в сухому кормі за групами.

Рисунок 2.2 показує, що найбільше навантаження на кормову лінію створює середня технологічна група 50–80 кг. Це пояснюється найбільшою чисельністю цієї групи у структурі стада та достатньо високою інтенсивністю споживання. Отже, обладнання необхідно підбирати не за середнім навантаженням на одну голову, а за піковою масою корму, яку потрібно підготувати та роздати в обмежений проміжок часу.

Таблиця 2.3 – Добова потреба у компонентах сухої частини раціону

Компонент	Маса, кг/добу	Частка від загальної сухої маси, %
Кукурудза	1485	48.9
Ячмінь	679	22.4
Пшениця/висівки	342	11.3
Шрот соєвий	299	9.8
Шрот соняшниковий	135	4.4
Премікс і мінерали	97	3.2

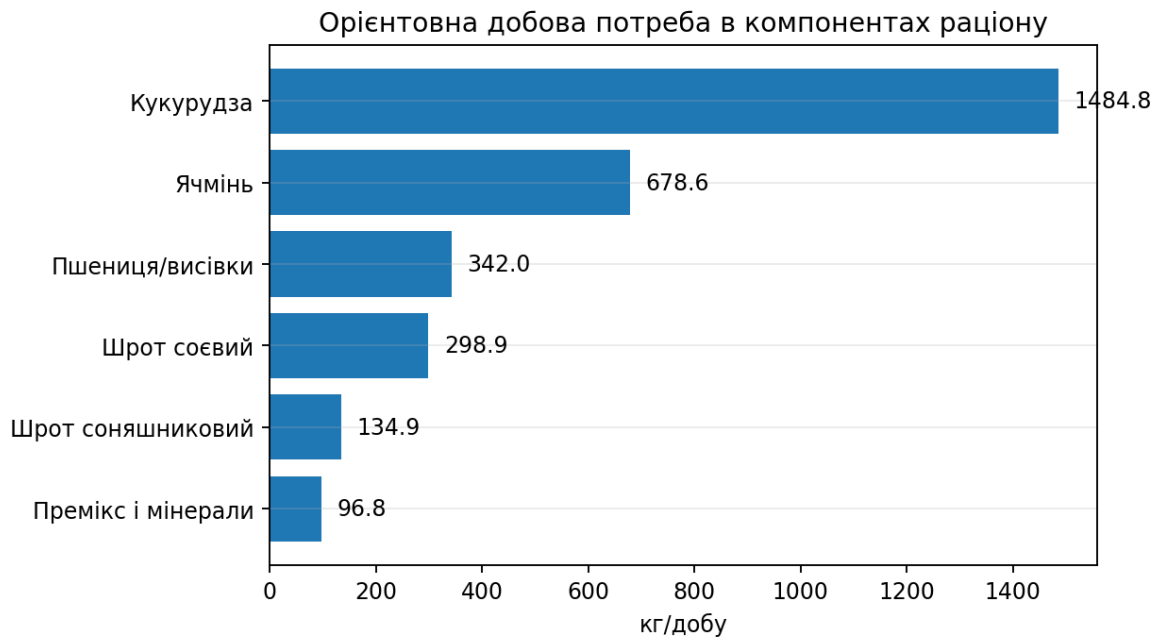


Рис. 2.3. Діаграма добової потреби в компонентах сухої частини раціону.

Отримані дані використовуються для визначення місткості силосів, продуктивності дозувальних пристроїв і режиму роботи транспортних механізмів. Добовий запас сухих компонентів доцільно зберігати не менше ніж на 7–10 діб. Для цього при розрахунковій добовій потребі 3,04 т потрібно передбачити не менше 21–30 т робочого запасу. З урахуванням насипної густини комбікорму 0,60–0,70 т/м³ доцільно прийняти три силоси місткістю по 18 м³, що дозволяє розмістити зернову частину, білкову частину та резервну суміш або готовий комбікорм.

2.2. Розробка та опис перспективної технологічної карти приготування та роздачі кормів

Перспективна технологічна карта передбачає механізоване виконання всіх основних операцій: приймання і зберігання сухих компонентів, їх дозування, подавання в запарник, змішування з водою, теплова обробка, перекачування готової суміші та її видача у годівниці. Керування лінією виконується з пульта або контролера, який задає рецепт, тривалість змішування, температуру запарювання та послідовність відкривання кормових клапанів.

Перспективна технологічна схема приготування та роздачі кормів

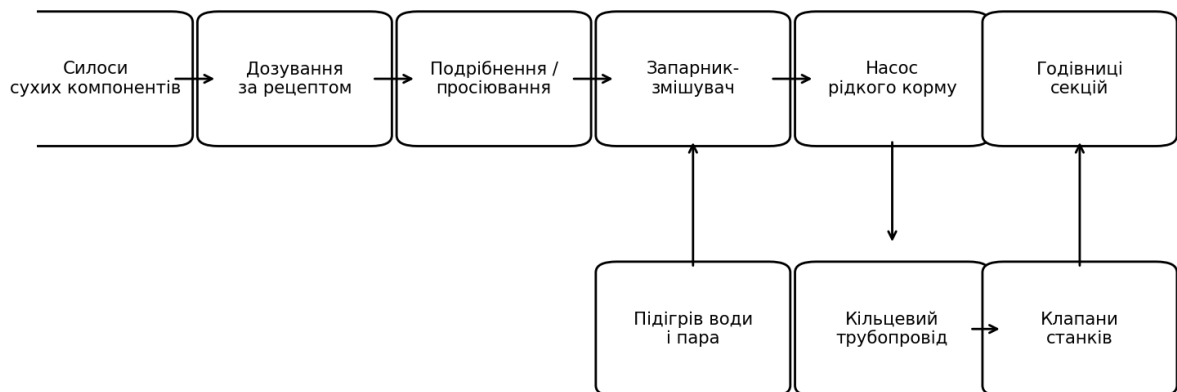


Рис. 2.4. Перспективна технологічна схема приготування та роздачі кормів.

Згідно з прийнятою схемою сухі компоненти зі силосів подаються шнековими транспортерами до вагового дозатора. Після зважування компоненти надходять у запарник-змішувач, де за рецептом додається вода. За потреби вода попередньо підігрівається, а в робочу камеру подається пара. У процесі змішування лопаті або спіральні робочі органи забезпечують переміщення маси в осьовому та радіальному напрямках. Після завершення змішування відкривається випускний шибер, вмикається насос, і корм подається до годівниць через кільцеву магістраль.

Технологічна карта складена для трьох циклів годування на добу: ранкового, денного та вечірнього. Кожний цикл охоплює підготовку сухої частини, дозування води, запарювання, змішування, роздачу корму та промивання лінії. Розрахункова маса готової суміші за один цикл становить 3,54 т. Тривалість одного циклу прийнято 70 хвилин, з яких активна робота основного обладнання припадає на 45–50 хвилин.

Таблиця 2.4 – Перспективна технологічна карта приготування та роздачі кормів

№	Операція	Засоби механізації	Тривалість	Технологічні вимоги
1	Контроль залишку компонентів у силосах	Датчики рівня, пульт керування	Перед початком зміни	Оператор перевіряє готовність лінії
2	Подача сухих компонентів до дозатора	Шнекові транспортери	15–20 хв/цикл	Компоненти подаються згідно з рецептом
3	Вагове дозування	Ваговий дозатор, заслінки	10–12 хв/цикл	Похибка дозування не більше 1,5–2,0 %
4	Завантаження запарника	Завантажувальний шнек	5–7 хв/цикл	Подача відбувається при ввімкненій мішалці
5	Додавання води та пари	Водомір, насос, паророзподільник	10–15 хв/цикл	Температура суміші 55–65 °С або за завданням
6	Змішування і запарювання	Запарник-змішувач СКО-Ф-6	20–25 хв/цикл	Досягнення однорідності 90–93 %
7	Вивантаження та перекачування	Випускний шибер, насос	20–30 хв/цикл	Роздача по секціях через клапани
8	Промивання магістралі	Насос, промивна вода	8–10 хв/цикл	Зменшення залишків і закисання корму
9	Запис показників	Контролер, журнал роботи	2–3 хв/цикл	Фіксується витрата корму, води, енергії

Перевагою запропонованої технологічної карти є можливість переходу від ручного або напівмеханізованого приготування корму до потокового

процесу. Завдяки цьому скорочується тривалість підготовки одного циклу, стабілізується якість суміші, зменшується залежність від людського фактора та підвищується санітарна безпека кормової лінії. Особливо важливим є промивання трубопроводів після кожного циклу, оскільки залишки вологого корму можуть швидко закисати і погіршувати якість наступної порції.

2.3. Вибір та розрахунок потокових ліній і технологічного обладнання

Підбір обладнання виконується за максимальною годинною продуктивністю, яка потрібна для виконання операцій у встановлений технологічний час. Оскільки добова маса сухої частини становить 3,04 т, а годування виконується тричі на добу, за один цикл необхідно подати до запарника 1,01 т сухих компонентів. Якщо тривалість подавання і дозування обмежити 20 хвилинами, мінімальна продуктивність лінії сухих компонентів дорівнює:

$$Q_{\text{сух}} = G_{\text{сух.цикл}} / t = 1012 / 0,33 = 3.04 \text{ т/год.} \quad (2.2)$$

З урахуванням коефіцієнта запасу 1,2–1,3 доцільно прийняти шнековий або ланцюговий транспортер продуктивністю 4,0 т/год. Така продуктивність забезпечує своєчасну підготовку корму навіть у разі збільшення добового споживання або короткочасних затримок під час дозування.

$$G_{\text{волог.цикл}} = 10626 / 3 = 3542 \text{ кг} = 3.54 \text{ т.}$$

Модернізований запарник-змішувач приймається як центральна машина потокової лінії. При робочому об'ємі 6 м³ і густині вологого корму 1,05 т/м³ його місткість становить до 6,3 т, тому розрахункова порція 3.54 т може бути приготовлена за один цикл. Для забезпечення технологічного запасу продуктивність змішувача приймається 10 т/год. Це узгоджується з модернізацією запарника, спрямованою на підвищення інтенсивності перемішування та однорідності кормосуміші.

Структура потокової лінії для свиногокомплексу на 1200 голів

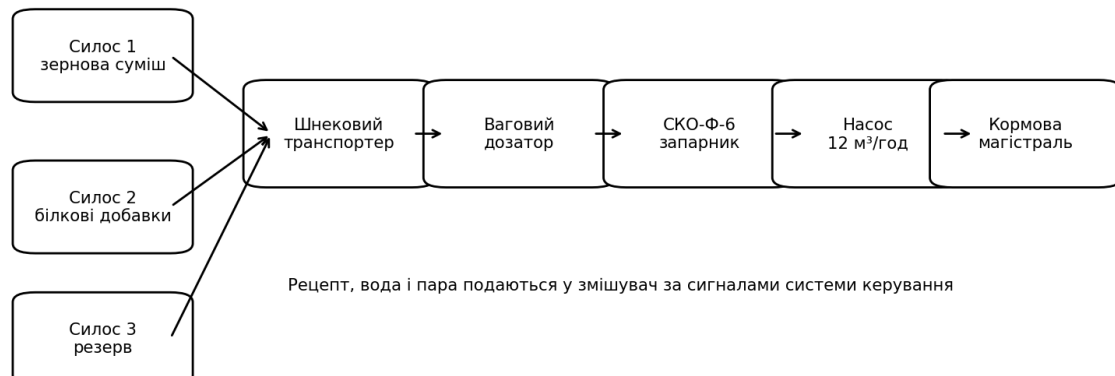


Рис. 2.5. Структурна схема потокової лінії кормоприготування

Таблиця 2.5 – Вибір основного технологічного обладнання лінії

Обладнання	Розрахунковий параметр	Прийняте значення	Обґрунтування
Силоси сухих компонентів	Робочий запас 7–10 діб	$3 \times 18 \text{ м}^3$	Забезпечують окреме зберігання зернової, білкової та резервної суміші
Шнекові транспортери	$Q_{\text{потр}} = 3,04 \text{ т/год}$	$Q_{\text{пр}} = 4,0 \text{ т/год}$	Прийнято із запасом 1,3
Ваговий дозатор	1,01 т сухого корму за цикл	Дозування до 1,2 т/цикл	Похибка дозування до 1,5–2,0 %
Запарник-змішувач СКО-Ф-6	3,54 т вологої суміші за цикл	$V = 6 \text{ м}^3$, $Q = 10 \text{ т/год}$	Порція готується за один технологічний цикл
Насос рідкого корму	$Q_{\text{потр}} = 6,7\text{--}8,4 \text{ м}^3/\text{год}$	$Q_{\text{пр}} = 12 \text{ м}^3/\text{год}$	Забезпечує роздачу та промивання магістралі
Кільцевий трубопровід	Витрата до 12 $\text{м}^3/\text{год}$	DN 60–65 мм	Швидкість потоку близько 1 м/с
Кормові клапани	40 станків	40 автоматичних клапанів	Дозування на станок

Розрахунок насоса виконується за об'ємом кормосуміші, яку потрібно видати за один цикл. За густини $1,05 \text{ т/м}^3$ об'єм однієї порції становить:

$$V_{\text{цикл}} = G_{\text{волог.цикл}} / \rho = 3.54 / 1.05 = 3.37 \text{ м}^3. \quad (2.2)$$

Якщо тривалість роздачі прийняти 30 хв, то мінімальна подача насоса становить:

$$Q_n = V_{\text{цикл}} / t_{\text{розд}} = 3.37 / 0.5 = 6.75 \text{ м}^3/\text{год}. \quad (2.3)$$

З урахуванням гідравлічних втрат, нерівномірності спрацювання клапанів та необхідності промивання магістралі приймається насос продуктивністю 12 м³/год. Для такого потоку за швидкості руху корму близько 1 м/с розрахунковий внутрішній діаметр трубопроводу становить 65 мм, тому конструктивно приймається магістраль DN 60–65 мм.

Кількість кормових клапанів приймається за кількістю станків. При 40 станках і 30 тваринах у кожному на один станок припадає приблизно 88,6 кг вологого корму за одне годування. Автоматичне відкривання клапанів дає змогу дозувати корм послідовно, не перевантажувати магістраль та контролювати фактичну витрату за секціями.

Таблиця 2.6 – Розрахунок роздачі корму за станками

Показник	Одиниця	Значення	Формула / спосіб визначення	Примітка
Кількість станків	шт.	40	1200 / 30	За прийнятим плануванням
Кількість свиней у станку	гол.	30	1200 / 40	Групове утримання
Волога суміш за цикл	кг	3542	10626 / 3	На одне годування
Суміш на один станок за цикл	кг	88.5	3542 / 40	Дозується клапаном
Об'єм суміші за цикл	м ³	3.37	3.54 / 1.05	Для розрахунку насоса
Подача насоса з запасом	м ³ /год	12	Q _{потр} · 1,4	Прийняте обладнання

Для оцінки енергетичного навантаження лінії визначено добову тривалість роботи кожної групи машин. Електрична енергія на технологічний процес складається з витрат на транспортування сухих компонентів, перемішування, перекачування кормосуміші, промивання магістралі та роботу автоматики. Окремо враховується теплова енергія на підігрів води та запарювання корму.

Таблиця 2.7 - Орієнтовні добові витрати електроенергії на роботу лінії

Обладнання	Потужність, кВт	Час роботи, год/добу	Енергія, кВт·год/добу
Шнекові транспортери і дозатори	1.5	1.1	1.65
Модернізований запарник-змішувач	9.6	1.5	14.40
Насос рідкого корму	4.0	1.5	6.00
Водяний насос, мийка лінії	1.1	0.9	0.99
Система автоматики та клапанів	0.6	3.0	1.80
Разом	-	-	24.84

Орієнтовні електричні витрати становлять 24.8 кВт·год/добу. Теплова енергія на підігрів води з 12 до 60 °С оцінюється за формулою $Q = m \cdot c \cdot \Delta t$ і становить близько 424 кВт·год теплової енергії на добу. У реальних умовах цей показник залежить від температури води, частки пари, теплоізоляції запарника, тривалості витримування суміші та втрат у трубопроводах.

2.4. Складання графіків роботи машин та обладнання

Графік роботи обладнання має забезпечити рівномірний режим годівлі, відсутність накладання критичних операцій та достатній час на санітарне промивання лінії. Для свиногомплексу прийнято три годування: о 6:00, 12:00 та

18:00. Такий режим відповідає рівномірному розподілу корму протягом світлової частини доби й дає змогу оператору контролювати кожний цикл.

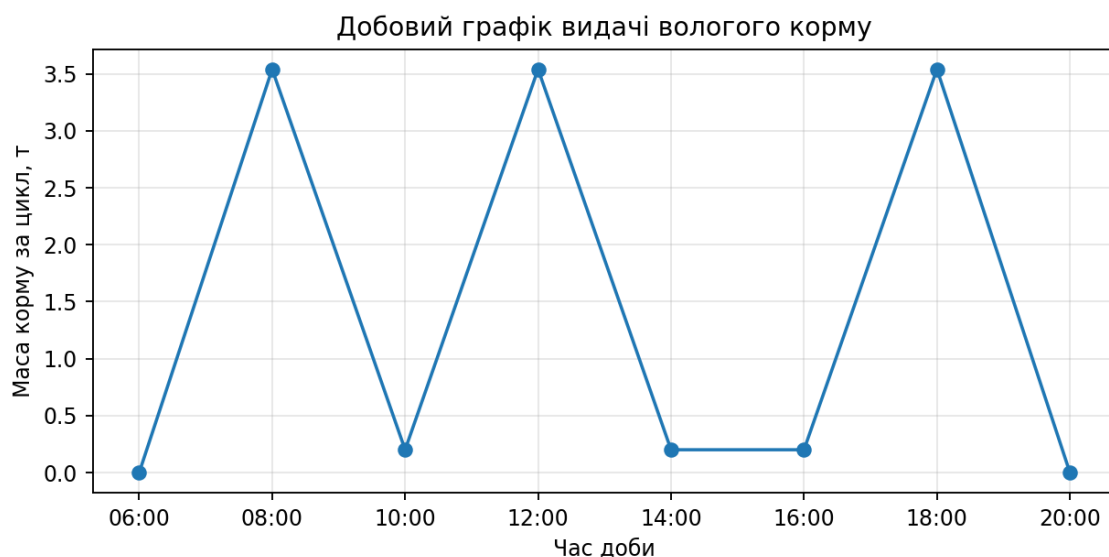


Рис. 2.6. Добовий графік видачі вологого корму

На рисунку 2.6 показано, що найбільше навантаження на лінію виникає у моменти видачі корму. Між годуваннями обладнання перебуває в режимі очікування, а оператор може виконувати контроль залишків у силосах, огляд шнеків, перевірку справності клапанів і підготовку води або пари до наступного циклу.

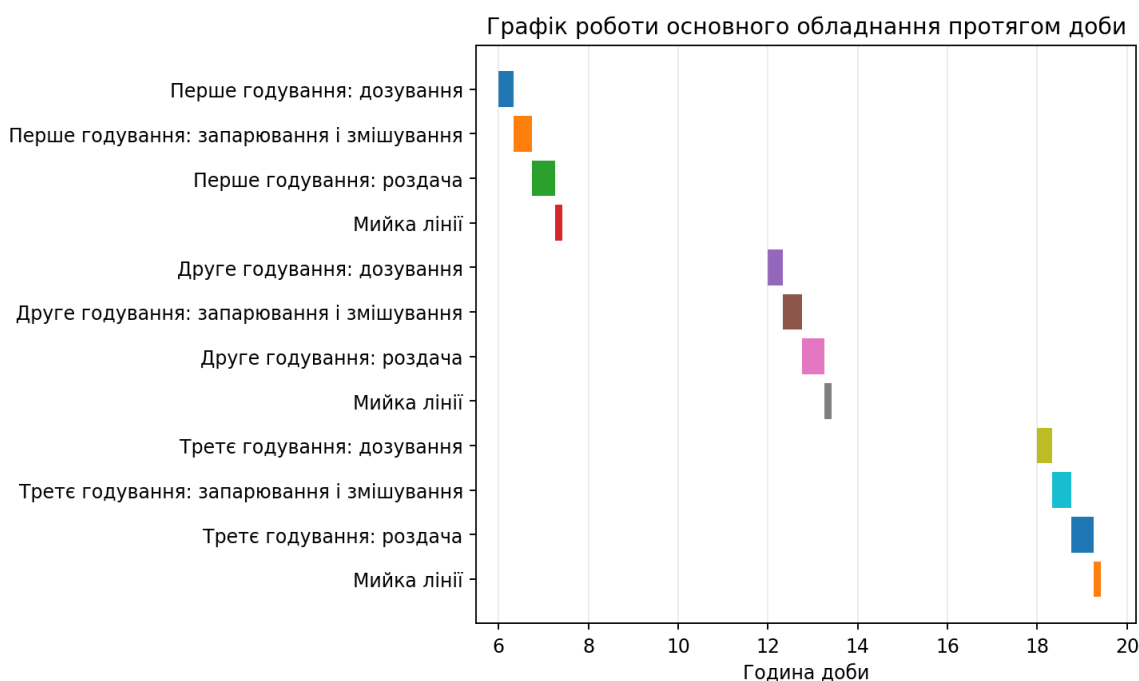


Рис. 2.7. Графік зайнятості основного обладнання протягом доби

Таблиця 2.8 – Добовий режим роботи технологічної лінії

Час	Операція	Основне обладнання	Маса сухого корму, кг	Маса вологої суміші, кг	Тривалість, хв
05:50–06:10	Підготовка і дозування	Силоси, шнеки, дозатор	1012	-	20
06:10–06:35	Змішування і запарювання	Запарник-змішувач	-	3542	25
06:35–07:05	Роздача корму	Насос, клапани	-	3542	30
07:05–07:15	Промивання	Насос, трубопровід	-	-	10
11:50–12:10	Підготовка і дозування	Силоси, шнеки, дозатор	1012	-	20
12:10–12:35	Змішування і запарювання	Запарник-змішувач	-	3542	25
12:35–13:05	Роздача корму	Насос, клапани	-	3542	30
13:05–13:15	Промивання	Насос, трубопровід	-	-	10
17:50–18:10	Підготовка і дозування	Силоси, шнеки, дозатор	1012	-	20
18:10–18:35	Змішування і запарювання	Запарник-змішувач	-	3542	25
18:35–19:05	Роздача корму	Насос, клапани	-	3542	30
19:05–19:15	Промивання	Насос, трубопровід	-	-	10

З діаграми видно, що основним споживачем електроенергії є запарник-змішувач. Це пояснюється необхідністю інтенсивного перемішування вологого корму та подоланням опору кормової маси. Другу позицію займає насос рідкого корму, який повинен стабільно транспортувати суміш по магістралі та забезпечувати рівномірну видачу через клапани. Тому при модернізації лінії

найбільший ефект можуть дати оптимізація конструкції мішалки, зменшення холостих ходів насоса та автоматичне вимкнення приводів після завершення циклу.

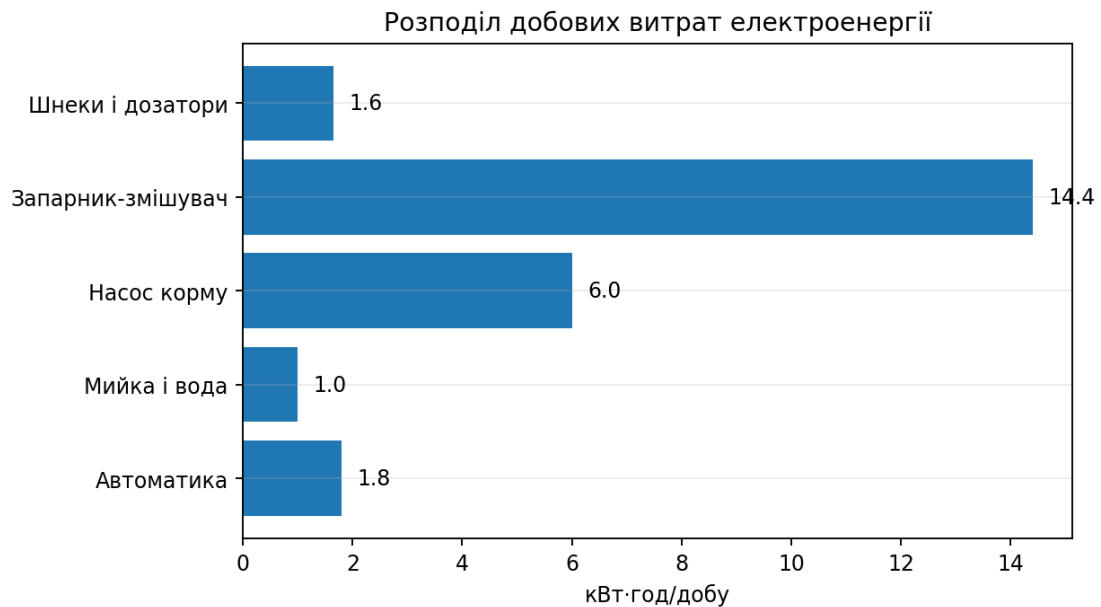


Рис. 2.8. Діаграма розподілу добових витрат електроенергії.

За підсумками технологічних розрахунків для свиногокомплексу на 1200 голів прийнято потокову лінію, яка забезпечує добове приготування 3,04 т сухої частини корму та 10,63 т готової вологої суміші. За один цикл готується 3,54 т корму, що відповідає місткості запарника-змішувача СКО-Ф-6 і дає змогу виконувати годування тричі на добу без перевантаження обладнання. Для лінії рекомендовано три силоси по 18 м³, шнековий транспортер продуктивністю 4,0 т/год, ваговий дозатор, модернізований запарник продуктивністю 10 т/год, насос рідкого корму 12 м³/год і кільцевий трубопровід DN 60–65 мм.

Запропонована технологічна карта забезпечує поєднання точного дозування, якісного змішування, теплової обробки та автоматизованої роздачі. Її впровадження дозволяє зменшити ручну працю, стабілізувати раціон за групами, підвищити санітарний рівень кормороздачі та створити передумови для подальшої автоматизації свиногокомплексу.

РОЗДІЛ 3

КОНСТРУКТИВНА РОЗРОБКА ЗАПАРНИКА КОРМІВ

3.1. Характеристика базової машини та напрям модернізації

У лінії приготування і роздачі кормів на свинокомплексі запарник-змішувач є одним із головних агрегатів, оскільки саме в ньому відбувається поєднання механічного перемішування, зволоження та теплової обробки кормової маси. Для умов проєктованого свинокомплексу за основу прийнято серійний змішувач-запарник СКО-Ф-6, який працює у періодичному режимі та використовується для підготовки вологих кормосумішей із вологістю орієнтовно 60...80 %. До складу суміші можуть входити подрібнені зелені корми, соковита сировина, коренеплоди, силос, баштанні культури, комбікорм і концентровані добавки.

Базова машина має корпус із кришками та люками, робочу мішалку, опорну раму, систему підведення і розподілу пари, зрошувач, шафу керування, вивантажувальний шнек і приводи основних робочих органів. Така компоновка дає можливість завантажувати компоненти корму, перемішувати їх у закритому об'ємі, подавати пару для запарювання, додатково зволожувати масу та після завершення циклу спрямовувати готову кормосуміш до транспортера або безпосередньо в систему роздачі.

Таблиця 3.1 – Функціональне призначення основних вузлів запарника-змішувача

Вузол машини	Призначення	Особливості роботи
Корпус із кришкою та люками	Утримує кормову масу під час перемішування і запарювання	Під час подачі пари повинен бути герметично закритий
Мішалка	Переміщує компоненти у радіальному та осьовому напрямках	Після модернізації доповнюється спіральними елементами
Паророзподільник	Рівномірно подає пару в робочий об'єм	Забезпечує нагрівання корму до 90...95 °С
Зрошувач	Коригує вологість суміші	Працює у разі потреби додаткового зволоження
Вивантажувальний шнек	Видаляє готову суміш із корпусу	Вмикається після відкриття шиберної заслінки

Технологічний цикл роботи агрегату починається з подачі живлення на пульт керування. Після запуску електродвигуна мішалки та завантажувального транспортера компоненти кормосуміші надходять у корпус при ввімкненому робочому органі. Коли заданий рівень заповнення досягнуто, подача компонентів припиняється, завантажувальна горловина і оглядові люки закриваються, після чого через паророзподільник у робочий об'єм подається пара. Запарювання ведеться за температури 90...95 °С, а необхідна вологість підтримується за допомогою зрошувача.

Після завершення теплової обробки та перемішування відкривається шиберна заслінка, вмикається привід вивантажувального шнека і готова кормова маса передається далі за технологічною лінією. Після спорожнення корпусу шибер повертається у закрите положення, а приводи зупиняються. Така послідовність забезпечує безпечну роботу машини і запобігає виходу пари та кормової маси через завантажувальні отвори.

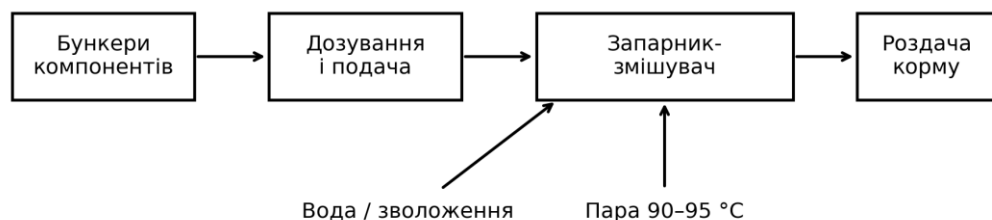


Рис. 3.1. Узагальнена функціональна схема лінії приготування та роздачі кормів із запарником-змішувачем.

Основним недоліком базової конструкції для умов інтенсивного свинарського виробництва є наявність зон із менш активним рухом кормової маси. Це призводить до збільшення тривалості циклу та погіршення рівномірності розподілу вологи, тепла і концентрованих компонентів. Тому в конструктивній частині проекту запропоновано модернізацію мішалки шляхом установлення спіральних елементів, які додатково переміщують корм у

поздовжньому напрямі, руйнують застійні зони та прискорюють вирівнювання складу суміші.

Очікуваний результат модернізації полягає у підвищенні однорідності кормосуміші до 90...93 %, скороченні часу приготування однієї порції та збільшенні продуктивності запарника-змішувача до 10 т/год. Разом з тим спіральні елементи підвищують опір перемішуванню, тому необхідно перевірити привід, вал мішалки, муфту та шпонкові з'єднання на здатність сприймати збільшені навантаження.

3.2. Обґрунтування параметрів модернізованої мішалки

Робочий орган модернізованого запарника повинен не лише перемішувати компоненти, а й забезпечувати інтенсивне обтікання витків кормовою масою. Для цього спіральні елементи розміщують так, щоб під час обертання вони створювали осьове переміщення матеріалу від торців корпусу до середньої частини та у зворотному напрямі. Завдяки такому руху частинки корму багаторазово проходять через зону подачі пари і зрошення, а температура та вологість суміші вирівнюються швидше.

Прийнята конструкція мішалки поєднує дію лопатевих і гвинтових елементів. Лопаті забезпечують піднімання та перекидання шару, а спіральні поверхні формують напрямлений осьовий потік. Для кормів підвищеної вологості це особливо важливо, оскільки маса має значну в'язкість і може налипати на стінки корпусу. Додаткове переміщення запобігає ущільненню корму біля торців та поліпшує умови його вивантаження.

У процесі розрахунку прийнято, що робочий об'єм запарника становить 3 м³, коефіцієнт заповнення під час роботи не перевищує 0,70...0,80, густина кормосуміші приймається близько 1000 кг/м³ для навантажувальних розрахунків і 0,52 т/м³ для визначення продуктивності. Діаметр мішалки становить 1,4 м, а розрахункова довжина активної частини – 2,0 м.

Таблиця 3.2 – Вихідні дані для перевірного розрахунку модернізованої мішалки.

Параметр	Позначення	Значення	Одиниця
Проектна продуктивність	Q	10	т/год
Діаметр мішалки	D	1,4	м
Коефіцієнт заповнення робочої зони	ψ_n	0,8	—
Густина кормосуміші для продуктивності	$\rho_{зм}$	0,52	т/м ³
Коефіцієнт продуктивності мішалки	k_f	0,8	—
Довжина активної частини вала	L	2,0	м

Кутова швидкість мішалки визначається із залежності між продуктивністю, геометричними параметрами робочого органу, ступенем заповнення і фізичними властивостями корму:

$$Q = 0,57 \cdot \omega \cdot D^3 \cdot \psi_n \cdot \rho_{зм} \cdot k_f, \quad (3.1)$$

звідки

$$\omega = Q / (0,57 \cdot D^3 \cdot \psi_n \cdot \rho_{зм} \cdot k_f). \quad (3.2)$$

Підставивши прийняті значення, отримаємо:

$$\omega = 10 / (0,57 \cdot 1,4^3 \cdot 0,8 \cdot 0,52 \cdot 0,8) = 19,2 \text{ хв}^{-1}.$$

Отже, модернізована мішалка повинна працювати з частотою обертання близько 19 хв⁻¹. Таке значення є достатнім для активного перемішування вологих кормів, але не призводить до надмірного подрібнення частинок і не створює небажаного розбризкування кормової маси всередині корпусу.

3.3. Перевірочний розрахунок потужності приводу

Після встановлення спіральних елементів опір перемішуванню зростає, тому привід мішалки необхідно перевірити за потужністю. Робота приводу витрачається на подолання радіальної складової опору, що пов'язана з коловим рухом робочого органу, а також осьової складової, яка виникає під час переміщення кормової маси вздовж вала.

Потужність на валу мішалки визначаємо за сумою робіт радіальної та осьової складових сили опору:

$$N = P_{\text{рад}} \cdot V_{\text{рад}} + P_{\text{ос}} \cdot V_{\text{ос}}, \quad (3.3)$$

де $P_{\text{рад}}$ – радіальна складова сили опору, Н; $V_{\text{рад}}$ – швидкість точки прикладання радіальної сили, м/с; $P_{\text{ос}}$ – осьова складова сили опору, Н; $V_{\text{ос}}$ – осьова швидкість переміщення кормової маси, м/с.

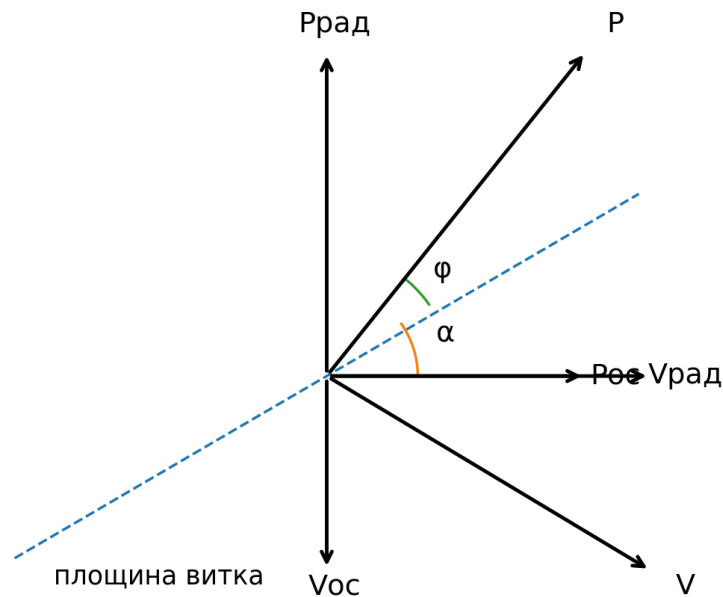


Рис. 3.2. Схема розкладання сил і швидкостей під час роботи спірального елемента мішалки.

Нормальну силу опору, яка діє на поверхню витка, визначаємо з урахуванням площі контакту, середньої глибини занурення витків у кормову масу, питомої ваги матеріалу та кута внутрішнього тертя корму:

$$P_n = F \cdot [h_{\text{зр}} \cdot \gamma \cdot \text{tg}^2(45^\circ + \phi/2) + 2 \cdot h_{\text{зр}} \cdot \text{tg}(45^\circ + \phi/2)] \cdot g. \quad (3.4)$$

Для прийнятих параметрів $F = 0,18 \text{ м}^2$, $h_{\text{зр}} = 1,2 \text{ м}$, $\gamma = 1000 \text{ кг/м}^3$, $\phi = 22^\circ$, $\beta = 45^\circ$ отримуємо:

$$P_n = 0,18 \cdot [1,2 \cdot 1000 \cdot \text{tg}^2(45^\circ + 11^\circ) + 2 \cdot 0,02 \cdot \text{tg}(45^\circ + 11^\circ)] \cdot 9,81 = 4657,5 \text{ Н}.$$

З урахуванням кута встановлення спірального елемента та коефіцієнта тертя радіальна й осьова складові сили становлять:

$$P_{\text{рад}} = 4657,5 \cdot \cos 23^\circ / \cos 22^\circ = 4624 \text{ Н};$$

$$P_{oc} = 4657,5 \cdot (\sin 45^\circ - 0,4 \cdot \cos 45^\circ) = 1676 \text{ Н.}$$

Радіальна швидкість визначається добутком кутової швидкості на радіус обертання центра мас робочого елемента:

$$V_{\text{рад}} = \omega \cdot R. \quad (3.5)$$

Для робочого положення витка приймаємо $V_{\text{рад}} = 0,83 \text{ м/с}$. Осьова швидкість, яка відповідає переміщенню корму вздовж мішалки, дорівнює:

$$V_{oc} = 0,83 \cdot 0,707 \cdot 0,707 = 0,41 \text{ м/с.}$$

Тоді розрахункова потужність на подолання опору перемішуванню дорівнює:

$$N = 4624 \cdot 0,83 + 1676 \cdot 0,41 = 4525 \text{ Вт} \approx 4,5 \text{ кВт.}$$

З урахуванням коефіцієнта запасу, можливих коливань вологості та нерівномірного завантаження робочого об'єму доцільно застосувати електродвигун потужністю не менше 5,5 кВт. Такий запас дозволяє забезпечити стійку роботу модернізованого запарника без перевантаження приводу при запуску і при роботі з густішими кормосумішами.

3.4. Перевірка вала мішалки на кручення

Вал мішалки сприймає крутний момент від приводу і передає його на лопатеві та спіральні елементи. З конструктивних міркувань вал доцільно виконати з труби зовнішнім діаметром 120 мм і товщиною стінки 12 мм. Внутрішній діаметр такої труби становить 96 мм. Порожнистий переріз зменшує масу мішалки, але водночас забезпечує достатній полярний момент опору.

Крутний момент на валу визначаємо за потужністю і частотою обертання:

$$T = 9550 \cdot P / n, \quad (3.6)$$

де P – потужність на валу, кВт; n – частота обертання, хв^{-1} . Для перевірки приймаємо $P = 5,5 \text{ кВт}$ і $n = 19,2 \text{ хв}^{-1}$:

$$T = 9550 \cdot 5,5 / 19,2 = 2736 \text{ Н} \cdot \text{м} \approx 2,74 \text{ кН} \cdot \text{м.}$$

Полярний момент опору порожнистого круглого перерізу обчислюємо за формулою:

$$W_p = \pi \cdot (D^4 - d^4) / (16 \cdot D), \quad (3.7)$$

де $D = 0,12$ м – зовнішній діаметр труби; $d = 0,096$ м – внутрішній діаметр. Після підстановки одержуємо $W_p \approx 2,0 \cdot 10^{-4}$ м³.

Дотичне напруження від кручення:

$$\tau = T / W_p = 2736 / (2,0 \cdot 10^{-4}) = 13,7 \text{ МПа}. \quad (3.8)$$

Для сталеві труби допустиме напруження при крученні приймаємо $[\tau] = 80$ МПа. Оскільки $13,7 \text{ МПа} < 80 \text{ МПа}$, умова міцності на кручення виконується з достатнім запасом. Отже, прийнятий діаметр вала може бути використаний для модернізованої мішалки.

3.5. Розрахунок вала на сумісну дію згину і кручення

Крім крутного моменту, на вал діє згинальне навантаження від ваги кормової маси, яка контактує з робочим органом, а також від власної маси мішалки. Тому перевірка лише на кручення не є достатньою. Для реальної оцінки працездатності вала необхідно врахувати сумісну дію згину і кручення.

Розподілене навантаження від корму визначаємо за залежністю:

$$q = 10^{-2} \cdot V \cdot \varphi \cdot \rho / L, \quad (3.9)$$

де $V = 3$ м³ – об'єм змішувача; $\varphi = 0,7$ – коефіцієнт заповнення; $\rho = 1000$ кг/м³ – густина кормосуміші; $L = 2,0$ м – довжина мішалки. За прийнятими даними отримуємо $q = 10,5$ кН/м.

Власну вагу вала визначаємо через площу поперечного перерізу труби:

$$S = \pi \cdot (D^2 - d^2) / 4;$$

$$F = S \cdot L \cdot \rho_{ст} \cdot g / 1000. \quad (3.10)$$

Для $D = 0,12$ м, $d = 0,096$ м, $L = 2,0$ м, $\rho_{ст} = 6700$ кг/м³ і $g = 9,81$ м/с² одержуємо $F \approx 10,8$ кН. Сумарне навантаження на опори вважаємо симетричним, оскільки мішалка розміщена в корпусі рівномірно.

Реакції в опорах А і В визначаємо за умовою рівноваги:

$$Y_A = Y_B = (F + q \cdot L) / 2. \quad (3.11)$$

$$Y_A = Y_B = (10,8 + 10,5 \cdot 2) / 2 = 15,9 \text{ кН}.$$

Перевірка рівноваги за вертикальними силами має вигляд:

$$Y_A - F - q \cdot L + Y_B = 15,9 - 10,8 - 10,5 \cdot 2 + 15,9 = 0.$$

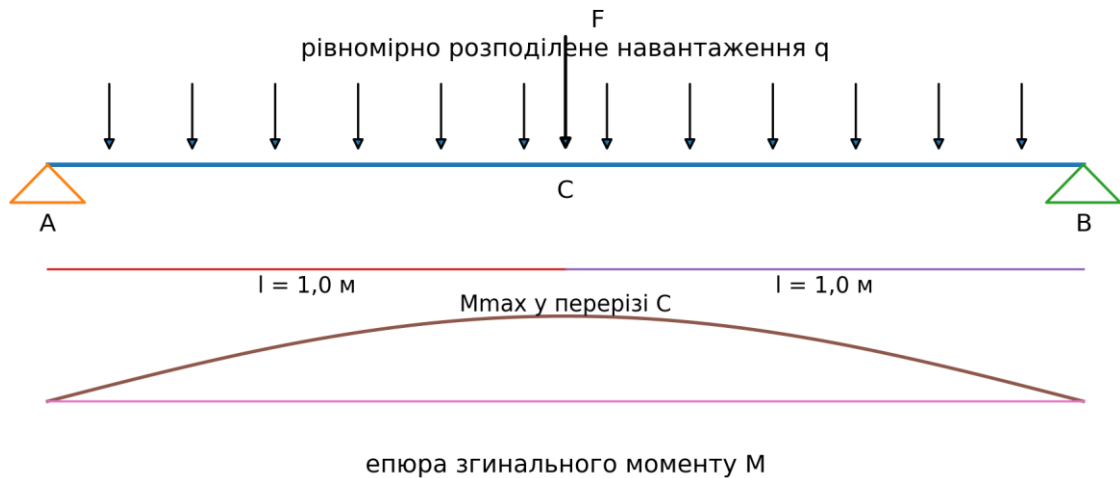


Рис. 3.3. Розрахункова схема вала мішалки та епюра згинального моменту

Отже, реакції опор визначено правильно. Максимальний згинальний момент виникає у середньому перерізі C:

$$M_{\max} = Y_A \cdot l - q \cdot l^2 / 2, \quad (3.12)$$

$$M_{\max} = 15,9 \cdot 1 - 10,5 \cdot 1^2 / 2 = 10,7 \text{ кН} \cdot \text{м}.$$

Для оцінки міцності за енергетичною теорією міцності визначаємо приведений момент:

$$M_{\text{пр}} = \sqrt{(M_{\max}^2 + 0,75 \cdot T^2)}. \quad (3.13)$$

$$M_{\text{пр}} = \sqrt{(10,7^2 + 0,75 \cdot 2,74^2)} = 11,0 \text{ кН} \cdot \text{м}.$$

Мінімально необхідний зовнішній діаметр порожнистого вала обчислюємо через допустиме напруження згину та відношення внутрішнього діаметра до зовнішнього:

$$D \geq \sqrt[3]{[M_{\text{пр}} \cdot 32 \cdot 10^5 / ([\sigma] \cdot \pi \cdot (1 - c^4))]}, \quad (3.14)$$

де $c = d/D = 0,8$; $[\sigma] = 160$ МПа. За розрахунком $D_{\min} \approx 10,6$ см. Прийнятий діаметр 12 см перевищує мінімально необхідний, тому вал модернізованої мішалки задовольняє вимоги міцності при сумісній дії згину і кручення.

Таблиця 3.3 – Основні результати перевірного розрахунку вала мішалки

Показник	Позначення	Розрахункове значення	Висновок
Частота обертання мішалки	n	$19,2 \text{ хв}^{-1}$	приймається для роботи
Потужність перемішування	N	$4,5 \text{ кВт}$	двигун $5,5 \text{ кВт}$ із запасом
Крутний момент	T	$2,74 \text{ кН}\cdot\text{м}$	використано для перевірки
Напруження кручення	τ	$13,7 \text{ МПа}$	менше $[\tau] = 80 \text{ МПа}$
Максимальний згинальний момент	$M_{\max}$	$10,7 \text{ кН}\cdot\text{м}$	у середньому перерізі
Необхідний діаметр вала	$D_{\min}$	$10,6 \text{ см}$	прийнято 12 см

3.6. Розрахунок фланцевої напівмуфти

Для передавання обертального моменту від приводу до вала передньої опори застосовується поперечно-фланцева муфта. Вона складається з двох напівмуфт, установлених на кінцях валів і з'єднаних між собою болтами. Такий тип з'єднання є зручним для машин кормоприготування, оскільки дає можливість швидко роз'єднувати привід під час ремонту, демонтажу мішалки або заміни ущільнень.

Розрахунок муфти виконуємо як перевірку болтового з'єднання та шпонок напівмуфт. Приймаємо, що фланці з'єднані вісьмома болтами діаметром 16 мм. Поперечна сила, яка припадає на один болт, становить $F = 4646 \text{ Н}$. Напруження розтягу або зрізу в болті визначаємо за формулою:

$$\sigma_p = 4 \cdot F / (\pi \cdot d_1^2). \quad (3.15)$$

Для розрахункового діаметра болта $d_1 = 14,5 \text{ мм}$ маємо:

$$\sigma_p = 4 \cdot 4646 / (3,14 \cdot 14,5^2) = 28,1 \text{ МПа}.$$

Допустиме напруження для болтового з'єднання приймаємо $[\sigma_p] = 40$ МПа. Оскільки $28,1 \text{ МПа} < 40 \text{ МПа}$, встановлені болти витримують робочий крутний момент і можуть бути використані у фланцевій муфті модернізованого запарника.

3.7. Перевірка шпонкових з'єднань

Напівмуфти встановлюються на валах за допомогою призматичних шпонок. Шпонкові з'єднання мають передавати крутний момент без зминання робочих граней і без провертання напівмуфти відносно вала. Для цапфи діаметром 100 мм приймаємо призматичну шпонку $b \times h \times L = 14 \times 10 \times 100$ мм.

Робоча довжина шпонки менша за повну довжину на величину її ширини:

$$L_p = L - b = 100 - 10 = 90 \text{ мм.} \quad (3.16)$$

Напруження зминання у шпонковому з'єднанні визначаємо за формулою:

$$\sigma_{зм} = 2 \cdot T / [d_c \cdot L_p \cdot (h - t_l)]. \quad (3.17)$$

За прийнятих розмірів і розрахункового крутного моменту умова міцності виконується. Аналогічну шпонку приймаємо для з'єднання напівмуфти з валом редуктора діаметром 100 мм. Розрахункове напруження зминання не перевищує допустимого значення для матеріалу шпонки, отже обрані шпонкові з'єднання забезпечують надійну передачу моменту від приводу до мішалки.

Таблиця 3.4 – Підсумкова перевірка елементів приводу модернізованої мішалки

Елемент	Прийнятий параметр	Розрахункова умова	Результат
Болти фланцевої муфти	8 шт., $d = 16$ мм	$\sigma_p \leq [\sigma_p]$	$28,1 \text{ МПа} \leq 40 \text{ МПа}$
Шпонка на цапфі мішалки	$14 \times 10 \times 100$ мм	$\sigma_{зм} \leq [\sigma_{зм}]$	умова виконується
Шпонка на валу редуктора	$14 \times 10 \times 100$ мм	$\sigma_{зм} \leq [\sigma_{зм}]$	умова виконується
Вал мішалки	труба 120×12 мм	$D_{\text{прийняте}} \geq D_{\text{min}}$	$12 \text{ см} \geq 10,6 \text{ см}$

Висновки до конструктивного розділу

У конструктивній частині проєкту розглянуто модернізацію запарника-змішувача кормів, що використовується у складі механізованої лінії приготування та роздачі кормів на свинокомплексі. За основу прийнято серійний агрегат СКО-Ф-6, а основним напрямом удосконалення визначено заміну або доповнення робочого органу спіральними елементами. Таке рішення підвищує інтенсивність осьового переміщення кормової маси, покращує рівномірність теплової обробки і зволоження, а також дає змогу досягти однорідності суміші 90...93 %.

Розрахунком встановлено, що для забезпечення продуктивності 10 т/год мішалка повинна працювати з частотою обертання близько $19,2 \text{ хв}^{-1}$. Потужність, необхідна для подолання опору перемішуванню, становить приблизно 4,5 кВт, тому з урахуванням запасу прийнято електродвигун потужністю 5,5 кВт. Перевірка вала на кручення показала, що напруження не перевищує допустимого, а розрахунок на сумісну дію згину і кручення підтвердив достатність труби діаметром 120 мм із товщиною стінки 12 мм.

Перевірочні розрахунки фланцевої муфти, болтів і шпонкових з'єднань підтвердили працездатність прийнятих конструктивних рішень. Отже, модернізований запарник може бути використаний у проєктованій лінії кормоприготування свинокомплексу, оскільки забезпечує вищу якість змішування, підвищену продуктивність і достатній запас міцності основних елементів приводу.

ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ

У кваліфікаційній роботі розглянуто комплекс питань, пов'язаних із підвищенням ефективності технологічного процесу годівлі свиней за рахунок удосконалення кормоприготувальної лінії та модернізації основного обладнання. Встановлено, що процес приготування і роздачі кормів є одним із ключових елементів виробництва свинини, оскільки від якості кормової суміші, точності дозування, своєчасності подачі корму та рівномірності його розподілу значною мірою залежать продуктивність тварин, витрати кормів і собівартість продукції.

У першому розділі було проаналізовано існуючі технологічні схеми та обладнання для приготування і роздачі кормів у свинарстві. Розглянуто особливості сухої, вологої, рідкої та комбінованої систем годівлі, визначено їх переваги й недоліки. Встановлено, що для сучасних свинокомплексів найбільш доцільним є застосування поточкових механізованих ліній, які забезпечують послідовне виконання операцій приймання, зберігання, транспортування, дозування, змішування, запарювання та роздачі кормів. Такий підхід дозволяє зменшити частку ручної праці, підвищити продуктивність обладнання і забезпечити стабільну якість кормосумішей.

У технологічній частині виконано розрахунок для свинокомплексу, де на відгодівлі перебуває 1200 свиней. Визначено структуру поголів'я, добову потребу в кормах, обґрунтовано раціон і розраховано необхідні об'єми кормових компонентів для забезпечення повноцінної годівлі тварин. На основі виконаних розрахунків розроблено перспективну технологічну карту приготування та роздачі кормів, у якій передбачено раціональну послідовність виконання виробничих операцій, узгоджену роботу машин і своєчасне забезпечення тварин кормом.

Під час вибору технологічного обладнання було враховано продуктивність потокової лінії, добову потребу в кормосуміші, режим роботи свинокомплексу та необхідність забезпечення безперервності процесу годівлі.

Для лінії підібрано транспортери, дозувальні пристрої, змішувач, запарник кормів і кормороздавальне обладнання. Складено графіки роботи машин та обладнання, які дозволяють уникнути простоїв, перевантаження окремих вузлів і неузгодженості між операціями. Це створює умови для ритмічної роботи кормоцеху та своєчасної роздачі корму тваринам.

У конструктивній частині роботи обґрунтовано модернізацію запарника кормів шляхом удосконалення робочих органів мішалки. Запропоноване конструктивне рішення спрямоване на покращення процесу перемішування кормової маси, підвищення однорідності суміші, рівномірніший розподіл вологи й тепла в робочому об'ємі запарника. Це особливо важливо під час приготування вологих і запарених кормів, оскільки недостатня якість перемішування може призводити до нерівномірного прогрівання корму, погіршення його фізико-механічних властивостей і зниження ефективності годівлі.

Проведені перевірочні розрахунки основних елементів модернізованого вузла підтвердили працездатність запропонованої конструкції та можливість її використання у складі механізованої потокової лінії. Встановлено, що модернізований запарник може забезпечити необхідну продуктивність і якість підготовки кормової суміші для умов свиногокомплексу на 1200 голів відгодівельного поголів'я. Запропоноване вдосконалення не потребує повної заміни технологічної лінії, а може бути реалізоване шляхом модернізації наявного обладнання, що підвищує практичну цінність розробки.

У результаті виконання роботи обґрунтовано, що впровадження удосконаленої лінії приготування та роздачі кормів дозволяє підвищити рівень механізації виробничих процесів, зменшити трудомісткість обслуговування, скоротити втрати кормів і забезпечити стабільніші умови годівлі свиней. Покращення якості кормосуміші позитивно впливає на використання поживних речовин, рівномірність споживання корму тваринами та загальну ефективність виробництва свинини.

Отже, поставлена мета кваліфікаційної роботи досягнута. Розроблені технологічні та конструктивні рішення мають практичне значення для свинарських підприємств, оскільки можуть бути використані під час удосконалення кормоцехів, модернізації запарників кормів і підвищення ефективності роботи механізованих ліній годівлі. Запропонована система забезпечує раціональне використання кормових ресурсів, покращує організацію виробничого процесу та сприяє підвищенню економічної ефективності функціонування свиногокомплексу.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Ревенко І. І., Брагінець М. В., Ребенко В. І. Машини та обладнання для тваринництва : підручник. Київ : Кондор, 2012. 731 с.
2. Скляр Р. В., Скляр О. Г., Болтянська Н. І., Мілько Д. О., Болтянський Б. В. Машини, обладнання та їх використання в тваринництві : підручник. Київ : Видавничий дім «Кондор», 2019. 608 с.
3. Хомик Н. І. Машини та обладнання для тваринництва : навчальний посібник. Тернопіль : ТНТУ імені Івана Пулюя, 2021. 280 с.
4. Технологія виробництва продукції свинарства : підручник / за ред. В. М. Герасимова. Харків : Еспада, 2010. 448 с.
5. Лихач В. Я. Нормована годівля свиней : методичні рекомендації. Миколаїв : МНАУ, 2016. 51 с.
6. Машини та обладнання для тваринництва : підручник / І. І. Ревенко та ін. Київ : ЦП «Компринт», 2018. 567 с.
7. Механізація виробничих процесів у тваринництві : навчальний посібник / за ред. І. І. Ревенка. Київ : Урожай, 2007. 391 с.
8. Практикум з годівлі сільськогосподарських тварин : навчальний посібник / за ред. І. І. Ібатулліна. Київ : Аграрна освіта, 2009. 328 с.
9. Дурст Л., Віттман М. Годівля сільськогосподарських тварин : навчальний посібник / пер. з нім. Київ : Фенікс, 2006. 384 с.
10. Норми годівлі, раціони і поживність кормів для різних видів сільськогосподарських тварин : довідник / за ред. Г. В. Проваторова. Суми : Університетська книга, 2007. 488 с.
11. Організація виробництва продукції тваринництва : навчальний посібник / за ред. М. М. Ільчука. Київ : Нічлава, 2011. 440 с.
12. Технологія виробництва продукції свинарства : навчальний посібник / В. Я. Лихач та ін. Миколаїв : МНАУ, 2018. 348 с.
13. AgroVOBU. Норми годівлі свиней на відгодівлі. URL: <https://agro.vobu.ua/1022> (дата звернення: 5.06.2026).

14. National Research Council. Nutrient Requirements of Swine. 11th rev. ed. Washington, DC : The National Academies Press, 2012. 420 p. DOI: <https://doi.org/10.17226/13298>.
15. Merck Veterinary Manual. Nutritional Requirements of Pigs. URL: <https://www.merckvetmanual.com/management-and-nutrition/nutrition-pigs/nutritional-requirements-of-pigs> (accessed: 5.06.2026).
16. Борак К. В., Куликівський В. Л. Матеріалознавство та технологія конструкційних матеріалів. Ч. 1: Теоретичні основи матеріалознавства : навч. посіб. Житомир : Поліський нац. ун-т, 2024. 101 с.
17. Merck Veterinary Manual. Feeding Levels and Practices in Pigs. URL: <https://www.merckvetmanual.com/management-and-nutrition/nutrition-pigs/feeding-levels-and-practices-in-pigs> (accessed: 5.06.2026).
18. FAO. Poultry and Pig Nutrition. Rome : Food and Agriculture Organization of the United Nations. URL: <https://www.fao.org/family-farming/detail/en/c/1757284/> (accessed: 5.06.2026).
19. FAO. Sustainable Pig Feeding Practices. Rome : Food and Agriculture Organization of the United Nations. URL: <https://openknowledge.fao.org/handle/20.500.14283/cd6946en> (accessed: 5.06.2026).
20. Big Dutchman. HydroMix Pro Liquid Feeding System. URL: <https://www.bigdutchman.com/en/products/pig-production/sow-management/hydromix-pro/> (accessed: 5.06.2026).
21. Big Dutchman. Pig Finishing Equipment and Feeding Systems. URL: <https://www.bigdutchman.com/en/products/pig-production/pig-finishing/> (accessed: 5.06.2026).
22. SKIOLD. Pig Feeding Systems. URL: <https://skiold.com/pig/equipment/pig-feeding-systems> (accessed: 5.06.2026).
23. SKIOLD. Liquid Feeding Equipment and Systems for Pigs. URL: <https://skiold.com/pig/equipment/pig-feeding-systems/liquid-feeding> (accessed: 5.06.2026).

24. WEDA Dammann & Westerkamp GmbH. Liquid Feeding Systems.
URL: <https://www.weda.de/en/our-solutions/feeding-systems/liquid-feeding/>
(accessed: 5.06.2026).
25. Big Dutchman USA. Liquid Feeding for Nursery and Finishing Pigs.
URL: <https://www.bigdutchmanusa.com/pig-production/products/growing-and-finishing/liquid-feeding/> (accessed: 5.06.2026).
26. Dambaulova G. K., Bolatbekova A. B., Toleubekova S. B. Benefits of Automated Pig Feeding System: A Simplified Cost-Benefit Analysis. *Animals*. 2023. Vol. 13. URL: <https://pmc.ncbi.nlm.nih.gov/articles/PMC10750755/> (accessed: 5.06.2026).
27. Big Dutchman. Automatic Feeders for Piglet Rearing and Pig Finishing.
URL: <https://www.newquip.co.uk/Portals/0/adam/Document-Manager/QTsEu5hNO0CXw3UktCT8wA/DocLink/pig-production-automatic-feeders-Big-Dutchman-en.pdf> (accessed: 5.06.2026).
28. DLG. Trends in Pig Farming and Feeding Technology. URL: <https://www.dlg.org/en/magazine/trends-in-pig-farming-and-feeding-technology>
(accessed: 5.06.2026).
29. The Pig Site. Liquid vs Dry Feeding. URL: <https://www.thepigsite.com/articles/liquid-vs-dry-feeding> (accessed: 5.06.2026).
30. ACO Funki. Liquid Feeding for Pigs. URL: <https://www.acofunki.com/products/liquid-feeding> (accessed: 5.06.2026).