МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
ПОЛІСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
Факультет інженерії та енергетики
Кафедра агроінженерії та технічного сервісу

Кваліфікаційна робота
на правах рукопису

Вікарчук Володимир Олександрович

УДК 631.3:636.085.55

КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА

Удосконалення технологічної лінії виробництва комбікормів з модернізацією машини для змішування

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 _____ Вікарчук В.О.

Керівник роботи
Борак К.В.
доктор технічних наук, професор

Житомир – 2026

АНОТАЦІЯ

Вікарчук Володимир Олександрович. Удосконалення технологічної лінії виробництва комбікормів з модернізацією машини для змішування. – *Кваліфікаційна робота на правах рукопису.*

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

Кваліфікаційна робота присвячена удосконаленню технологічної лінії виробництва комбікормів з детальною розробкою технологічної операції змішування. У роботі розглянуто сучасний стан виробництва комбікормів в Україні та визначено основні проблеми, пов'язані з якістю готової продукції, енерговитратами, рівнем механізації й автоматизації виробничих процесів. Обґрунтовано необхідність модернізації комбікормових цехів, оскільки ефективність приготування кормових сумішей безпосередньо впливає на продуктивність тварин і собівартість продукції тваринництва. Проаналізовано схему цеху та технологічну схему лінії виробництва комбікормів, що включає операції приймання, зберігання, подрібнення, дозування, змішування, транспортування та вивантаження готового продукту. Особливу увагу приділено операції змішування, яка є однією з найважливіших у забезпеченні рівномірного розподілу зернових, білкових, мінеральних і мікрокомпонентів у складі комбікорму. У процесі виконання роботи розглянуто конструктивні особливості змішувального обладнання та визначено фактори, що впливають на якість перемішування сипких матеріалів. Запропоновані проектні рішення спрямовані на підвищення однорідності кормової суміші, зменшення втрат сировини, скорочення ручної праці та покращення техніко-економічних показників виробництва. У розділі з охорони праці визначено небезпечні та шкідливі фактори комбікормового виробництва і запропоновано заходи щодо безпечної експлуатації обладнання. Техніко-економічне обґрунтування підтверджує доцільність удосконалення технологічної лінії, оскільки модернізація дає змогу підвищити продуктивність, знизити питомі витрати та покращити якість комбікорму. Практичне значення роботи полягає в можливості використання запропонованих рішень під час проектування, реконструкції або модернізації комбікормових цехів сільськогосподарських підприємств.

Ключові слова: комбікорм, технологічна лінія, виробництво комбікормів, змішування, змішувач.

ANNOTATION

Volodymyr Oleksandrovych Vikarchuk. Improvements to the compound feed production line, including the modernisation of the mixing machine. – *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 focuses on improving the production line for compound feed, with a detailed analysis of the mixing process. The thesis examines the current state of compound feed production in Ukraine and identifies the main issues relating to the quality of the finished product, energy consumption, and the level of mechanisation and automation in production processes. The need to modernise compound feed production facilities is justified, as the efficiency of feed mixture preparation directly affects animal productivity and the cost of livestock production. The layout of the plant and the process flow diagram of the compound feed production line are analysed, covering operations such as reception, storage, grinding, dosing, mixing, transport and unloading of the finished product. Particular attention is paid to the mixing operation, which is one of the most important in ensuring the uniform distribution of cereals, proteins, minerals and micro-components within the compound feed. In the course of the work, the design features of the mixing equipment were examined and the factors influencing the quality of mixing of bulk materials were identified. The proposed design solutions are aimed at improving the homogeneity of the feed mixture, reducing raw material losses, minimising manual labour and improving the technical and economic performance of production. The section on occupational health and safety identifies hazardous and harmful factors in compound feed production and proposes measures for the safe operation of equipment. The technical and economic justification confirms the feasibility of upgrading the production line, as modernisation enables increased productivity, reduced specific costs and improved compound feed quality. The practical significance of this work lies in the possibility of applying the proposed solutions during the design, reconstruction or modernisation of compound feed production facilities at agricultural enterprises.

Keywords: compound feed, production line, compound feed production, mixing, mixer.

ЗМІСТ

ВСТУП……..…6
РОЗДІЛ 1. АНАЛІЗ СТАНУ ВИРОБНИЦТВА КОМБІКОРМІВ В УКРАЇНІ……..….9
1.1. Значення комбікормового виробництва для аграрного сектору……..9
1.2. Сучасний стан ринку комбікормів в Україні……...……..9
1.3. Сировинна база та технологічна структура виробництва…….....10
1.4. Стан механізації виробництва комбікормів……..…….….11
1.5. Автоматизація процесу виробництва комбікормів……12
1.6. Проблеми та перспективи розвитку галузі……..…13
Висновки по розділу……...14
РОЗДІЛ 2. ПРОЕКТУВАННЯ ТЕХНОЛОГІЧНОЇ ЛІНІЇ ВИРОБНИЦТВА КОМБІКОРМІВ……15
2.1. Планувальна характеристика цеху……...……...….16
2.2. Технологічна схема виробництва комбікормів…….……..17
2.3. Склад обладнання та маршрут руху сировини……..……18
2.4. Проектування операції змішування……...……...……19
2.5. Механізація, автоматизація та контроль лінії……..……..….20
Висновки по розділу……..……21
РОЗДІЛ 3. РОЗРОБКА ГВИНТОВОГО ЗМІШУВАЧА……...…..22
3.1 Технологічний процес змішування сипких матеріалів сільськогосподарського призначення……..……23
3.2 Методика оцінки якості змішування сипких матеріалів сільськогосподарського виробництва……...…….26
3.3 Огляд і аналіз існуючих конструкцій змішувачів сипких матеріалів……...……29
3.4 Опис конструкції розроблюваного змішувача…….……36
3.5 Розрахунок основних елементів змішувача……...……...……38
Висновки по розділу……..41
РОЗДІЛ 4. ОХОРОНА ПРАЦІ……...……..43

4.1 Загальна характеристика виробничого приміщення та технологічного процесу……..…….43
4.2 Аналіз небезпечних і шкідливих виробничих факторів……..45
4.3 Вимоги безпеки до технологічного обладнання лінії……..47
4.4 Безпечна організація операції змішування……...……...…….48
4.5 Санітарно-гігієнічні, пожежні та організаційні заходи……...50
4.6 Заходи безпеки під час технічного обслуговування та ремонту…….51
Висновки по розділу……..51
РОЗДІЛ 5. ТЕХНІКО-ЕКОНОМІЧНЕ ОБҐРУНТУВАННЯ ПРОЕКТНИХ РІШЕНЬ……..……53
5.1 Вихідні передумови та мета економічного розрахунку……...…54
5.2 Врахування плану цеху та технологічної схеми у проектних рішеннях…….…55
5.3 Розрахунок виробничої програми…….....……57
5.4 Розрахунок капітальних вкладень…….……57
5.5 Розрахунок зміни експлуатаційних витрат……..…….58
5.6 Оцінка економічної ефективності проектного рішення……..……...…60
5.7 Техніко-економічна оцінка операції змішування……...……61
Висновки по розділу……..……62
ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ……..…….64
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ……...……..……66

ВСТУП

Актуальність теми дослідження. Ефективний розвиток тваринництва значною мірою залежить від стабільного забезпечення тварин повноцінними, збалансованими та якісними кормами. Одним із найбільш раціональних способів організації годівлі є використання комбікормів, до складу яких входять зернові, білкові, мінеральні, вітамінні та інші компоненти, підібрані відповідно до потреб певного виду і вікової групи тварин. Якість комбікорму визначається не лише поживною цінністю окремих інгредієнтів, а й точністю їх дозування, ступенем подрібнення, рівномірністю змішування та дотриманням технологічних режимів на всіх етапах виробництва.

В умовах сучасного аграрного виробництва особливої актуальності набуває питання удосконалення технологічних ліній виробництва комбікормів. Багато сільськогосподарських підприємств використовують обладнання, яке має значний фізичний і моральний знос, недостатній рівень автоматизації та підвищені питомі енерговитрати. Це негативно впливає на продуктивність комбікормових цехів, якість готової продукції, собівартість кормів і загальну ефективність виробництва продукції тваринництва. Тому модернізація технологічних процесів, раціональне компонування обладнання та підвищення якості виконання основних операцій є важливими завданнями агроінженерії.

Однією з ключових операцій у виробництві комбікормів є змішування. Саме на цьому етапі відбувається рівномірний розподіл усіх компонентів у загальній масі кормової суміші. Недостатня однорідність комбікорму може призвести до нерівномірного надходження поживних речовин, мікроелементів і добавок до організму тварин, що знижує ефективність годівлі та може погіршувати продуктивні показники.

Особливо важливим є якісне перемішування компонентів, які вводяться у малих кількостях, оскільки навіть незначне відхилення їх концентрації може впливати на поживну цінність і безпечність корму.

Актуальність теми кваліфікаційної роботи полягає в необхідності підвищення ефективності виробництва комбікормів шляхом удосконалення технологічної лінії та детальної розробки операції змішування. Раціонально спроєктована технологічна лінія повинна забезпечувати безперервність виробничого процесу, зручність обслуговування обладнання, мінімальні втрати сировини, зниження енерговитрат, безпечні умови праці та стабільну якість готової продукції. Удосконалення змішувального обладнання дає можливість підвищити однорідність суміші, скоротити тривалість виробничого циклу та зменшити вплив людського фактора на якість комбікорму.

Метою кваліфікаційної роботи є удосконалення технологічної лінії виробництва комбікормів з детальною розробкою технологічної операції змішування для підвищення якості готової продукції, продуктивності обладнання та ефективності виробничого процесу.

Для досягнення поставленої мети необхідно вирішити такі **завдання:** проаналізувати сучасний стан виробництва комбікормів в Україні; розглянути рівень механізації та автоматизації основних технологічних операцій; обґрунтувати схему технологічної лінії виробництва комбікормів; визначити місце та значення операції змішування у загальному виробничому процесі; проаналізувати конструкції змішувачів сипких матеріалів і вибрати доцільний напрям удосконалення; розробити заходи з охорони праці під час експлуатації комбікормового цеху; виконати техніко-економічне обґрунтування запропонованих проектних рішень.

Об’єктом дослідження є технологічний процес виробництва комбікормів у комбікормовому цеху сільськогосподарського підприємства.

Предметом дослідження є технологічна лінія виробництва комбікормів та операція змішування сипких кормових компонентів.

У процесі виконання роботи використано методи аналізу технологічних процесів, порівняння конструктивних рішень, інженерних розрахунків, узагальнення виробничого досвіду, а також методи техніко-

економічної оцінки ефективності проектних рішень. Під час розробки враховано особливості компонування комбікормового цеху, послідовність руху сировини і готової продукції, вимоги до безпечної експлуатації обладнання та необхідність підвищення рівня механізації виробничих операцій.

Перелік публікацій за темою роботи:

1. Борак К.В., Макаревич В.Л., Кравчук М.Р., **Вікарчук В.О.** Перспективи застосування розробок військового походження в агроінженерії. VI Міжнародна науково-практична конференція молодих учених «Технічне забезпечення інноваційних технологій в агропромисловому комплексі». Запоріжжя: ТДАТУ. URL: https://www.tsatu.edu.ua/tstt/wp-content/uploads/sites/6/borak_26.pdf (дата звернення 02.06.2026).

2. Міненко С.В., Степовий А.В., **Вікарчук В.О.** Удосконалення технологічного процесу виробництва комбікормів як засіб підвищення їхньої поживної цінності та однорідності. 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. 162-165.

Практичне значення одержаних результатів. Практичне значення кваліфікаційної роботи полягає в тому, що запропоновані рішення можуть бути використані під час модернізації або проектування комбікормових цехів невеликої та середньої продуктивності. Удосконалення технологічної лінії та операції змішування дозволяє підвищити рівномірність кормової суміші, зменшити втрати сировини, покращити умови праці, скоротити частку ручних операцій і забезпечити більш ефективне використання енергетичних та матеріальних ресурсів.

Структура та обсяг роботи. Кваліфікаційна робота складається з вступу, трьох розділів, висновків, списку використаних джерел з 26 найменувань. Загальний обсяг роботи становить 69 сторінок комп’ютерного тексту, містить 9 рисунки, 9 таблиць та 1 додаток.

РОЗДІЛ 1
АНАЛІЗ СТАНУ ВИРОБНИЦТВА КОМБІКОРМІВ В УКРАЇНІ

1.1. Значення комбікормового виробництва для аграрного сектору

Комбікормове виробництво є важливою ланкою агропромислового комплексу, оскільки поєднує рослинництво, зернопереробку, олійно-жирову промисловість і тваринництво. Від якості корму залежить продуктивність птиці, свиней, великої рогатої худоби, собівартість м’яса, молока та яєць. Сучасний комбікорм – це не звичайна зернова суміш, а збалансований продукт із заданою поживністю, вмістом білка, амінокислот, мінеральних речовин, вітамінів і технологічних добавок.

Для України розвиток цієї галузі має особливе значення через наявність потужної зернової та олійної сировинної бази. Проте сам факт наявності зерна не забезпечує високої ефективності кормовиробництва. Кінцевий результат залежить від точності дозування, якості подрібнення, рівномірності змішування, санітарного стану лінії, стабільності рецептури та надійності обладнання. Саме тому технологічна операція змішування є однією з ключових у виробництві комбікормів.

1.2. Сучасний стан ринку комбікормів в Україні

Ринок комбікормів в Україні в останні роки працює в умовах нестабільності. На нього впливають зміни поголів’я тварин, коливання цін на зерно та білкову сировину, енергетичні ризики, логістичні труднощі, купівельна спроможність тваринницьких підприємств і можливості експорту продукції. Повномасштабна війна посилила ці проблеми через пошкодження інфраструктури, перебої електропостачання, зростання вартості палива та складність постачання премісів і мікродобавок.

За даними, наведеними з посиланням на Державну службу статистики, у 2024 році на годівлю сільськогосподарських тварин було використано 22,4 млн т кормів у кормових одиницях, що на 4,7 % менше, ніж у 2023 році. Із

загального обсягу на концентровані корми припадало 14,0 млн т, з яких комбікорми становили близько 8,0 млн т. Основна частина комбікормів була використана сільськогосподарськими підприємствами, що підтверджує промисловий характер попиту на якісні корми [1; 2].

Аналітичні огляди ринку за 2021–2024 роки вказують, що галузь перебуває у стані адаптації. Серед головних чинників впливу називають військові ризики, подорожчання електроенергії та палива, девальваційний вплив на імпортні добавки, необхідність сертифікації й контролю якості [3]. Водночас внутрішня переробка зерна і шротів стає економічно доцільною, тому великі тваринницькі господарства дедалі частіше розвивають власні комбікормові цехи.

1.3. Сировинна база та технологічна структура виробництва

Сировинна база комбікормової промисловості формується переважно за рахунок продукції рослинництва. Енергетичну частину рецептур забезпечують кукурудза, пшениця, ячмінь та інші зернові культури. Білкову частину становлять соняшниковий, соєвий і ріпаковий шроти та макухи, продукти переробки бобових культур, білково-вітамінні добавки. До мінеральної складової належать крейда, сіль, фосфати, вапнякове борошно, а також спеціальні премікси.

Типова технологічна лінія виробництва комбікормів включає приймання сировини, очищення від домішок, магнітний контроль, подрібнення зернових компонентів, дозування макро- і мікрокомпонентів, змішування, введення рідких добавок, гранулювання або експандування за потреби, охолодження, просіювання, пакування чи відвантаження насипом. У сучасних проектах компоненти після вхідного аналізу очищаються, подаються до оперативних бункерів, зважуються відповідно до рецептури і надходять у змішувач [7].

Дозування та змішування є найбільш відповідальними операціями. Дозування визначає відповідність фактичного складу заданій рецептурі, а

змішування забезпечує рівномірність розподілу компонентів у масі продукту. Навіть точне зважування не дає потрібного результату, якщо у змішувачі утворюються застійні зони, неправильно підібрано тривалість циклу або коефіцієнт завантаження.

1.4. Стан механізації виробництва комбікормів

Механізація виробництва охоплює всі операції переміщення, зберігання, підготовки та обробки компонентів. На комбікормових підприємствах застосовують приймальні бункери, норії, шнекові та скребкові транспортери, стрічкові конвеєри, силоси оперативного зберігання, зерноочисні машини, дробарки, дозувальні бункери, вагові системи, змішувачі, гранулятори, охолоджувачі, аспіраційні системи і пакувальні автомати.

Рівень механізації в Україні є неоднорідним. Великі комбікормові заводи та інтегровані агрохолдинги здебільшого мають комплексно механізовані лінії із закритими транспортерами, бункерами та розподільчими пристроями. На малих і середніх підприємствах ще зустрічаються частково механізовані схеми, де окремі компоненти подаються вручну, а контроль рівня бункерів, подачі мікродобавок і вивантаження готового продукту значною мірою залежить від оператора.

Проблемами застарілих ліній є зношеність транспортерів, підвищене пиловиділення, недостатня герметичність кожухів, низька ефективність аспірації та нерівномірність подачі сировини. Модернізація повинна передбачати заміну основних машин, встановлення магнітних уловлювачів, датчиків рівня, засобів блокування, локальної аспірації та енергоефективних приводів. Для операції змішування перспективними є лопатеві, стрічкові та шнекові конструкції з оптимізованими робочими органами.

1.5. Автоматизація процесу виробництва комбікормів

Автоматизація комбікормового виробництва поступово переходить від локального керування окремими машинами до комплексного управління технологічною лінією. Початковий рівень передбачає пульти керування приводами, сигналізацію та аварійні блокування. Вищий рівень включає вагові дозатори, автоматичні засувки, керування маршрутами подачі сировини, контроль заповнення бункерів, програмне завдання рецептур і формування виробничих звітів.

Сучасні системи автоматизованого управління призначені для формування рецептур, автоматичного дозування сухих і рідких компонентів, змішування у заданих пропорціях, контролю роботи обладнання, обліку технологічних затримок і дотримання алгоритмів процесу [5]. Використання ПЛК, операторських панелей і SCADA-систем забезпечує відображення стану лінії в реальному часі, архівування параметрів, швидке реагування на аварії та зменшення впливу людського фактора.

Для змішування автоматизація має особливе значення. Система повинна задавати послідовність подачі компонентів, фіксувати масу кожної порції, керувати запуском змішувача, тривалістю перемішування, режимом введення рідких добавок і повнотою вивантаження. За допомогою датчиків струму, рівня або завантаження можна контролювати фактичний режим роботи, виявляти перевантаження та запобігати аварійним зупинкам.

Окремі виробники обладнання пропонують ПЛК-панелі з сенсорним інтерфейсом, віддаленим моніторингом через SCADA, автоматичним контролем вологості, аспірацією і системами пожежної безпеки [7]. Для приготування комбікормових сумішей застосовуються рішення, що працюють в автоматичному або ручному режимі та виконують вагове дозування, дроблення, змішування і керування маршрутами-рецептами [6].

Таблиця 1.1 – Напрями механізації та автоматизації виробництва комбікормів

Ділянка	Механізація	Автоматизація
Приймання	бункери, норії, конвеєри	датчики рівня, облік партій
Підготовка	очисні машини, дробарки, аспірація	контроль навантаження і блокування
Дозування	вагові бункери, живильники	рецептурне керування, автозважування
Змішування	лопатеві, стрічкові, шнекові змішувачі	задання циклу, контроль завантаження
Вивантаження	затвори, транспортери, пакувальники	облік продукції, маркування партій

1.6. Проблеми та перспективи розвитку галузі

До головних проблем комбікормового виробництва належать висока енергоємність окремих операцій, залежність від імпортних преміксів, зношеність обладнання на малих підприємствах, нестача лабораторного контролю, кадровий дефіцит і нерівномірне завантаження виробничих потужностей. В умовах воєнного часу додатковими ризиками є перебої електропостачання, логістичні ускладнення та витрати на резервні джерела енергії. За оцінками USDA, атаки на інфраструктуру залишалися одним із головних ризиків для виробництва у 2024–2025 роках [4].

Перспективи розвитку пов’язані з поглибленням переробки зернової та олійної сировини всередині країни, модернізацією комбікормових цехів, підвищенням енергоефективності й автоматизацією обліку. Для середніх господарств актуальними є модульні лінії продуктивністю 1–5 т/год, а для великих підприємств – лінії 5–10 т/год і більше, інтегровані з системами управління складом, якістю та собівартістю.

У межах цієї роботи найбільш важливим напрямом удосконалення є операція змішування. Поліпшення конструкції змішувача має забезпечити скорочення тривалості циклу, стабільну однорідність суміші, зниження залишків у корпусі, менші питомі енерговитрати та зручність технічного обслуговування. Це дозволить підвищити якість готового комбікорму і конкурентоспроможність технологічної лінії.

Висновки по розділу

Виробництво комбікормів в Україні залишається важливою складовою аграрного сектору і безпосередньо впливає на ефективність тваринництва. Попит на якісні корми формують насамперед промислові птахівничі, свинарські та молочні підприємства, для яких важливі точність рецептури, стабільна поживність і простежуваність партій. Наявна сировинна база створює передумови для розвитку галузі, однак реалізація цього потенціалу потребує технічної модернізації.

Стан механізації характеризується значною різницею між сучасними комплексно механізованими заводами і малими виробництвами із частково ручними операціями. Автоматизація дозування, змішування, контролю маршрутів і виробничого обліку є необхідною умовою підвищення продуктивності та якості. Тому подальше удосконалення технологічної лінії доцільно спрямувати на підвищення ефективності змішування, енергоощадність, надійність обладнання і можливість інтеграції з автоматизованою системою керування.

РОЗДІЛ 2
ПРОЕКТУВАННЯ ТЕХНОЛОГІЧНОЇ ЛІНІЇ ВИРОБНИЦТВА КОМБІКОРМІВ

Метою проектування є обґрунтування такої технологічної лінії виробництва комбікормів, яка забезпечує послідовне приймання, очищення, подрібнення, дозування, змішування, введення рідких і мінеральних добавок, гранулювання та відвантаження готової продукції. Для кваліфікаційної роботи основну увагу зосереджено на операції змішування, оскільки саме вона визначає рівномірність розподілу компонентів і стабільність кормової цінності кожної порції готового продукту.

Під час проектування враховано план цеху та технологічну схему лінії. План передбачає поділ приміщення на виробничі зони, а схема лінії показує взаємозв’язок бункерів, дозаторів, транспортерів, норій, дробарки, змішувачів, вузлів введення рідких добавок і блоку гранулювання. Таке поєднання планувального та технологічного рішень дає змогу оцінити не лише склад обладнання, а й напрям руху сировини, зручність обслуговування, рівень механізації та можливості автоматичного керування процесом.

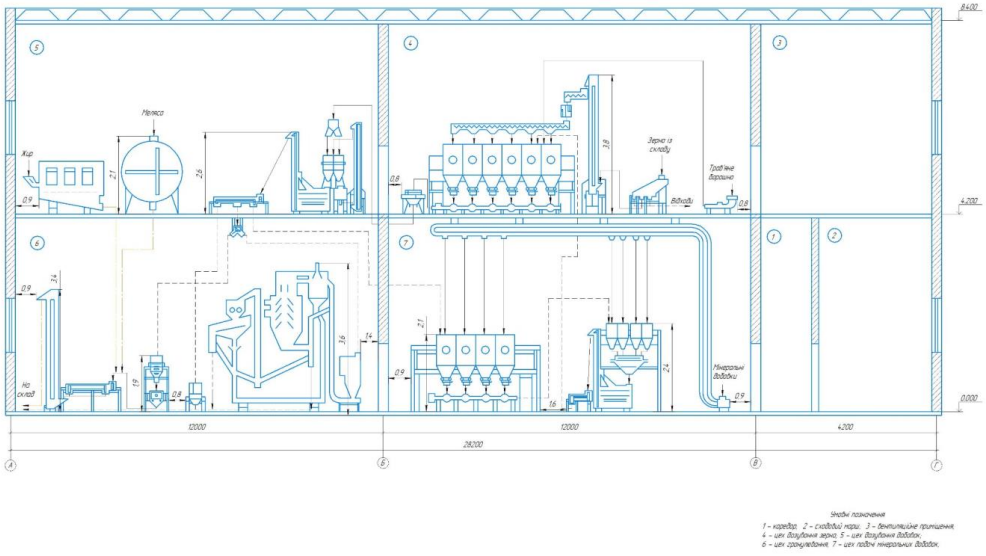


Рис. 2.1. План цеху виробництва комбікормів

2.1. Планувальна характеристика цеху

За наданим планом цех має прямокутну форму з основними осями А–Г. Загальна довжина будівлі за нижнім розмірним рядом становить 28,2 м, що дає можливість розмістити технологічне обладнання потоково: від подачі сировини зі складу до ділянки змішування, гранулювання та відвантаження. Компоновка виконана у двох рівнях. Нижній рівень 0,000 призначено для важких машин, бункерів, змішувачів, дробарки та грануляційного обладнання, а рівень 4,200 використовується для дозувальних, розподільчих і завантажувальних вузлів. Верхня відмітка 8,400 забезпечує необхідний габарит для норій, пневмотранспорту та вертикальних комунікацій.

У правій частині плану розміщено коридор, сходовий марш і вентиляційне приміщення. Це відокремлює допоміжні зони від технологічних і покращує умови обслуговування. Центральну частину займає цех дозування зерна, де зосереджено бункери, розподільчі шнеки, магнітну колонку, завантажувальні механізми та очищувальне обладнання. Ліва частина відведена під цех дозування добавок, де розміщуються вузли введення жиру, меляси та карбаміду. У нижній лівій зоні передбачено цех гранулювання, а в нижній центральній частині – цех подачі мінеральних добавок.

Таблиця 2.1 – Функціональне призначення зон цеху

№	Зона цеху	Призначення
1	Коридор	Доступ персоналу до виробничих зон.
2	Сходовий марш	Обслуговування обладнання на різних рівнях.
3	Вентиляційне приміщення	Розміщення аспіраційних і вентиляційних агрегатів.
4	Цех дозування зерна	Накопичення, очищення і дозування зернових компонентів.
5	Цех дозування добавок	Введення жиру, меляси, карбаміду та інших добавок.
6	Цех гранулювання	Формування гранульованого комбікорму.
7	Цех подачі мінеральних добавок	Подача і дозування мікро- та макрокомпонентів.

Запропоноване зонування є раціональним, оскільки зменшує перехрещення потоків і дозволяє організувати послідовну подачу сировини. Розміщення обладнання на різних висотних рівнях забезпечує часткове використання самопливу, а це скорочує кількість горизонтальних

транспортерів і зменшує енерговитрати. Для ділянок, де самоплив неможливий, у схемі передбачено шнеки, норії, пневмоконвеєр і трасо-шайбовий конвеєр.

2.2. Технологічна схема виробництва комбікормів

Технологічна схема лінії охоплює кілька взаємопов'язаних потоків: зерновий, рідкий, мінеральний, мікрокомпонентний і потік готового продукту. Зерно зі складу подається через норію, проходить магнітну колонку для вилучення металомагнітних домішок, завантажується шнеком і розподіляється по бункерах розмелювально-змішувального відділення. Після дозування компоненти надходять до дробарки, де формується необхідний гранулометричний склад, а потім спрямовуються до змішувача.

Рідкі компоненти вводяться окремими блоками: блоком меляси і карбаміду та блоком жиру. Їхнє відокремлене розміщення дає можливість регулювати температуру, в'язкість, витрату і порядок введення добавок. Мінеральні добавки подаються через трасо-шайбовий конвеєр до блоків бункерів мікро- і макрокомпонентів, після чого дозуються автоматичними вагами та подаються до змішувача. Окремі вузли схеми передбачають очищення зерна, виведення відходів і транспортування трав'яного борошна пневмоконвеєром.

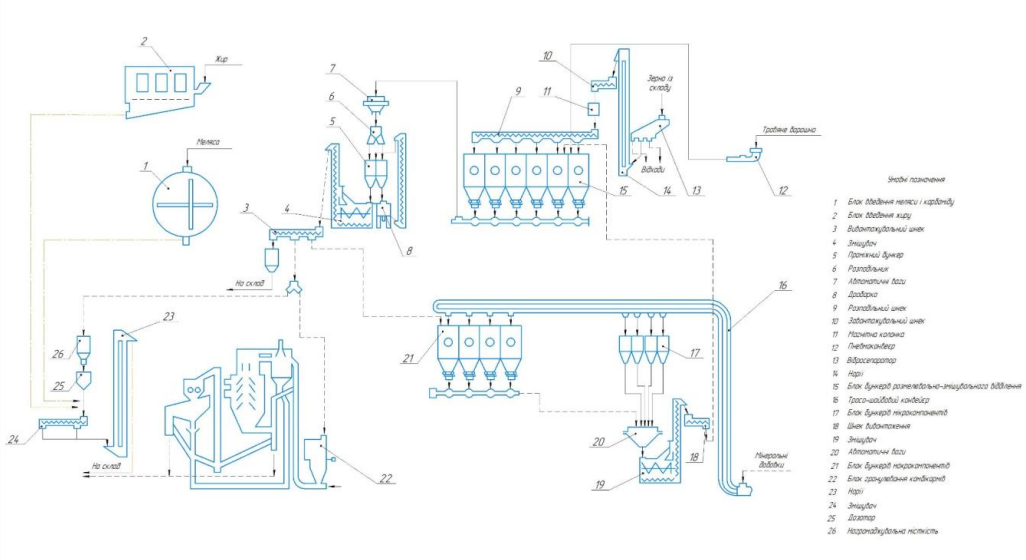


Рис. 2.2. Технологічна схема лінії виробництва комбікормів.

Готова суміш після основного змішування може бути спрямована на гранулювання або на склад. Наявність блоку гранулювання підвищує універсальність лінії, оскільки дає змогу випускати як розсипний, так і гранульований комбікорм. Гранулювання зменшує розшарування суміші під час транспортування, покращує сипкість і спрощує дозовану роздачу кормів у господарствах.

2.3. Склад обладнання та маршрут руху сировини

Склад технологічного обладнання відповідає прийнятому маршруту сировини. Основу зернового потоку становлять норії, магнітна колонка, завантажувальний та розподільчий шнеки, блок бункерів, автоматичні ваги, дробарка і змішувач. Для рідких добавок використовуються окремі блоки введення, а для мінеральних компонентів – бункери, ваги, шнеки вивантаження та окремий контур транспортування. Призначення основних груп обладнання наведено в таблиці 2.2.

Таблиця 2.2 – Основні групи обладнання проектованої лінії

Група операцій	Обладнання за схемою	Функція у лінії
Приймання і транспортування зерна	Норії, завантажувальний шнек, розподільчий шнек, пневмоконвеєр	Подача сировини зі складу, розподіл по бункерах, переміщення трав’яного борошна.
Очищення	Магнітна колонка, вібросепаратор	Вилучення металу, грубих домішок і відходів перед подрібненням.
Дозування	Автоматичні ваги, дозатор, проміжні бункери	Формування порції за рецептурою та забезпечення сталої маси компонентів.
Подрібнення	Дробарка	Отримання потрібної крупності частинок для якісного змішування.
Змішування	Змішувачі основного і допоміжного контурів	Рівномірний розподіл зернових, мінеральних і рідких компонентів.
Введення добавок	Блок жиру, блок меляси і карбаміду, блоки мікро- і макрокомпонентів	Дозована подача рідких, мінеральних та біологічно активних речовин.
Гранулювання і відвантаження	Блок гранулювання, вивантажувальні шнеки, накопичувальна місткість	Формування готового продукту, накопичення і передача на склад.

Зернова сировина після очищення та дозування подається до дробарки, а потім у змішувач. Послідовність «очищення – дозування – подрібнення – змішування» прийнята тому, що вона забезпечує захист дробарки від

небезпечних домішок, дозволяє точно сформувати порцію і створює однорідну зернову основу для введення добавок. Мінеральні компоненти доцільно попередньо змішувати в меншому об’ємі, а вже потім подавати до основного змішувача. Це підвищує рівномірність розподілу малих доз у загальній масі корму.

Рух готового продукту проектується у напрямку до грануляційного відділення або складу. Якщо рецептура передбачає випуск розсипного комбікорму, суміш після змішування подається до накопичувальної місткості та відвантажується. Якщо потрібен гранульований продукт, вона надходить у блок гранулювання, де ущільнюється, формується у гранули і передається на подальше зберігання.

2.4. Проектування операції змішування

Операція змішування є головною у даній кваліфікаційній роботі. У проектованій лінії вона виконується після дозування та подрібнення основних компонентів і після підготовки добавок. Змішувач повинен створювати інтенсивне переміщення матеріалу в осьовому і поперечному напрямах, щоб кожна частина порції мала однакове співвідношення зернової основи, білкових компонентів, мінеральних речовин і рідких добавок. Особливо важливо не допустити утворення застійних зон біля стінок і вивантажувального патрубка.

Для даної лінії доцільно прийняти порційний режим змішування. Спочатку автоматичні ваги формують порцію відповідно до рецептури, потім компоненти надходять у проміжний бункер і змішувач. Після завантаження виконується основне перемішування, далі вводяться рідкі добавки, а наприкінці суміш вивантажується у наступний технологічний вузол. Тривалість циклу повинна включати час завантаження, час перемішування та час вивантаження; її встановлюють дослідним шляхом за показником однорідності суміші.

Раціональна послідовність введення компонентів має суттєве значення. Спочатку у змішувач подають зернову і білкову основу, потім попередньо підготовлені мінеральні добавки, після часткового перемішування – мелясу, карбамід і жир. Такий порядок зменшує злипання дрібних частинок, покращує розподіл рідких компонентів по поверхні подрібненого зерна та запобігає утворенню грудок. Для підвищення якості процесу рідкі добавки бажано вводити не суцільним струменем, а через розподільний або розпилювальний пристрій.

Контроль якості змішування пропонується виконувати за ключовим компонентом, наприклад сіллю або крейдою. Проби відбирають з різних точок після завершення циклу і визначають відхилення вмісту контрольного компонента від середнього значення. Якщо неоднорідність перевищує допустимий рівень, коригують тривалість змішування, коефіцієнт заповнення камери, порядок введення компонентів або технічний стан робочих органів змішувача.

2.5. Механізація, автоматизація та контроль лінії

Рівень механізації проектованої лінії є достатнім для потокового виробництва комбікормів. Основні операції транспортування, дозування, подрібнення, змішування, введення добавок і відвантаження виконуються машинами. Ручна праця зводиться до контролю роботи, підготовки рецептури, очищення обладнання і технічного обслуговування. Для зменшення запиленості передбачаються закриті транспортери, аспірація дробарки, бункерів і місць пересипання, а також вентиляційне приміщення, виділене на плані цеху.

Автоматизація повинна охоплювати рецептурне дозування, контроль рівня в бункерах, блокування послідовності запуску агрегатів, контроль перевантаження електродвигунів, облік маси сировини і готової продукції. Запуск обладнання доцільно виконувати у зворотному напрямку до руху матеріалу: спочатку агрегати приймання продукту, потім транспортери,

дозатори і живильники. Зупинка виконується у прямому напрямку, щоб у шнеках, норіях і змішувачах не залишалася сировина.

Для операції змішування автоматичне керування має забезпечувати фіксовану масу порції, задану тривалість перемішування, правильний момент введення рідких добавок та відкривання вивантажувального затвора лише після завершення циклу. У разі перевантаження, відсутності сировини в бункері або несправності дозатора система повинна зупинити подачу і подати сигнал оператору. Це підвищує надійність лінії та зменшує ймовірність випуску продукції з відхиленням від рецептури.

Висновки по розділу

У розділі виконано проектне обґрунтування технологічної лінії виробництва комбікормів з урахуванням наданого плану цеху та технологічної схеми. Планувальне рішення передбачає поділ приміщення на зони дозування зерна, дозування добавок, гранулювання і подачі мінеральних компонентів, що забезпечує логічний рух матеріальних потоків і зручність обслуговування. Технологічна схема включає вузли очищення, подрібнення, дозування, змішування, введення рідких добавок, подачі мікро- і макрокомпонентів, гранулювання та відвантаження готової продукції.

Найвідповідальнішою операцією визначено змішування. Для підвищення її ефективності запропоновано порційний режим роботи, попереднє дозування компонентів, окреме введення рідких і мінеральних добавок та автоматичний контроль тривалості циклу. Прийняті рішення створюють передумови для отримання однорідного комбікорму, зменшення втрат сировини, підвищення рівня механізації та подальшої модернізації змішувального обладнання.

РОЗДІЛ 3
РОЗРОБКА ГВИНТОВОГО ЗМІШУВАЧА

3.1 Технологічний процес змішування сипких матеріалів сільськогосподарського призначення

Результативність перемішування сипких сільськогосподарських матеріалів визначається не одним окремим показником, а сукупністю факторів. Найбільше значення мають фізико-механічні властивості компонентів, тривалість обробки, конструктивне виконання змішувальної машини, ступінь завантаження робочих органів, швидкість руху частинок та умови їх взаємодії між собою. У процесі роботи частинки одного інгредієнта поступово входять у простір, зайнятий іншими інгредієнтами, і навпаки, тому кінцевий стан суміші залежить від співвідношення компонентів, їх гранулометричного складу, вологості, сипкості та характеру дії робочого органу.

Змішуванням називають механічний процес, унаслідок якого окремі компоненти розподіляються в загальному об’ємі матеріалу й утворюють суміш із заданим рівнем однорідності. Під час такої операції хімічний склад речовин та їх початковий стан не змінюються, адже змінюється лише просторове розміщення частинок. Теоретично ідеальна суміш мала б такий розподіл, за якого біля кожної частинки одного компонента знаходилися б частинки інших компонентів у співвідношеннях, передбачених агрозоотехнічними вимогами. На практиці такого повного порядку досягти майже неможливо, тому розміщення частинок розглядають як імовірнісну величину, а якість змішування оцінюють переважно статистичними методами.

Окреме місце серед способів змішування займають статичні змішувачі. Їх поширення пояснюється тим, що за відсутності активних рухомих органів вони можуть забезпечувати необхідний перерозподіл потоку при менших

експлуатаційних витратах. Порівняно з динамічними машинами такі пристрої мають низку техніко-економічних переваг:

– споживають менше енергії, оскільки вона витрачається переважно на створення перепаду тиску, що становить орієнтовно до чверті потужності, потрібної динамічним системам;

– потребують менших капітальних вкладень, які можуть бути на 10–50 % нижчими порівняно з традиційним динамічним змішувачем;

– майже не вимагають складного технічного обслуговування, бо не мають великої кількості рухомих елементів, а окремі вузли можна знімати для огляду;

– працюють у режимі послідовного проходження потоку, що полегшує визначення фактичної продуктивності.

Принцип дії статичних пристроїв полягає в багаторазовому поділі, зміні напрямку та повторному об’єднанні потоку матеріалу. Чим більше секцій проходить потік, тим інтенсивніше відбувається чергування шарів і тим швидше вирівнюється концентрація компонентів.

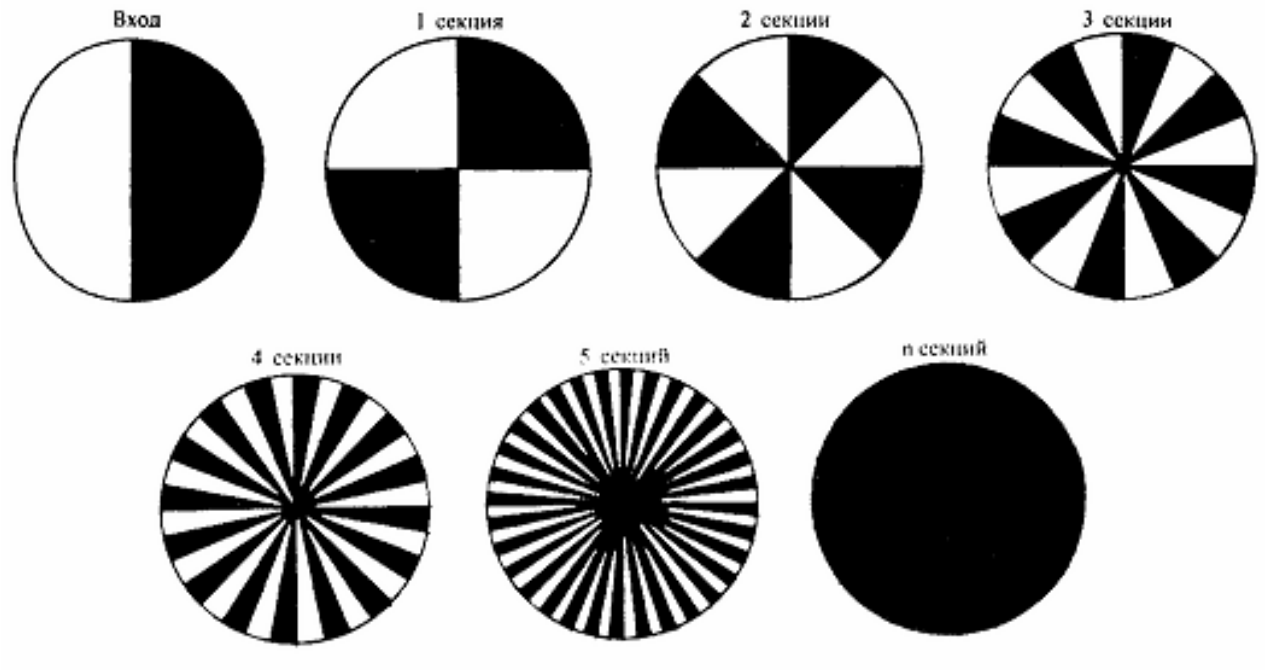


Рис. 3.1. Зміна ступеня змішування двох ламінарних потоків залежно від кількості секцій змішувача

З рисунка 3.1 видно, що кожна наступна секція збільшує кількість меж поділу між потоками. Для ламінарного руху це має важливе значення, оскільки механічне дроблення потоку прискорює вирівнювання складу. За турбулентного режиму необхідна однорідність може бути досягнута значно швидше, тому кількість секцій у такому випадку може бути меншою [5].

На продуктивність гвинтових транспортуючих і змішувальних машин істотно впливає крок шнека. Зі збільшенням кроку змінюється характер переміщення матеріалу, зростає частка пасивної зони, а для повільнохідних гвинтових конвеєрів її величина може зростати пропорційно квадрату кроку. Тому під час проектування змішувача потрібно не лише задати геометричні розміри гвинта, а й уточнити фактичний коефіцієнт наповнення та коефіцієнт продуктивності.

Коефіцієнт наповнення часто трактують як частину об’єму витка, зайняту матеріалом. Проте для шнекових машин таке пояснення не повністю відображає реальний процес. Шнек може транспортувати матеріал навіть тоді, коли його внутрішній об’єм заповнений не повністю, а фактична кількість матеріалу, що переміщується за один оберт, суттєво відрізняється від геометричного об’єму витка. Саме тому цей показник доцільно розглядати як коефіцієнт продуктивності, тобто як частку матеріалу, що реально просувається вздовж жолоба за один поворот гвинта.

Якщо прагнути до майже повного заповнення шнека, коефіцієнт продуктивності горизонтального транспортера може становити приблизно 0,65–0,75. У такому режимі повніше використовується транспортуюча здатність гвинта, однак водночас збільшується питома енергоємність, посилюється тертя, зношування робочих поверхонь і можливе подрібнення матеріалу. При зниженні коефіцієнта наповнення до типових значень 0,25–0,35 об’єм гвинта використовується лише частково, а потенційна продуктивність машини зменшується. Отже, завантажувальний пристрій повинен забезпечувати достатню подачу матеріалу в міжвитковий простір, бажано з коефіцієнтом наповнення не нижче 0,8–1,0.

У технологічному відношенні змішування сипких матеріалів можна подати як поєднання трьох основних явищ:

– конвективного перенесення, коли групи сусідніх частинок переміщуються з однієї ділянки суміші в іншу за рахунок зсуву та переміщення шарів;

– дифузійного перерозподілу, під час якого окремі частинки різних компонентів поступово проходять через межі їх попереднього розміщення;

– сегрегації, тобто розділення частинок за розмірами, формою, густиною або масою під дією сил тяжіння, інерції чи вібраційних впливів.

Конвективне й дифузійне перемішування підвищують однорідність суміші, тоді як сегрегація погіршує її якість. На початковому етапі основну роль відіграє конвективне переміщення великих мас матеріалу, завдяки чому інгредієнти розподіляються по всьому об’єму змішувача. Після цього починає переважати дифузійний механізм, який забезпечує вирівнювання складу на рівні мікрооб’ємів. Тривалість цього етапу залежить не тільки від параметрів машини, а й від властивостей компонентів: гранулометричного складу, густини, форми зернин, стану поверхні, вологості та сипкості. Чим ближчі ці характеристики, тим швидше формується однорідна суміш.

Зі збільшенням кількості компонентів процес ускладнюється, оскільки частка кожного інгредієнта в загальному об’ємі зменшується. Після досягнення певного рівня дифузійного змішування може початися зворотний процес – сегрегація. Тому надмірне перемішування не завжди корисне: після оптимальної тривалості воно може не покращувати, а погіршувати якість готового продукту.

Конвективне перемішування характерне для горизонтальних лопатевих і вертикальних шнекових змішувачів. Його інтенсивність визначається частотою обертання робочого органу та швидкістю взаємного обміну частинок. У протипотокових стрічкових змішувачах додатково реалізується механізм зсуву, коли зовнішні та внутрішні спіралі переміщують матеріал у протилежних напрямках. У зернистому шарі частинки одночасно зазнають

дії кількох різноспрямованих сил, а їх фактичний рух є результатом сумарної дії цих сил.

Якісний процес змішування повинен забезпечувати значне збільшення поверхні контакту між компонентами, рівномірне розміщення елементів цієї поверхні в усьому об’ємі суміші та однакове співвідношення інгредієнтів у будь-якій відібраній пробі. Найчастіше якість оцінюють за середньоквадратичним відхиленням вмісту основного або контрольного компонента у серії проб. Режими роботи змішувачів у більшості випадків установлюють експериментально, оскільки реальний процес суттєво залежить від конструкції машини та властивостей конкретного матеріалу. Конструкція робочого органу повинна запобігати виникненню застійних зон і небажаному розшаруванню суміші за гранулометричним складом.

3.2 Методика оцінки якості змішування сипких матеріалів сільськогосподарського виробництва

Однорідність суміші здебільшого визначають не за всіма компонентами одночасно, а за рівномірністю розподілу одного або двох індикаторних інгредієнтів. Такі компоненти вводять у невеликих кількостях, а їх наявність у пробах легко контролюють. На практиці для цього часто використовують сіль або крейду, оскільки вони відрізняються від основної маси матеріалу й можуть бути визначені простими методами аналізу.

Під час оцінювання якості багатокомпонентну суміш умовно спрощують до двокомпонентної системи: один компонент вважають ключовим, а всі інші об’єднують в умовний другий компонент. У такій системі випадковою величиною є концентрація ключового інгредієнта у мікрооб’ємі. Контрольний компонент має відповідати кільком вимогам: його вміст у пробі повинен визначатися відносно просто, кількість у суміші має бути невеликою, а його фізичні чи хімічні властивості повинні відрізнятися від властивостей інших інгредієнтів.

Гравіметричні методи першої групи базуються на розділенні проби на окремі складові з подальшим зважуванням кожної фракції. Якщо частинки мають розмір понад 2 мм, їх можна розділяти вручну за зовнішніми ознаками – кольором, формою або структурою. Для дрібнодисперсних матеріалів застосовують ситовий аналіз, магнітне розділення або повітряну сепарацію. Методи другої групи передбачають розчинення проби у відповідній рідині, після чого визначають масу речовини, що перейшла в розчин, і залишку.

Серед хімічних способів найбільш поширеним є титрування. Його суть полягає у вибірковій реакції контрольного компонента з реагентом-титрантом за схемою A + B = C + D, де A – ключовий компонент, B – титрант, C і D – продукти реакції. Частку контрольного компонента встановлюють за кількістю титранту, витраченого на реакцію. Окрім об’ємного способу, може застосовуватися кулонометричне титрування, коли реагент утворюється електролізом допоміжного розчину.

Кондуктометричні методи використовують залежність електропровідності водних розчинів від концентрації та природи розчиненої речовини. Електропровідність обернено пропорційна опору ділянки розчину між електродами, тому за зміною опору можна зробити висновок про вміст речовини. Потенціометричний контроль ґрунтується на вимірюванні електродних потенціалів у розчинах електролітів. У цьому випадку вимірна комірка працює як гальванічний елемент, а електрорушійна сила залежить від концентрації іонів у досліджуваному розчині.

Полярографічний метод також пов’язаний з процесами електролізу. На початку електролізу іони підходять до електрода, втрачають заряд і утворюють струм. При збільшенні напруги виникає граничний струм, величина якого залежить не від напруги, а від швидкості дифузії іонів у розчині. Оскільки дифузійний струм визначається концентрацією іонів, його можна використати для кількісного аналізу.

До оптичних методів аналізу належать колориметричний, рефрактометричний і поляриметричний. Колориметрія встановлює

концентрацію за інтенсивністю поглинання світла розчином. Рефрактометрія використовує залежність показника заломлення від концентрації розчиненої речовини. Поляриметрія базується на здатності окремих оптично активних речовин, зокрема глюкози або сахарози, повертати площину поляризації світла; кут такого повороту пропорційний концентрації речовини.

Радіометричні способи передбачають вимірювання інтенсивності випромінювання, яке проходить крізь пробу або випромінюється речовинами, введеними в суміш. Одним із різновидів є рентгеноскопічний метод, що використовує здатність матеріалів поглинати рентгенівське випромінювання. Проте застосування короткоживучих радіоактивних індикаторів не завжди забезпечує достатню точність оцінювання якості кормових сумішей.

Для підвищення точності пропонується добирати такі індикатори, тривалість розподілу яких у зоні реєстрації збігається з часом гомогенізації суміші. Вибір індикатора здійснюють шляхом порівняння кривих імовірного розподілу співвідношення компонентів у різних об’ємах із характером розподілу індикаторної речовини [6].

Практична реалізація такого підходу включає кілька послідовних дій. Спочатку компоненти завантажують у змішувач і в процесі роботи відбирають проби заданої маси. За результатами кількісного хімічного аналізу будують криві ймовірного розподілу концентрації компонентів. Потім у змішувач повторно завантажують матеріали у вихідному співвідношенні, вводять один із можливих індикаторів і реєструють коливання інтенсивності випромінювання. Момент стабілізації флуктуацій відповідає встановленню сталої концентрації індикатора в зоні дії детектора. Після порівняння з тривалістю досягнення необхідної однорідності вибирають індикатор, придатний для подальшого контролю.

Для визначення ступеня однорідності часто використовують флуоресцеїн натрію (уранін) або родамін [7]. Індикатор готують шляхом розчинення 10 % ураніну чи родаміну в клейовій масі, висушування,

подрібнення й розсіювання на фракції розміром 180–240 мкм. Відібрану фракцію дозують у кількості 20–25 г на тонну комбікормової суміші. Спочатку індикатор змішують із тим компонентом, рівномірність якого потрібно контролювати, у малому змішувачі, а потім – у виробничому змішувачі до рівномірного розподілу в добавці. Через певні проміжки часу відбирають 30–40 проб масою 30–50 г, із яких формують наважки 2–3 г для аналізу. Кількість частинок індикатора визначають після рівномірного розсипання продукту на поверхні води в чашці Петрі, а за отриманими результатами обчислюють середнє значення та середньоквадратичне відхилення.

Поряд із цим поширений хімічний метод оцінювання [8]. Із змішувача через однакові інтервали часу відбирають щонайменше 10–15 проб, після чого хімічним аналізом визначають концентрацію ключового компонента, наприклад солі. Для практичної оцінки приймають такі межі: якщо ступінь неоднорідності $\nu c < 3$ %, суміш вважається відмінною; при $3\ \% < \nu c < 7\ \%$ – доброю; при $7\ \% < \nu c < 15\ \%$ – задовільною; якщо $\nu c > 15$ %, якість змішування визнають незадовільною [9].

3.3 Огляд і аналіз існуючих конструкцій змішувачів сипких матеріалів

Для змішування сипких матеріалів створено значну кількість машин різних конструкцій. Таке різноманіття пояснюється неоднаковими вимогами до виробничих операцій, різними властивостями матеріалів і відсутністю універсальної розрахункової методики, яка однаково точно описувала б роботу всіх типів змішувачів. Тому на практиці конструктивні параметри часто уточнюють за експериментальними даними.

Змішувачі класифікують за кількома ознаками. За характером роботи вони бувають періодичної та безперервної дії; за способом установлення – стаціонарні або мобільні; за положенням робочих органів – горизонтальні, похилі й вертикальні. За напрямком переміщення матеріалу розрізняють

машини паралельнопотокового та протипотокового перемішування, за механізмом процесу – конвективні, дифузійні та конвективно-дифузійні. За способом впливу на матеріал змішувачі можуть бути гравітаційними, відцентровими або пневматичними. Крім того, їх поділяють за конструкцією корпуса та робочого органу: з обертовим корпусом, з нерухомим корпусом і валом, що обертається, з лопатевими, шнековими, стрічковими або комбінованими робочими органами.

Одна й та сама машина може належати одразу до кількох груп, оскільки окремі ознаки часто поєднуються. Наприклад, горизонтальний шнековий змішувач безперервної дії одночасно характеризується за положенням вала, режимом роботи, способом переміщення матеріалу та конструкцією робочого органу. Тому при аналізі конструкцій доцільно виділяти головну ознаку, яка найбільше впливає на технологічний результат.

Найпоширенішими серед обладнання для сипких матеріалів є барабанні змішувачі. Вони забезпечують достатньо якісне перемішування за помірних енерговитрат і прийнятної продуктивності. Разом з тим такі машини складніше механізувати під час завантаження та розвантаження, а також важче забезпечити високу точність дозування компонентів. За формою корпуса барабанні змішувачі поділяють на циліндричні, конічні та кутові; за типом внутрішнього органу – на лопатеві, шнекові й камерні.

Лопатеві змішувачі відрізняються кількістю, формою та способом установлення лопатей. Вони інтенсивно переміщують матеріал, але потребують значних витрат енергії на перекидання шарів суміші. Крім того, при роботі таких машин можливе небажане подрібнення або пошкодження окремих компонентів.

Вібраційні змішувачі застосовують переважно тоді, коли потрібно змішувати матеріали у вологому стані, наприклад будівельні розчини або аналогічні за властивостями суміші. Їх поділяють на циркуляційні та активаційні. Недоліками є підвищені вимоги до надійності вібраційних з’єднань і складніша конструкція приводу.

Шнекові змішувачі мають широке використання завдяки простоті та можливості безперервної роботи. Вони можуть бути одношнековими, багатошнековими, однопотоковими або протипотоковими, з суцільною спіраллю чи переривчастою стрічкою. Їх перевагою є поєднання кількох операцій в одній машині: подачі, транспортування, перемішування, дозування та вивантаження. Саме ця універсальність робить шнекові конструкції доцільними для сільськогосподарського виробництва.

Окрему групу становлять комбіновані змішувачі, у яких поєднуються ознаки кількох типів машин. До них належать барабанно-шнекові, барабанно-лопатеві, шнеково-лопатеві та інші варіанти. Такі конструкції створюють для посилення переваг окремих робочих органів і зменшення їх недоліків.



Рис. 3.2. Узагальнена класифікація змішувачів сипких матеріалів

Ефективність змішування значною мірою залежить від форми робочого органу. За однакових енерговитрат кращий результат часто отримують у машинах із більшим кроком гвинтової лінії, оскільки збільшення кута її підйому викликає пульсації швидкостей окремих порцій матеріалу й посилює взаємне переміщення частинок. Водночас ступінь заповнення повинен залишатися оптимальним: для барабанних змішувачів він орієнтовно

становить 0,30–0,35, для горизонтальних одно- і двовальних – 0,40–0,60, для вертикально-шнекових – 0,80–0,90 [10].

За коловою швидкістю робочих органів змішувачі поділяють на зсувні, конвективні та інтенсивні. До першої групи належать стрічкові й планетарні шнекові машини зі швидкістю близько 1 м/с. Конвективні змішувачі працюють у діапазоні 2–6 м/с, а інтенсивні лопатеві машини можуть досягати 15–30 м/с. Зі зростанням швидкості підвищується інтенсивність процесу, але водночас збільшуються енерговитрати та ризик пошкодження матеріалу.

У сільському господарстві важливим є поєднання кількох технологічних операцій в одному агрегаті. Для приготування запарених кормів використовують змішувачі-запарники С2, С7, С12 [11, 12], а для подрібнення та перемішування соковитих кормів – подрібнювачі-змішувачі ИСК-3 [13, 14]. Для сипких матеріалів прикладом є змішувач-завантажувач СЗУ-20, який дає змогу одночасно змішувати до трьох компонентів і завантажувати готову суміш у транспортні засоби або розкидачі. Його продуктивність перевищує 20 т/год.

Змішувачі безперервної дії за характером переміщення матеріалу можна умовно поділити на три групи. До першої належать машини, у яких компоненти рухаються вздовж осі без істотного відносного поздовжнього переміщення частинок. До другої – змішувачі, де матеріал переміщується вздовж осі, але різні частинки мають відносне зміщення, що посилюється кутом установлення лопатей або спіралей. Третя група охоплює машини з хаотичним переміщенням компонентів у робочому об’ємі. Такі змішувачі зазвичай працюють у поєднанні з дозаторами безперервної дії, а якість суміші залежить не лише від конструкції змішувача, а й від здатності системи згладжувати пульсації подачі компонентів.

3.3.1 Обґрунтування перспективних конструкцій змішувачів сипких матеріалів

Для приготування багатокомпонентних сипких сумішей, до яких не висувають надмірно жорстких вимог щодо однорідності, доцільно

застосовувати малогабаритні гвинтові змішувачі. Один із можливих варіантів такої конструкції подано на рисунку 3.3. Машина має раму, на якій змонтовано електродвигун із приводними елементами, нерухомий циліндричний корпус, завантажувальний бункер, робочий вал зі спіралями та вивантажувальне вікно.

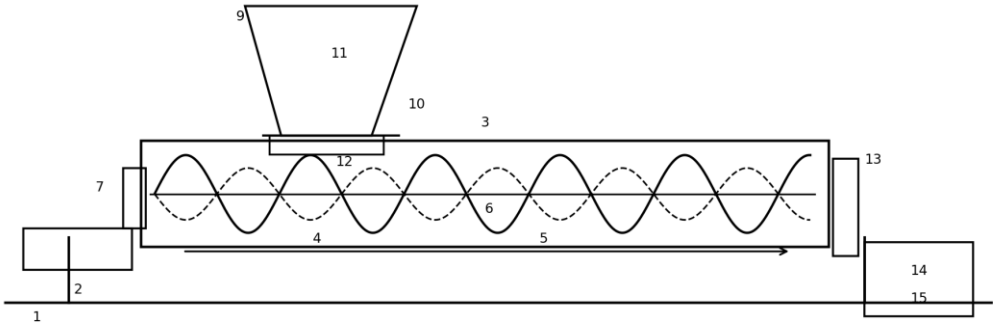


Рис. 3.3. Схема малогабаритного гвинтового змішувача.

Усередині корпуса розміщено двоспіральний робочий орган із різноспрямованими гвинтовими спіралями. Одна спіраль має більший крок і ширину, тому вона задає основний напрямок осьового переміщення матеріалу. Друга спіраль створює протидію руху, посилює перемішування та збільшує взаємний зсув частинок. Обидві спіралі закріплені на валу за допомогою ребер жорсткості. На кінці вала встановлено приводну зірочку із запобіжною муфтою, а передавання обертання від електродвигуна здійснюється ланцюговою передачею.

Завантажувальний бункер поділений перегородками на відсіки. Кількість відсіків відповідає кількості компонентів, що подаються в змішувач. Подача регулюється шибером, а матеріал через вікно надходить у робочу зону. Після перемішування готова суміш переміщується до вихідного вікна, яке також перекривається заслінкою, і надходить у тару або приймальний пристрій.

Технологічний процес починається з підготовки змішувача та завантаження інгредієнтів у відповідні відсіки бункера. Після ввімкнення приводу вал починає обертатися, а відкриття шибера забезпечує подачу компонентів у робочу камеру. Інтенсивність перемішування визначається

кроком, шириною і напрямком навивки спіралей, а також кутом нахилу корпуса відносно горизонту. Спіраль більшого кроку забезпечує переміщення та вивантаження матеріалу, а спіраль меншого кроку створює протипотік і підсилює перемішування.

Перевагами такої конструкції є простота виготовлення, висока надійність, можливість отримання достатньої продуктивності та прийнятної якості змішування. Оскільки сипкі сільськогосподарські матеріали мають різний склад і фізичні властивості, важливим критерієм вибору змішувального обладнання стають енергетичні показники. Тому для перспективних конструкцій необхідно обґрунтовувати не лише технологічні параметри, а й витрати потужності на робочий процес.

Стрічково-лопатевий змішувач із перекидним механізмом, схема якого показана на рисунку 3.4, поєднує транспортування матеріалу гвинтовими спіралями та додаткове перемішування в зоні лопатевого органу. Завантажувальна частина виконана у вигляді рукава, у якому обертається спіраль, закріплена на валу. На цьому ж валу встановлена крильчатка, розміщена в корпусі. До корпуса приєднано трубопровід прямокутного перерізу, що з’єднує робочу зону з розвантажувальним рукавом.

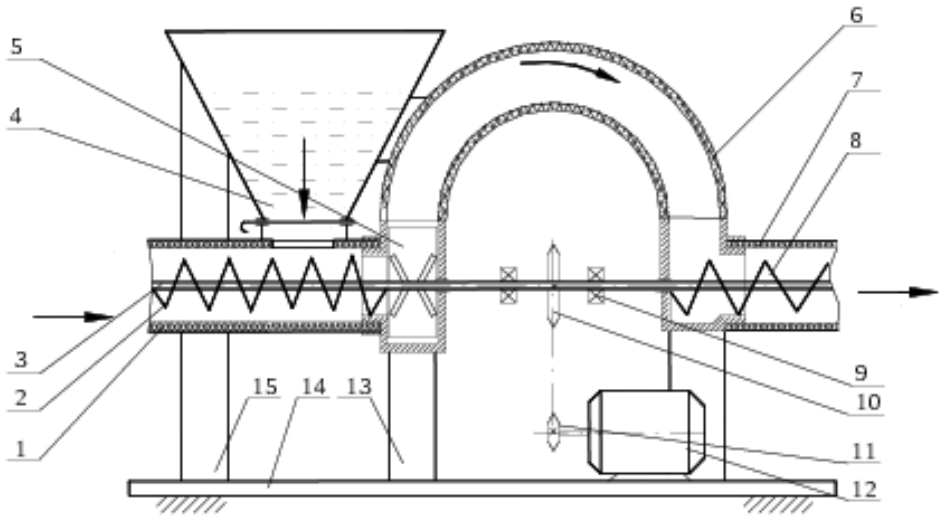


Рис. 3.4. Конструктивна схема стрічково-лопатевого змішувача.

Матеріали з бункера надходять у гнучкий кожух завантажувальної частини. Після ввімкнення приводу вал зі спіралями починає обертатися, і сипкі компоненти подаються до крильчатки. У цій зоні вони інтенсивно перекидаються та перемішуються, після чого через трубопровід переміщуються до вихідної ділянки. У розвантажувальному рукаві спіральна стрічка додатково перемішує суміш і спрямовує її в приймальну місткість.

Для дослідження процесу змішування також може застосовуватися гвинтовий стрічковий змішувач, схема якого наведена на рисунку 3.5. Його особливістю є похиле розміщення робочого органу та використання стрічкової спіралі, яка одночасно транспортує й перемішує матеріал. Така конструкція дозволяє змінювати час перебування частинок у робочій зоні за рахунок вибору довжини змішувальної ділянки та кроку спіралі.

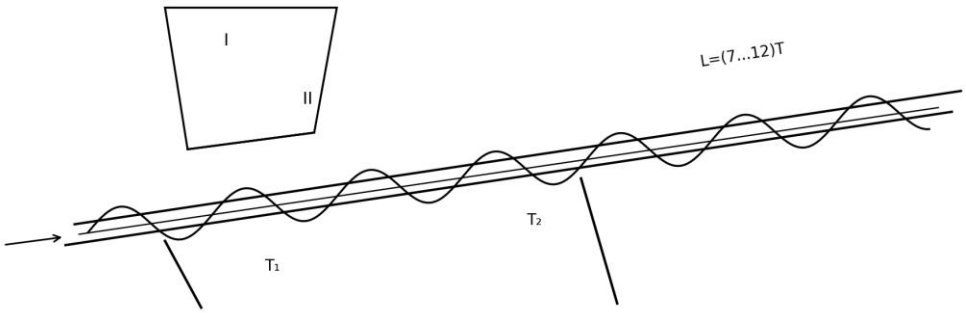


Рис. 3.5. Схема гвинтового стрічкового змішувача

Компонувально-конструктивна схема стрічково-лопатевого змішувача-транспортера з центральним приводом подана на рисунку 3.6. У цій машині робочий вал умовно поділено на кілька секцій, що спрощує монтаж і обслуговування. Завантажувальний бункер має окремі відсіки для компонентів, а регулювання їх подачі здійснюється шиберами або заслінками. У центральній частині встановлено привод і перекидний лопатевий механізм, після якого суміш надходить до розвантажувальної секції зі спіраллю.

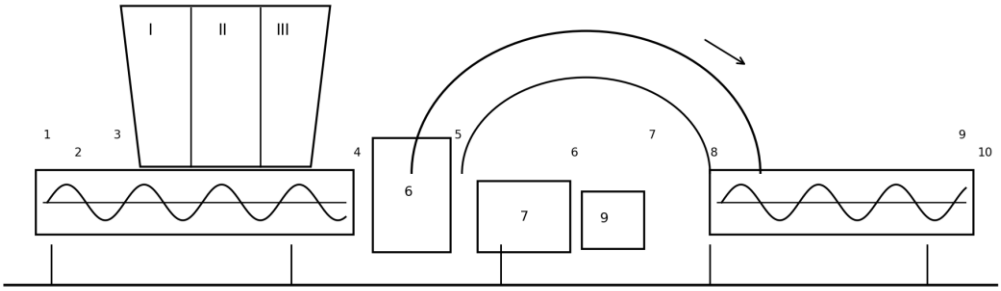


Рис. 3.6. Компонувальна схема гвинтового стрічково-лопатевого змішувача-транспортера з центральним приводом.

Робота такої машини відбувається у послідовному режимі. Електродвигун приводить у рух вал, на якому закріплені завантажувальна та розвантажувальна спіралі. Матеріали з бункера у заданих співвідношеннях надходять на завантажувальну стрічку, переміщуються до зони крильчатки, де додатково змішуються, а потім через тороподібний трубопровід переходять до розвантажувального бункера. У кінцевій секції шнек остаточно перемішує матеріал і вивантажує його в тару.

3.4 Опис конструкції розроблюваного змішувача

Для змішування багатокомпонентних сипких сільськогосподарських матеріалів у роботі прийнято гвинтовий змішувач, схема якого наведена на рисунку 3.7. Конструкція орієнтована на виконання процесів подачі, переміщення, перемішування та вивантаження матеріалу в одному технологічному агрегаті.

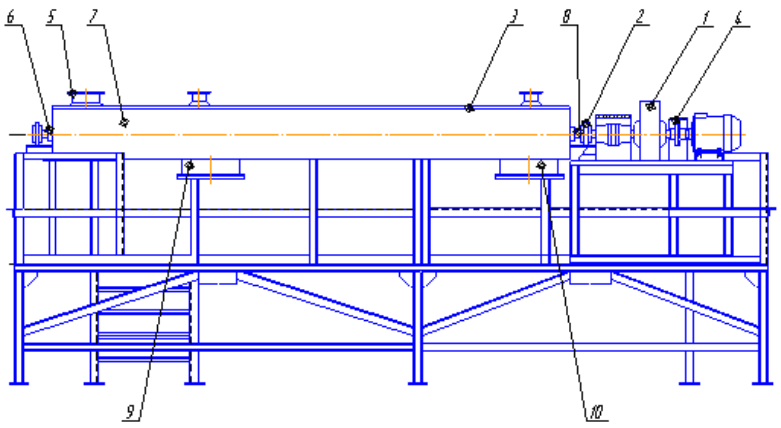


Рис. 3.7. Схема розроблюваного гвинтового змішувача.

Основними елементами змішувача є нерухомий жолоб із напівциліндричним днищем, вал із закріпленим на ньому гвинтом, приводний механізм, муфти, підшипникові опори, кришка, завантажувальний люк і розвантажувальні воронки. Вал установлено в кінцевих підшипниках, закріплених на поперечних планках жолоба. В одній із опор передбачено упорний підшипник, який сприймає осьові зусилля, що виникають під час роботи гвинта.

Жолоб закривається кришкою, завдяки чому зменшується запилення та підвищується герметичність робочої зони. Сипкий матеріал подається через люк у кришці, після чого гвинт переміщує його вздовж жолоба до проміжної або кінцевої розвантажувальної воронки. Вивантаження регулюється шиберними затворами. Жолоб збирається з окремих секцій довжиною 2 і 4 м, виготовлених із листової сталі товщиною 3–6 мм.

За кількістю заходів гвинти можуть бути одно-, дво- або тризаходними, з правим чи лівим напрямком навивки. Багатозаходні гвинти мають більшу пропускну здатність порівняно з однозаходними, однак їх виготовлення складніше. Напрямок руху матеріалу залежить від поєднання напрямку обертання вала та напрямку навивки витків.

Гвинт складається з окремих секцій довжиною 1,5–3 м. Для нереверсивного змішувача упорний підшипник встановлюють з одного боку, а для реверсивного – з обох боків. Стики секцій жолоба та стики секцій гвинта не повинні збігатися, оскільки це може погіршити міцність і надійність вузла. У прийнятій конструкції діаметр гвинта становить 500 мм. Привод має редукторну схему і складається з електродвигуна, редуктора та муфт.

Завантаження матеріалу здійснюється через люк у кришці, а розвантаження може відбуватися в потрібній точці по довжині змішувача через шиберний затвор. Редуктор з’єднується з валом гвинта зрівняльною муфтою, а вал електродвигуна з редуктором – пружною муфтою. Таке

компонування зменшує вплив можливих перекосів і ударних навантажень на привод.

До переваг розроблюваного гвинтового змішувача належать проста будова, зручність обслуговування, надійність, герметичність робочого простору, компактність і можливість організувати розвантаження в різних місцях по довжині жолоба. Основними недоліками є підвищені енерговитрати через тертя матеріалу об жолоб і поверхні гвинта, а також відносно обмежена продуктивність порівняно з деякими іншими типами змішувального обладнання.

3.5 Розрахунок основних елементів змішувача

3.5.1 Розрахунок основних параметрів

Розрахунок починаємо з вибору вихідних параметрів. Для матеріалу приймаємо питому вагу $\gamma_в = 6$ кН/м³. Оскільки вантаж не належить до важких, коефіцієнт наповнення жолоба беремо $\psi = 0{,}4$. Крок гвинта визначаємо за співвідношенням $S = 0{,}8D$. Зовнішній діаметр гвинта приймаємо $D = 0{,}5$ м, тоді:

$$S = 0{,}8 \cdot D = 0{,}8 \cdot 0{,}5 = 0{,}4 \text{ м}.$$

Отримані значення діаметра D і кроку S відповідають вимогам ДСТУ 2672-94. Найбільшу допустиму частоту обертання гвинта за хвилину визначаємо за коефіцієнтом A = 65:

$$n_{max} = A / \sqrt{D}, \tag{3.1}$$

$$n_{max} = 65 / \sqrt{0{,}5} = 92 \text{ хв}^{-1}.$$

Для подальших розрахунків приймаємо частоту обертання гвинта $n = 90$ хв$^{-1}$, що не перевищує допустимого значення за ДСТУ 2672-94.

Продуктивність змішувача визначаємо за формулою, у якій коефіцієнт C приймаємо рівним 0,8:

$$Q_в = 47 \cdot D^2 \cdot S \cdot n \cdot \psi \cdot \gamma \cdot C, \tag{3.2}$$

$$Q_в = 47 \cdot 0{,}5^2 \cdot 0{,}4 \cdot 90 \cdot 0{,}4 \cdot 6 \cdot 0{,}8 = 812 \text{ кН/год}.$$

Розрахована продуктивність відповідає заданому значенню $Q_в$ = 800 кН/год, тому прийняті геометричні та кінематичні параметри можна вважати придатними.

Швидкість переміщення матеріалу вздовж жолоба визначається залежністю:

$$v = S \cdot n / 60, \quad (3.3)$$

$$v = 0{,}4 \cdot 90 / 60 = 0{,}6 \text{ м/с}.$$

Погонне навантаження від матеріалу знаходимо за формулою:

$$q_в = Q_в / (3{,}6 \cdot v), \quad (3.4)$$

$$q_в = 800 / (3{,}6 \cdot 0{,}6) = 370 \text{ Н/м}.$$

Потужність на валу гвинта визначаємо з урахуванням прийнятого розрахункового коефіцієнта ω = 1,2:

$$N_0 = \omega \cdot v / 1020, \quad (3.5)$$

$$N_0 = 1{,}2 \cdot 0{,}6 / 1020 = 7 \text{ кВт}.$$

Для приводу приймаємо схему, що складається з електродвигуна, редуктора та з'єднувальних муфт. Коефіцієнт корисної дії редуктора становить $\eta_р$ = 0,96, коефіцієнт корисної дії муфт $\eta_м$ = 0,99, коефіцієнт корисної дії зубчастої передачі ηз = 0,98. Загальний коефіцієнт корисної дії привода дорівнює:

$$\eta = \eta_р \cdot \eta_м \cdot \eta_з, \quad (3.6)$$

$$\eta = 0{,}96 \cdot 0{,}99 \cdot 0{,}98 = 0{,}93.$$

Установочну потужність електродвигуна визначаємо за формулою:

$$N = N_0 / \eta, \quad (3.7)$$

$$N = 7 / 0{,}93 = 7{,}5 \text{ кВт}.$$

За отриманим значенням вибираємо електродвигун типу АО2-5206 потужністю 7,5 кВт із частотою обертання n = 965 хв$^{-1}$.

Передаточне число приводу становить:

$$U_п = n / n_в, \quad (3.8)$$

$$U_п = 965 / 70 = 13{,}78.$$

Для приводу приймаємо циліндричний редуктор ЦДН-40 із сумарною міжцентровою відстанню A = 400 мм. Передаточне число зубчастої передачі приймається U = 36.

Крутний момент, який передається електродвигуном на вал гвинта, визначаємо за формулою:

$$M_0 = 9750 \cdot N_0 / n_0, \quad (3.9)$$

$$M_0 = 9750 \cdot 7 / 70 = 975 \text{ Н·м}.$$

Поздовжню силу, що діє на гвинт, визначаємо через крутний момент і розрахунковий радіус:

$$P = M_0 / r. \quad (3.10)$$

Розрахунковий показник r приймаємо за залежністю:

$$r = 0{,}8 \cdot D / 2, \quad (3.11)$$

$$r = 0{,}8 \cdot 0{,}5 / 2 = 0{,}2 \text{ м}.$$

Тоді поздовжня сила дорівнює:

$$P = 975 / 0{,}2 = 4875 \text{ Н}.$$

3.5.2 Розрахунок шпонкових з’єднань

Для вихідного кінця вала діаметром d = 70 мм за стандартними таблицями приймаємо шпонку перерізом 20 × 12 мм. Довжину шпонки вибираємо зі стандартного ряду так, щоб вона була меншою від довжини посадкового місця на 3–10 мм. Приймаємо l = 70 мм.

Допустимі напруження зминання для таких з’єднань знаходяться в межах σзм = 80–150 МПа. Менші значення приймають для чавунних маточин, а більші – для сталевих деталей. Умова міцності шпонкового з’єднання має вигляд:

$$\sigma_{зм} = 2T / (d \cdot t_1 \cdot l) \le [\sigma_{зм}], \quad (3.12)$$

де d = 70 мм; t_1 = 3,5 мм; l = 70 мм. Підставивши значення, одержуємо:

$$\sigma_{зм} = 2 \cdot 665{,}1 / (0{,}07 \cdot 0{,}0035 \cdot 0{,}07) = 77 \text{ МПа} < [\sigma_{зм}] = 150 \text{ МПа}.$$

Оскільки умова міцності виконується, приймаємо шпонку 20×12×70 за СОУ НАЕК 240:2021

3.5.3 Вибір підшипників

Підшипники вибираємо за умовами сприймання радіальних і осьових навантажень, які виникають під час роботи гвинта. Розрахункова вантажопідйомність повинна перевищувати діюче навантаження з урахуванням запасу на нерівномірність подачі матеріалу та можливі короткочасні перевантаження.

За ГОСТ 5720-75 для прийнятого вала вибираємо кульковий радіальний дворядний підшипник легкої серії 1214 з динамічною вантажопідйомністю C_r = 27 кН. Такий підшипник забезпечує необхідну працездатність вузла при заданих режимах обертання і навантаження.

3.5.4 Вибір муфти.

Муфти добирають за діаметрами кінців валів, які з’єднуються, і за розрахунковим крутним моментом. При виборі враховують коефіцієнт режиму завантаження $K_р$ = 1,5, момент на валу та допустимий максимальний момент для конкретного типорозміру муфти. Використання пружної муфти дає змогу частково компенсувати незначні перекоси валів і зменшити ударні навантаження на привод.

$$T_{розр} = K_р \cdot T_1.$$

За результатами перевірки приймаємо пружну втулково-пальцеву муфту 1000-50 за DIN ISO 15:2022-10, яка відповідає умовам передавання моменту й діаметрам з’єднуваних валів.

Висновки по розділу

У третьому розділі розглянуто технологічну сутність процесу змішування сипких сільськогосподарських матеріалів, проаналізовано основні механізми формування однорідної суміші та фактори, які впливають на її якість. Показано, що результат перемішування залежить від властивостей компонентів, конструкції робочого органу, коефіцієнта наповнення, тривалості обробки та режиму руху матеріалу.

Наведено методи оцінювання якості змішування, зокрема гравіметричні, хімічні, електрохімічні, оптичні та радіометричні способи. Окрему увагу приділено використанню індикаторних компонентів, за розподілом яких можна визначити ступінь однорідності суміші.

Проаналізовано поширені конструкції змішувачів сипких матеріалів: барабанні, лопатеві, вібраційні, шнекові та комбіновані. Обґрунтовано доцільність застосування гвинтового змішувача для виконання операцій переміщення і перемішування матеріалу в одному агрегаті. Подано опис розроблюваної конструкції, визначено її основні переваги та недоліки.

Виконано розрахунок основних параметрів змішувача: діаметра й кроку гвинта, частоти обертання, продуктивності, швидкості переміщення матеріалу, погонного навантаження, потужності приводу, передаточного числа, крутного моменту та поздовжньої сили. Також підібрано шпонкове з’єднання, підшипники та муфту. Отримані результати підтверджують працездатність прийнятої конструкції та можливість її використання для змішування сипких сільськогосподарських матеріалів.

РОЗДІЛ 4
ОХОРОНА ПРАЦІ

Проектування технологічної лінії виробництва комбікормів повинно виконуватися не тільки з урахуванням продуктивності обладнання, якості готової суміші та енергоефективності, а й з позицій безпечної організації праці. Комбікормове виробництво належить до процесів, у яких одночасно діють механічні, електричні, пилові, шумові, пожежні та організаційні небезпечні фактори. Особливу увагу необхідно приділяти дільницям подрібнення, дозування, транспортування, змішування, гранулювання та введення рідких компонентів, оскільки саме там працівник контактує з рухомими органами машин, сипкими матеріалами, пилом, пневмотранспортом, нагрітими поверхнями та електроприводами.

Метою цього розділу є аналіз умов праці у запроектованому комбікормовому цеху, визначення основних небезпечних і шкідливих виробничих факторів, а також обґрунтування заходів безпеки для технологічної лінії, у якій детально розробляється операція змішування. Під час підготовки розділу враховано планувальне рішення цеху та технологічну схему лінії, зображені на наданих кресленнях. Це дає змогу пов’язати вимоги охорони праці з конкретним розміщенням обладнання, маршрутами переміщення сировини, зонами обслуговування машин та місцями можливого виникнення аварійних ситуацій.

4.1 Загальна характеристика виробничого приміщення та технологічного процесу

За планом цех має багаторівневе компонування з розміщенням основних технологічних дільниць у межах одного виробничого корпусу.

Умовними позначеннями на плані виділено коридор, сходові марші, вентиляційне приміщення, цех дозування зерна, цех дозування добавок, цех гранулювання та цех подачі мінеральних добавок. Таке зонування є

раціональним, оскільки дозволяє відокремити основні потоки сировини, допоміжні проходи, вентиляційне обладнання і місця з підвищеним пиловиділенням. Водночас багаторівневе розміщення потребує підвищеної уваги до безпеки обслуговування сходів, майданчиків, завантажувальних люків, норій, шнеків і бункерів.

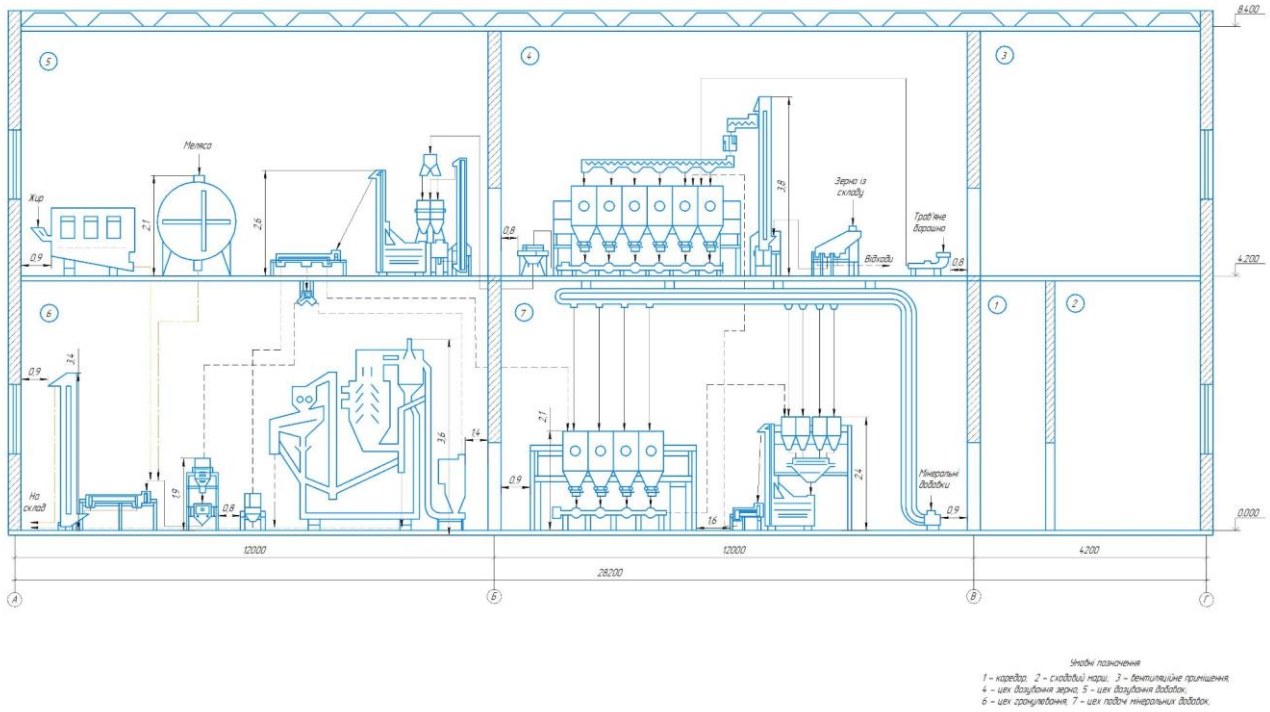


Рис. 4.1. План комбікормового цеху з розміщенням основних виробничих дільниць.

Сировина у вигляді зерна, трав’яного борошна, мінеральних добавок, жиру, меляси та інших компонентів надходить до відповідних зон приймання і дозування. На схемі цеху видно, що зернова частина пов’язана із цехом дозування зерна та транспортними пристроями, а мінеральні добавки подаються окремим маршрутом. Рідкі компоненти, зокрема жир і меляса, мають власні вузли введення, що зменшує ризик випадкового змішування несумісних компонентів та полегшує контроль дозування. Однак такі дільниці повинні обладнуватися герметичними трубопроводами, запірною арматурою, піддонами для локалізації можливих протікань і зручними проходами для обслуговування.

Технологічна схема лінії включає блоки введення меляси і карбаміду, блок введення жиру, вивантажувальні та розподільні шнеки, змішувачі, проміжні бункери, розподільники, автоматичні ваги, дробарку, магнітну колонку, пневможивильник, вібрсепаратор, норії, блоки бункерів розмелювально-змішувального відділення, гравітаційні конвеєри, блоки бункерів мікрокомпонентів і дозувальні пристрої. Наявність автоматичних ваг, розподільників і бункерних блоків дає змогу зменшити ручну працю, але створює потребу в надійному блокуванні механізмів, захисті від випадкового пуску та організації безпечного доступу до зон очищення і ремонту.

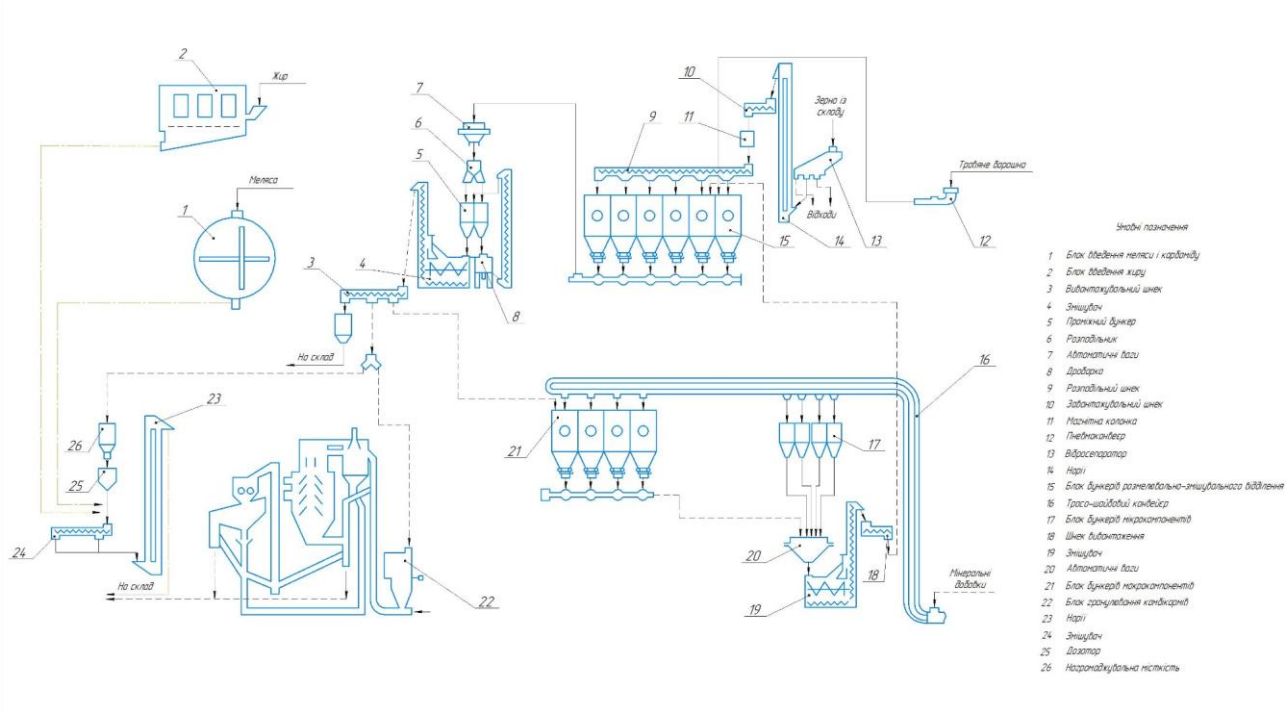


Рис. 4.2. Технологічна схема лінії виробництва комбікормів

4.2 Аналіз небезпечних і шкідливих виробничих факторів

Основними небезпечними факторами у запроектованому цеху є рухомі частини машин, обертові вали, шнеки, муфти, ремінні або ланцюгові передачі, робочі органи змішувачів і дробарок, а також падаючі предмети та матеріал під час завантаження бункерів. До шкідливих факторів належать пил зернового і мінерального походження, підвищений шум у зоні дробарки, вібрація на ділянках подрібнення та гранулювання, можливе забруднення

повітря парами або аерозолями рідких добавок, недостатня освітленість у місцях огляду та незручні робочі пози при обслуговуванні верхніх рівнів обладнання.

Пил є одним з найбільш характерних факторів комбікормового виробництва. Він утворюється під час приймання зерна, роботи вібрсепаратора, дробарки, норій, шнеків, дозаторів і змішувачів. Накопичення пилу погіршує санітарний стан робочої зони, збільшує навантаження на органи дихання працівників, забруднює електрообладнання і може створювати передумови до пожежонебезпечних ситуацій. Тому у цеху необхідно передбачити місцеві відсмоктувачі у точках пересипання, герметизацію кожухів транспортних механізмів, аспірацію бункерів, регулярне прибирання сухим вакуумним способом або промисловими пилососами, а також контроль справності вентиляційного приміщення, позначеного на плані як окрема зона.

Окремий ризик пов’язаний із багаторівневим плануванням. На плані передбачено сходові марші, верхні площадки та обладнання, розміщене на позначках 4,200 і 8,400 м. Під час огляду норій, шнеків, бункерів і розподільників працівник може виконувати роботи на висоті або біля відкритих люків. Тому площадки обслуговування мають бути обладнані огородженнями, бортовими елементами, неслизьким настилом і достатнім освітленням. Люки, отвори та місця завантаження потрібно закривати кришками або решітками, які витримують експлуатаційні навантаження та виключають потрапляння людини в небезпечну зону.

Таблиця 4.1 – Основні небезпечні фактори та заходи безпеки для дільниць комбікормової лінії

Дільниця або обладнання	Основні небезпеки	Заходи безпеки
Дробарка, вібрсепаратор, норії	Пил, шум, вібрація, рухомі робочі органи, можливе викидання частинок	Герметичні кожухи, аспірація, магнітний захист, шумозахист, блокування люків, огляд тільки після зупинки
Шнеки, пневможивильник, гравітаційні конвеєри	Затягування одягу, защемлення, засмічення трубопроводів, раптовий пуск	Огородження приводів, аварійні кнопки, заборона очищення під час роботи, попереджувальні написи, система блокування
Бункери дозування зерна, добавок і мікрокомпонентів	Падіння з висоти, зависання матеріалу, пиловиділення, помилки дозування	Майданчики з поручнями, датчики рівня, заборона ручного проштовхування, аспірація, автоматичний контроль маси
Змішувачі та вузол введення рідких компонентів	Контакт з обертовими органами, витік жиру або меляси, ковзання підлоги, нерівномірне навантаження приводу	Закритий корпус, блокування кришок, піддони, регулярне очищення, справні ущільнення, контроль навантаження двигуна
Цех гранулювання	Нагріті поверхні, підвищений шум, пил, ризик опіків під час обслуговування	Теплоізоляція, вентиляція, огородження, інструктаж, рукавиці, окуляри, аварійне вимкнення

4.3 Вимоги безпеки до технологічного обладнання лінії

Усі машини, що входять до технологічної лінії, повинні мати справні огородження рухомих і обертових частин. Це стосується приводів шнеків, муфт, ланцюгових передач, валів змішувачів, дробарки, норій та дозувальних пристроїв. Огородження повинні бути закріплені так, щоб їх неможливо було випадково зняти під час роботи, а відкривання технологічних кришок має супроводжуватися зупинкою робочих органів або блокуванням пуску. Особливо важливо забезпечити безпечне обслуговування змішувачів, тому що саме в них працівник може намагатися візуально контролювати процес або очищати залишки суміші.

Перед пуском лінії оператор зобов’язаний перевірити відсутність сторонніх предметів у приймальних бункерах, справність магнітної колонки,

закриття люків, готовність аспіраційної системи, положення шиберів і сигналізацію між суміжними дільницями. Пуск обладнання доцільно виконувати у послідовності, протилежній руху матеріалу: спочатку вмикаються механізми відведення готової продукції та транспортування, потім змішувачі, дозатори, дробарка і вузли подачі сировини. Такий порядок зменшує ризик завалювання шнеків, перевантаження бункерів та утворення заторів.

Електрообладнання повинно мати захисне заземлення або занулення відповідно до вимог електробезпеки. У місцях концентрації пилу необхідно запобігати іскроутворенню, перегріванню електродвигунів і накопиченню пилу на корпусах електроапаратури. Електродвигуни, пускова апаратура та кабельні лінії повинні відповідати умовам експлуатації у запиленому виробничому середовищі. Шафи керування розміщують у доступних, але захищених від пилу та вологи місцях; на них мають бути чіткі написи, що вказують призначення кнопок, режимів роботи та аварійного вимкнення.

Обладнання для введення меляси, жиру та карбаміду потребує окремої уваги. Рідкі компоненти повинні подаватися через герметичні трубопроводи з можливістю перекривання потоку та промивання системи. Місця введення повинні мати піддони або локальні приймальні лотки, оскільки розливання жиру чи меляси робить підлогу слизькою і може призвести до падіння працівника. При роботі з карбамідом слід уникати пиловиділення, попадання речовини в очі та на шкіру, а також забезпечувати точне дозування, оскільки помилки впливають не тільки на якість комбікорму, а й на безпечність його подальшого використання у годівлі тварин.

4.4 Безпечна організація операції змішування

Операція змішування є ключовою для даної кваліфікаційної роботи, тому вимоги безпеки до неї необхідно розглядати детально. На технологічній схемі змішувачі позначені в кількох місцях, що свідчить про застосування як основного змішування, так і попереднього або додаткового перемішування

окремих компонентів. Основний змішувач повинен забезпечувати рівномірний розподіл зернових, білкових, мінеральних, вітамінних та рідких компонентів без відкритого контакту працівника з робочою камерою.

Найнебезпечнішими елементами змішувача є вал, лопаті або гвинтові робочі органи, привід, завантажувальні та розвантажувальні отвори. Під час роботи забороняється відкривати кришки, відбирати проби без спеціального пробовідбірника, проштовхувати матеріал руками або інструментом, очищати внутрішню поверхню корпусу та виконувати регулювання шиберів у небезпечній зоні. У разі потреби огляду змішувач повинен бути повністю зупинений, відключений від електроживлення, а на пусковому пристрої має бути вивішено попереджувальний напис про заборону вмикання.

Щоб знизити ризик травмування, конструкція змішувача повинна передбачати закритий корпус, оглядові вікна або люки з блокуванням, захисні решітки на завантажувальних отворах, справні ущільнення валів та можливість безпечного очищення. Завантаження компонентів має здійснюватися через дозатори і бункери, а не вручну з відкритого майданчика. Розвантаження готової суміші необхідно організувати так, щоб працівник не перебував під потоком матеріалу і не виконував ручне розгрібання біля рухомих деталей.

Для стабільної роботи змішувача важливо дотримуватися заданого коефіцієнта заповнення. Перевантаження камери призводить до зростання споживаної потужності, нагрівання приводу, погіршення якості змішування та підвищення ймовірності заклинювання. Недовантаження, навпаки, може збільшити пиловиділення і нерівномірність суміші. Тому в системі керування доцільно передбачити контроль маси завантаження, датчики рівня у проміжних бункерах, блокування подачі при переповненні та сигналізацію про перевищення навантаження електродвигуна.

4.5 Санітарно-гігієнічні, пожежні та організаційні заходи

Для забезпечення нормальних умов праці у комбікормовому цеху необхідно підтримувати належний мікроклімат, освітленість, чистоту повітря та допустимі рівні шуму. У приміщенні, де розташовані дробарка, норії, шнеки і гранулятор, слід передбачити припливно-витяжну вентиляцію та місцеві відсмоктувачі. Вентиляційне приміщення, виділене на плані цеху, повинно забезпечувати стабільне видалення запиленого повітря і не допускати повернення пилу у робочу зону. Ефективність вентиляції контролюють періодичними вимірюваннями, оглядом фільтрів, перевіркою герметичності повітроводів і своєчасним очищенням пиловловлювачів.

Пожежна безпека має особливе значення, оскільки в лінії використовується зернова сировина, трав’яне борошно, пилоподібні добавки, жир та електрообладнання. У цеху необхідно не допускати накопичення пилу на підлозі, балках, електродвигунах, кабельних трасах і поверхнях обладнання. Поблизу дільниць введення жиру та меляси не повинно бути відкритих джерел вогню, нагрітих незахищених поверхонь та несправної електроапаратури. Виробничі приміщення необхідно забезпечити первинними засобами пожежогасіння, планом евакуації, вільними проходами до виходів і справною системою оповіщення.

Організаційні заходи охоплюють навчання працівників, інструктажі з охорони праці, перевірку знань, допуск до роботи лише навченого персоналу та ведення журналів технічного обслуговування. Оператор лінії повинен знати призначення кожного агрегату, порядок пуску і зупинки, місця аварійного вимкнення, правила безпечного відбору проб, порядок дій при засміченні шнека або норії, при витіканні рідкого компонента, при появі стороннього шуму чи запаху нагрітого електрообладнання. Обслуговуючий персонал повинен працювати у спецодязі, захисному взутті, рукавицях, захисних окулярах, а в запилених зонах - у респіраторах.

Важливою умовою безпеки є підтримання порядку у проходах і на робочих площадках. Ширина проходів повинна забезпечувати безпечне

переміщення працівників і доступ до обладнання для огляду. Не допускається складування мішків, інструменту, тари чи запасних частин у коридорах, біля сходових маршів, навколо щитів керування та пожежного інвентарю. Після закінчення зміни слід очищати обладнання від залишків сировини, перевіряти закриття люків, знеструмлювати непотрібні механізми, прибирати розсипи і фіксувати у журналі виявлені несправності.

4.6 Заходи безпеки під час технічного обслуговування та ремонту

Технічне обслуговування комбікормової лінії повинно проводитися за затвердженим графіком. До основних робіт належать перевірка стану підшипників, муфт, редукторів, електродвигунів, натягу передач, ущільнень, аспіраційних повітроводів, датчиків рівня, вагових пристроїв, шиберів і засобів блокування. Перед початком робіт обладнання необхідно зупинити, відключити від джерел енергії, переконатися у відсутності обертання робочих органів і самовільного руху матеріалу. На пульті керування потрібно встановити попереджувальну табличку, а за можливості застосувати замикання від випадкового пуску.

Очищення бункерів, шнеків і змішувачів дозволяється виконувати тільки після повного припинення руху механізмів. Завислий матеріал у бункерах не можна руйнувати ударами по корпусу, перебуванням працівника всередині бункера без оформлення спеціального допуску або проштовхуванням через відкритий люк під час роботи машини. Для усунення зависань слід застосовувати вібратори, пристрої механічного розпушування, ревізійні люки з безпечним доступом і технологічні операції зупинки та розвантаження.

Висновки по розділу

Аналіз плану комбікормового цеху та технологічної схеми лінії показує, що безпека праці залежить від правильного зонування приміщень, герметизації пилових процесів, справності транспортного обладнання,

автоматизації дозування і надійного захисту змішувачів. Найбільш небезпечними дільницями є подрібнення зерна, робота норій і шнеків, завантаження бункерів, введення рідких компонентів, змішування та гранулювання. Для цих зон необхідно передбачити огородження, блокування, аспірацію, аварійне вимкнення, протипожежні заходи, безпечні площадки обслуговування та регулярний контроль технічного стану обладнання.

Детально розроблювана операція змішування повинна виконуватися у закритому змішувачі з механізованим завантаженням і розвантаженням, контролем заповнення, блокуванням кришок та захистом приводу. Запропоновані заходи дозволяють зменшити ризик травмування працівників, знизити пилове навантаження, підвищити пожежну безпеку та забезпечити стабільну роботу технологічної лінії виробництва комбікормів.

РОЗДІЛ 5
ТЕХНІКО-ЕКОНОМІЧНЕ ОБҐРУНТУВАННЯ ПРОЕКТНИХ РІШЕНЬ

Техніко-економічне обґрунтування проектних рішень є завершальним етапом оцінювання доцільності удосконалення технологічної лінії виробництва комбікормів. Для бакалаврської кваліфікаційної роботи за спеціальністю 208 Агроінженерія важливо не лише показати працездатність прийнятої технологічної схеми, а й довести, що запропонована модернізація забезпечує економічну віддачу за рахунок підвищення продуктивності, зменшення втрат сировини, скорочення трудомісткості, стабілізації якості готової продукції та зниження питомих експлуатаційних витрат.

У даному проекті техніко-економічні розрахунки виконано для технологічної лінії виробництва комбікормів з детальною розробкою операції змішування. Під час обґрунтування враховано план комбікормового цеху і технологічну схему лінії, зображені на наданих рисунках. За планом цех поділений на функціональні зони: коридор, сходові марші, вентиляційне приміщення, цех дозування зерна, цех дозування добавок, цех гранулювання, а також цех подачі мінеральних добавок. Таке компонування впливає на склад капітальних вкладень, потребу у транспортних засобах, довжину комунікацій, організацію робочих місць і величину витрат на експлуатацію.

Технологічна схема включає блок введення меляси і карбаміду, блок введення жиру, вивантажувальні та розподільні шнеки, проміжні бункери, автоматичні ваги, дробарку, розподільні шнеки, завантажувальний шнек, магнітну колонку, пневможивильник, вібрсепаратор, норії, блок бункерів розмелювально-змішувального відділення, гравітаційні конвеєри, блоки бункерів мікрокомпонентів, дозатори, накопичувальні місткості та змішувачі.

Економічна ефективність лінії значною мірою залежить від узгодженості роботи цих машин, оскільки будь-яке «вузьке місце» у дозуванні, змішуванні чи транспортуванні знижує фактичну продуктивність усієї системи.

5.1 Вихідні передумови та мета економічного розрахунку

Метою техніко-економічного обґрунтування є визначення річного економічного ефекту від удосконалення технологічної лінії та оцінка строку окупності додаткових капітальних вкладень. У базовому варіанті приймається робота лінії з менш досконалою системою дозування і змішування, більшою часткою ручного контролю та вищими втратами сировини під час пересипання і налаштування. У проектному варіанті передбачено впорядкування потоків сировини відповідно до схеми цеху, застосування автоматичних ваг і дозаторів, поліпшення роботи змішувача, узгодження продуктивності шнеків, бункерів і норій, а також зменшення простоїв під час переходу з одного рецепта комбікорму на інший.

Розрахунок виконано за проектними вихідними даними, прийнятими для умов навчальної кваліфікаційної роботи. Вартісні показники мають орієнтовний характер і можуть уточнюватися після вибору конкретних марок обладнання, постачальників, тарифів на електроенергію та фактичного рівня оплати праці на підприємстві. Такий підхід є доцільним на стадії проектування, оскільки дозволяє порівняти базовий і проектний варіанти за єдиною методикою та визначити економічну доцільність обраних технічних рішень.

Таблиця 5.1 – Вихідні дані для техніко-економічного розрахунку

Показник	Базовий варіант	Проектний варіант	Примітка
Продуктивність лінії, т/год	2,5	3,0	Зростання за рахунок узгодження дозування, транспортування і змішування
Ефективний фонд часу, год/рік	2000	2000	250 робочих днів по 8 год
Коефіцієнт використання часу	0,80	0,85	Зменшення простоїв та переналагоджень
Питома витрата електроенергії, кВт·год/т	12,0	9,3	Енергоощадна робота змішувача і транспортних механізмів
Втрати сировини, %	1,2	0,7	Герметизація пересипань, точніше дозування, менше розсипів
Витрати на оплату праці основного персоналу, грн/міс на 1 працівника	20000	20000	Проектна величина для порівняльного розрахунку
Розрахункова ціна електроенергії, грн/кВт·год	7,0	7,0	Прийнято для проектного розрахунку
Середня вартість сировинної суміші, грн/т	9500	9500	Орієнтовна вартість компонентів комбікорму

5.2 Врахування плану цеху та технологічної схеми у проектних рішеннях

Планувальна схема цеху має безпосереднє значення для економічної оцінки проекту, оскільки вона визначає протяжність транспортних потоків, потребу в проміжних бункерах, кількість норій, шнеків і розподільників, а також умови обслуговування обладнання. Розміщення цеху дозування зерна, цеху дозування добавок, цеху гранулювання і дільниці подачі мінеральних добавок дає можливість розділити основні матеріальні потоки та зменшити перехресне переміщення сировини. Це знижує ймовірність технологічних заторів, зменшує простої персоналу і скорочує непродуктивні переміщення матеріалу.

За технологічною схемою зерно після надходження із складу проходить очищення на вібрсепараторі, захист від металомагнітних домішок у магнітній

колонці, подрібнення у дробарці та транспортування норіями і шнеками до бункерних блоків. Мінеральні добавки і мікрокомпоненти подаються окремими контурами через дозатори, автоматичні ваги та накопичувальні місткості. Рідкі компоненти - жир, меляса і карбамід - мають власні блоки введення. Економічний результат такої побудови полягає у підвищенні точності рецептурного складу, зменшенні втрат дорогих добавок і стабілізації якості готового комбікорму.

Особливу роль у проекті відіграє операція змішування. На схемі передбачено кілька змішувачів, які забезпечують попереднє або основне перемішування компонентів. У проектному рішенні головний економічний ефект очікується від удосконалення саме цієї операції: більш рівномірного розподілу мікрокомпонентів, скорочення тривалості циклу, зменшення залишків у робочій камері, зниження витрат енергії та зменшення кількості партій, що потребують повторного змішування. Завдяки цьому підвищується фактична продуктивність лінії без істотного збільшення площі цеху.

Таблиця 5.2 – Вплив елементів схеми цеху і лінії на економічні показники

Елемент схеми	Врахування у проектному рішенні	Очікуваний економічний результат
Цех дозування зерна та добавок	Розділення потоків зернових, мінеральних і мікрокомпонентів; застосування бункерів і дозаторів	Зменшення помилок дозування і втрат дорогих добавок
Дробарка, вібрсепаратор, магнітна колонка	Очищення і підготовка сировини перед змішуванням	Менше аварійних зупинок, кращий ресурс робочих органів
Норії, шнеки, гравітаційні конвеєри	Узгодження продуктивності транспортних машин із змішувачем	Зменшення простоїв і перевантаження окремих агрегатів
Блоки введення жиру, меляси і карбаміду	Дозована подача рідких компонентів у зону змішування	Підвищення якості суміші та зменшення перевитрати компонентів
Змішувачі	Скорочення циклу та підвищення однорідності комбікорму	Нижча собівартість, менше повторного змішування і браку

5.3 Розрахунок виробничої програми

Річна виробнича програма визначається продуктивністю лінії, фондом робочого часу та коефіцієнтом використання обладнання. Для базового і проектного варіантів розрахунок виконуємо за формулою:

$$Q_р = П_г \cdot Т_р \cdot k_в, \text{ т/рік}, \quad (5.1)$$

де $Q_р$ – річний обсяг виробництва комбікормів, т/рік; $П_г$ – годинна продуктивність лінії, т/год; Тр - річний фонд робочого часу, год/рік; $k_в$ – коефіцієнт використання робочого часу обладнання.

Для базового варіанта річна продуктивність становитиме:

$$Q_б = 2{,}5 \cdot 2000 \cdot 0{,}80 = 4000 \text{ т/рік}.$$

Для проектного варіанта після модернізації операції змішування та узгодження роботи транспортно-дозувальних механізмів:

$$Q_п = 3{,}0 \cdot 2000 \cdot 0{,}85 = 5100 \text{ т/рік}.$$

Отже, потенційне збільшення виробничої програми становить 1100 т/рік, або 27,5 % відносно базового варіанта. Для подальшого порівняння експлуатаційних витрат приймаємо розрахунковий обсяг виробництва Q = 5000 т/рік, що відповідає реальній завантаженості проектної лінії та дозволяє оцінити економічний ефект без завищення результатів.

5.4 Розрахунок капітальних вкладень

Капітальні вкладення у проектному варіанті формуються з витрат на модернізацію змішувача, удосконалення дозувального обладнання, реконструкцію транспортних зв’язків відповідно до схеми цеху, придбання датчиків і шафи керування, монтаж, налагодження та заходи з пилозахисту. Оскільки більша частина будівлі, цехових приміщень і основних зон уже передбачена планом, у розрахунку враховуються додаткові витрати, пов’язані саме з удосконаленням технологічної лінії.

Таблиця 5.3 – Орієнтовна структура капітальних вкладень у проектне рішення

Стаття капітальних вкладень	Вартість, тис. грн	Обґрунтування
Модернізація змішувача та приводу	260	Заміна або удосконалення робочих органів, редуктора, муфт, ущільнень і захисних елементів
Автоматичні ваги, дозатори та датчики рівня	280	Підвищення точності дозування зерна, добавок і мікрокомпонентів
Реконструкція шнеків, бункерів і розподільників	220	Узгодження потоків відповідно до технологічної схеми
Аспірація і локальна герметизація пересипань	140	Зменшення пиловиділення, втрат сировини і витрат на прибирання
Шафа керування, автоматика, кабельна продукція	210	Керування роботою змішувача, дозаторів і транспортних механізмів
Монтаж, пусконалагоджувальні роботи	130	Встановлення обладнання, перевірка і запуск лінії
Разом	1240	Сумарні додаткові капітальні вкладення у проектний варіант

Сумарні додаткові капітальні вкладення приймаємо:

$$К_д = 1240 \text{ тис. грн.}$$

У структурі витрат найбільшу частку займають засоби автоматизованого дозування, модернізація змішувача та система керування. Це пояснюється тим, що якість комбікорму визначається не лише наявністю обладнання, а насамперед точністю дозування і стабільністю перемішування. Саме ці елементи забезпечують економічний ефект у вигляді зменшення втрат сировини, скорочення ручної праці та підвищення продуктивності.

5.5 Розрахунок зміни експлуатаційних витрат

Основними складовими економії експлуатаційних витрат є зниження енергоспоживання, скорочення трудових витрат, зменшення втрат сировини, зниження витрат на повторне змішування та зменшення витрат на поточні ремонти через стабільнішу роботу технологічної лінії. Розрахунок виконуємо для річного обсягу виробництва 5000 т комбікормів.

Економія електроенергії визначається за формулою:

$$Е_{ел} = Q \cdot (е_б - е_п) \cdot Ц_е, \text{ грн}, \quad (5.2)$$

де $е_б$ і $е_п$ – питома витрата електроенергії у базовому та проектному варіантах, кВт·год/т; $Ц_е$ – розрахункова ціна електроенергії, грн/кВт·год.

$$Еел = 5000 \cdot (12{,}0 - 9{,}3) \cdot 7{,}0 = 94500 \text{ грн/рік}.$$

Скорочення трудових витрат досягається за рахунок автоматизації дозування, наявності автоматичних ваг, упорядкування матеріальних потоків і зменшення ручного контролю у дільницях дозування та змішування. Приймаємо, що проектне рішення дозволяє скоротити потребу в одному працівнику на зміну без погіршення контролю якості. Річна економія фонду оплати праці з урахуванням коефіцієнта нарахувань 1,22 становитиме:

$$Е_{зп} = 20000 \cdot 12 \cdot 1{,}22 = 292800 \text{ грн/рік}.$$

Економія від зменшення втрат сировини визначається з урахуванням того, що втрати у базовому варіанті становлять 1,2 %, а у проектному - 0,7 %. Різниця дорівнює 0,5 % від річного обсягу виробництва. За середньої вартості сировинної суміші 9500 грн/т отримуємо:

$$Ес = 5000 \cdot 0{,}005 \cdot 9500 = 237500 \text{ грн/рік}.$$

Додаткова економія виникає завдяки зменшенню частки партій, що потребують повторного змішування або коригування рецепта. Приймаємо, що частка таких партій зменшується з 1,0 до 0,4 %, а середні витрати на повторну обробку однієї тонни становлять 1000 грн. Тоді:

$$Е_{пз} = 5000 \cdot (0{,}010 - 0{,}004) \cdot 1000 = 30000 \text{ грн/рік}.$$

За рахунок рівномірнішого завантаження шнеків, норій, дробарки та змішувача, зменшення аварійних зупинок і кращої герметизації пересипань приймаємо економію на поточному ремонті та обслуговуванні у розмірі 60000 грн/рік.

Таблиця 5.4 – Розрахунок річної економії експлуатаційних витрат

Вид економії	Розрахунок	Сума, грн/рік
Економія електроенергії	5000 · (12,0 - 9,3) · 7,0	94500
Економія фонду оплати праці	20000 · 12 · 1,22	292800
Зменшення втрат сировини	5000 · 0,005 · 9500	237500
Менше повторного змішування і коригування партій	5000 · 0,006 · 1000	30000
Зменшення витрат на ремонт і обслуговування	Прийнято за результатом стабілізації роботи лінії	60000
Загальна річна економія	-	714800

Однак проектне рішення також потребує додаткових поточних витрат, пов’язаних з амортизацією і технічним обслуговуванням нового або модернізованого обладнання. Нормативний строк корисного використання приймаємо 7 років. Річна амортизація додаткових вкладень становитиме:

$$А = К_д / 7 = 1240000 / 7 = 177143 \text{ грн/рік.} \quad (5.3)$$

Витрати на обслуговування модернізованої частини лінії приймаємо на рівні 3 % від капітальних вкладень:

$$В_{обс} = 1240000 \cdot 0,03 = 37200 \text{ грн/рік.}$$

Тоді чистий річний економічний ефект визначається як різниця між загальною економією та додатковими витратами:

$$Е_ч = 714800 - 177143 - 37200 = 500457 \text{ грн/рік.}$$

5.6 Оцінка економічної ефективності проектного рішення

Строк окупності додаткових капітальних вкладень визначається за формулою:

$$Т_{ок} = К_д / Е_ч, \text{ років.} \quad (5.4)$$

$$Т_{ок} = 1240000 / 500457 = 2,48 \text{ року.}$$

Отриманий строк окупності є прийнятним для модернізації комбікормового виробництва, оскільки основні елементи лінії мають тривалий строк експлуатації, а економічний ефект формується щорічно. Крім прямої економії, проектне рішення забезпечує низку непрямих переваг: підвищення стабільності рецептури, поліпшення однорідності суміші, зменшення впливу людського фактора, покращення санітарного стану цеху, зниження пиловиділення та зменшення ризику аварійних зупинок.

Коефіцієнт економічної ефективності визначимо як відношення чистого річного ефекту до додаткових капітальних вкладень:

$$E_к = 500457 / 1240000 = 0,404.$$

Це означає, що кожна гривня додаткових капітальних вкладень забезпечує близько 0,40 грн чистого річного ефекту. Питоме зниження витрат на одну тонну продукції становить:

$$\Delta C = E_ч / Q = 500457 / 5000 = 100,1 \text{ грн/т.} \quad (5.5)$$

Для підприємства, яке виготовляє комбікорми для власних потреб або реалізації, зменшення собівартості на 100 грн/т є суттєвим показником. Якщо лінія працюватиме з повним проектним завантаженням 5100 т/рік, економічний ефект додатково зростатиме, оскільки постійні витрати розподілятимуться на більший обсяг продукції. При цьому якість змішування залишається ключовим чинником, адже нерівномірний розподіл мікрокомпонентів може призводити до втрати кормової цінності, перевитрати добавок і технологічних повернень.

Таблиця 5.5 – Основні показники економічної ефективності проектного рішення

Показник	Значення
Додаткові капітальні вкладення, грн	1240000
Загальна річна економія, грн/рік	714800
Додаткова амортизація, грн/рік	177143
Додаткове технічне обслуговування, грн/рік	37200
Чистий річний економічний ефект, грн/рік	500457
Строк окупності, років	2,48
Коефіцієнт економічної ефективності	0,404
Питоме зниження витрат, грн/т	100,1

5.7 Техніко-економічна оцінка операції змішування

Детально розроблювана операція змішування має визначальний вплив на економіку комбікормового виробництва. Навіть за наявності якісної сировини і точного дозування недостатня однорідність суміші може призвести до нерівномірного розподілу білкових, мінеральних, вітамінних і рідких компонентів. У такому випадку частина продукції потребує повторного перемішування або коригування, що збільшує витрати

електроенергії, час роботи персоналу і зношування обладнання. Тому модернізація змішувача є економічно обґрунтованою не тільки як окрема технічна операція, а як центральний елемент усієї технологічної лінії.

Удосконалення змішування передбачає оптимізацію геометрії робочих органів, забезпечення рівномірного завантаження камери, раціональне введення рідких компонентів, скорочення залишків суміші після розвантаження та автоматизований контроль тривалості циклу. У поєднанні з бункерами мікрокомпонентів, автоматичними вагами і транспортними шнеками це дає змогу підвищити точність рецептури і зменшити залежність якості від ручних дій оператора. Крім того, стабільніша робота змішувача знижує навантаження на наступні операції, зокрема гранулювання і відвантаження готового комбікорму.

З економічної точки зору змішувач є агрегатом, у якому відносно невеликі конструктивні зміни можуть дати помітний результат для всієї лінії. Це пояснюється тим, що змішування повторюється для кожної партії продукції, а отже економія часу, електроенергії і сировини накопичується протягом усього року. Прийнятий у розрахунку чистий річний ефект у розмірі 500457 грн підтверджує, що детальна розробка технологічної операції змішування має практичну доцільність.

Висновки по розділу

У розділі виконано техніко-економічне обґрунтування проектних рішень щодо удосконалення технологічної лінії виробництва комбікормів з детальною розробкою операції змішування. При розрахунку враховано план цеху, у якому передбачено окремі зони дозування зерна, добавок, гранулювання, вентиляційне приміщення і дільницю подачі мінеральних добавок, а також технологічну схему з блоками введення рідких компонентів, бункерами, дозаторами, автоматичними вагами, дробаркою, норіями, шнеками, гравітаційними конвеєрами і змішувачами.

Установлено, що проектне рішення дозволяє підвищити потенційну річну продуктивність з 4000 до 5100 т/рік, зменшити питомі витрати електроенергії з 12,0 до 9,3 кВт·год/т, скоротити втрати сировини з 1,2 до 0,7 % і зменшити трудомісткість обслуговування лінії. Сумарні додаткові капітальні вкладення становлять 1240 тис. грн, а чистий річний економічний ефект - 500457 грн/рік. Строк окупності проекту становить 2,48 року, коефіцієнт економічної ефективності - 0,404, а питоме зниження витрат - близько 100 грн на 1 т комбікорму.

Отже, удосконалення технологічної лінії та модернізація операції змішування є економічно доцільними. Запропоновані рішення забезпечують не лише пряме зниження витрат, а й підвищують якість готової продукції, стабільність технологічного процесу, рівень механізації та автоматизації виробництва, що відповідає завданням кваліфікаційної роботи за спеціальністю 208 Агроінженерія.

ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ

У кваліфікаційній роботі розглянуто питання удосконалення технологічної лінії виробництва комбікормів з модернізацією машини для змішування. Актуальність теми зумовлена важливістю забезпечення високої якості комбікормів, оскільки від рівномірного розподілу компонентів залежить поживна цінність корму, продуктивність тварин і ефективність аграрного виробництва.

У роботі проаналізовано сучасний стан комбікормового виробництва в Україні та встановлено, що його розвиток потребує оновлення обладнання, підвищення рівня механізації й автоматизації, зменшення енерговитрат та забезпечення стабільної якості готової продукції.

Виконано проектування технологічної лінії виробництва комбікормів, яка передбачає послідовне виконання операцій приймання, очищення, подрібнення, дозування, змішування, транспортування та вивантаження готової продукції. Таке компонування обладнання забезпечує раціональний рух матеріальних потоків, скорочення тривалості виробничого циклу та підвищення продуктивності лінії.

Особливу увагу приділено процесу змішування як одній із головних операцій виробництва комбікормів. Встановлено, що якість змішування впливає на однорідність суміші, рівномірність розподілу мікродобавок, мінеральних і білкових компонентів. Обґрунтовано конструкцію змішувача та визначено основні фактори, що впливають на ефективність перемішування сипких матеріалів.

У розділі з охорони праці визначено основні небезпечні та шкідливі фактори комбікормового цеху, зокрема запиленість, шум, вібрацію, небезпеку травмування, ураження електричним струмом, пожежо- та вибухонебезпечність. Запропоновано заходи для підвищення безпеки праці та надійності роботи обладнання.

Техніко-економічне обґрунтування показало доцільність запропонованих рішень, оскільки модернізація технологічної лінії сприяє

підвищенню продуктивності, зниженню енерговитрат, скороченню втрат сировини, покращенню якості комбікормів і зменшенню експлуатаційних витрат.

Отже, мета кваліфікаційної роботи досягнута. Запропоновані рішення можуть бути використані для модернізації комбікормових цехів, підвищення якості продукції та ефективності кормовиробництва.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Наукові основи агропромислового виробництва в зоні Полісся і Західного регіону України / за ред. М. В. Зубця. Київ : Аграрна наука, 2010. 944 с.

2. 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.

3. Єгоров Б. В. Технологія виробництва комбікормів : підручник. Одеса : Друкарський дім, 2011. 448 с.

4. Дяченко Л. С., Бомко В. С., Сивик Т. Л. Основи технології комбікормового виробництва : навч. посіб. Біла Церква, 2015. 306 с.

5. Обладнання підприємств переробної та харчової промисловості : підручник / В. Г. Мирончук, І. С. Гулий, М. М. Пушанко та ін. ; за ред. В. Г. Мирончука. 2-ге вид., перероб. і допов. Вінниця : Нова книга, 2007. 648 с.

6. Мирончук В. Г. Розрахунки обладнання підприємств переробної та харчової промисловості : навч. посіб. Вінниця : Нова книга, 2004. 288 с.

7. Зубко В. М., Харченко С. О., Харченко Ф. М., Соколік С. П. Машини і обладнання для переробки і зберігання сільськогосподарської продукції : методичні вказівки до виконання лабораторно-практичних занять для студентів спеціальності 208 «Агроінженерія». Суми : СНАУ, 2025. 86 с.

8. Черевко О. І., Поперечний А. М. Процеси і апарати харчових виробництв : підручник. Харків : Світ книг, 2014. 496 с.

9. Дейниченко В. Г. Процеси та апарати харчових виробництв : конспект лекцій. Харків : ХДУХТ, 2014. 98 с.

10. Процеси та апарати харчового виробництва : конспект лекцій. Дніпро : ДВНЗ УДХТУ, 2017. 85 с.

11. Гапонюк О. І., Остапчук М. В., Станкевич Г. М. Технологія зберігання і переробки зерна : підручник. Київ : Центр учбової літератури, 2010. 320 с.

12. Сидоренко В. М., Бондаренко В. І. Механізація переробки і зберігання сільськогосподарської продукції : навч. посіб. Київ : Урожай, 2008. 272 с.

13. Технологічне обладнання для переробки продукції тваринництва : навч. посіб. / за ред. О. В. Дацишина. Київ : Урожай, 2006. 304 с.

14. Про безпечність та гігієну кормів : Закон України від 21.12.2017 № 2264-VIII // База даних «Законодавство України» / Верховна Рада України. URL: https://zakon.rada.gov.ua/go/2264-19 (дата звернення: 01.06.2026).

15. Про основні принципи та вимоги до безпечності та якості харчових продуктів : Закон України від 23.12.1997 № 771/97-ВР // База даних «Законодавство України» / Верховна Рада України. URL: https://zakon.rada.gov.ua/go/771/97-%D0%B2%D1%80 (дата звернення: 01.06.2026).

16. Про охорону праці : Закон України від 14.10.1992 № 2694-XII // База даних «Законодавство України» / Верховна Рада України. URL: https://zakon.rada.gov.ua/go/2694-12 (дата звернення: 01.06.2026).

17. Про затвердження Правил охорони праці у сільськогосподарському виробництві : наказ Міністерства соціальної політики України від 29.08.2018 № 1240 // База даних «Законодавство України» / Верховна Рада України. URL: https://zakon.rada.gov.ua/go/z1090-18 (дата звернення: 01.06.2026).

18. Про затвердження Правил пожежної безпеки в Україні : наказ Міністерства внутрішніх справ України від 30.12.2014 № 1417 // База даних «Законодавство України» / Верховна Рада України. URL: https://zakon.rada.gov.ua/go/z0252-15 (дата звернення: 01.06.2026).

19. Деякі питання реалізації Закону України «Про безпечність та гігієну кормів» : постанова Кабінету Міністрів України від 18.08.2021 № 884 // База даних «Законодавство України» / Верховна Рада України. URL: https://zakon.rada.gov.ua/go/884-2021-%D0%BF (дата звернення: 01.06.2026).

20. ДСТУ 8302:2015. Інформація та документація. Бібліографічне посилання. Загальні положення та правила складання. Київ : ДП «УкрНДНЦ», 2016. 16 с.

21. ДСТУ ISO 22000:2019. Системи управління безпечністю харчових продуктів. Вимоги до будь-якої організації в харчовому ланцюгу. Київ : ДП «УкрНДНЦ», 2019.

22. ДСТУ 7237:2011. Система стандартів безпеки праці. Електробезпека. Загальні вимоги та номенклатура видів захисту. Київ : Держспоживстандарт України, 2011.

23. ДСН 3.3.6.037-99. Санітарні норми виробничого шуму, ультразвуку та інфразвуку. Київ : Міністерство охорони здоров’я України, 1999.

24. На годівлю сільгосптварин у 2024 році пішло 22,4 млн тонн кормів // AgroTimes. 2025. URL: https://agrotimes.ua/tvarinnitstvo/na-godivlyu-silgosptvaryn-u-2024-roczi-pishlo-224-mln-tonn-kormiv%EF%BF%BC/ (дата звернення: 01.06.2026).

25. 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.