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

Кваліфікаційна робота
на правах рукопису

Клименко Вячеслав Володимирович

УДК 664.346:633.34

КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА

Удосконалення технологічного процесу переробки сої з модернізацією конструкції установки для виготовлення соєвого молока

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 _____ Клименко В.В.

Керівник роботи
Дерев’янко Д.А.
доктор технічних наук, професор

Житомир – 2026

АНОТАЦІЯ

Клименко Вячеслав Володимирович. Удосконалення технологічного процесу переробки сої з модернізацією конструкції установки для виготовлення соєвого молока. *– Кваліфікаційна робота на правах рукопису.*

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

У кваліфікаційній роботі розглянуто питання удосконалення технологічного процесу переробки сої для отримання соєвого молока шляхом модернізації конструкції виробничої установки. Обґрунтовано актуальність використання сої як високобілкової сировини для виготовлення харчових продуктів рослинного походження. Проаналізовано сучасний стан технологій переробки сої, основні способи отримання соєвого молока та обладнання, що застосовується у цьому виробництві. Запропоновано раціональну технологічну схему, яка передбачає підготовку сировини, замочування, подрібнення, екстрагування, термічну обробку та отримання готового продукту. Особливу увагу приділено конструктивному вдосконаленню установки для виготовлення соєвого молока з метою підвищення продуктивності, якості подрібнення та ефективності теплової обробки. Виконано технологічні, конструктивні та техніко-економічні розрахунки, які підтверджують доцільність запропонованих проектних рішень. Отримані результати свідчать, що модернізація обладнання дозволяє підвищити ефективність процесу переробки сої, зменшити виробничі витрати та покращити якість готового соєвого молока.

Ключові слова: соя, соєве молоко, переробка сої, технологічний процес, установка, модернізація.

ANNOTATION

Vyacheslav Volodymyrovych Klymenko. Improvements to the soya processing technology, including the modernisation of the design of the soya milk production plan. – *Qualification work on the rights of the manuscript*.

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

This thesis examines ways of improving the technological process for processing soya to produce soya milk by modernising the design of the production plant. It justifies the relevance of using soya as a high-protein raw material for the manufacture of plant-based food products. The current state of soya processing technologies, the main methods of producing soya milk and the equipment used in this production are analysed. A rational process flow diagram is proposed, which involves raw material preparation, soaking, grinding, extraction, heat treatment and the production of the finished product. Particular attention has been paid to the design improvements of the soya milk production plant with the aim of increasing productivity, grinding quality and the efficiency of heat treatment. Technological, design and technical-economic calculations have been carried out, confirming the feasibility of the proposed design solutions. The results obtained indicate that modernising the equipment makes it possible to increase the efficiency of the soya processing process, reduce production costs and improve the quality of the finished soya milk.

Keywords: soya, soya milk, soya processing, technological process, plant, modernisation.

ЗМІСТ

ВСТУП……..……..……6
РОЗДІЛ 1. АНАЛІЗ СУЧАСНОГО СТАНУ ТЕХНОЛОГІЙ ПЕРЕРОБКИ СОЇ ТА ВИРОБНИЦТВА СОЄВОГО МОЛОКА……...……11
РОЗДІЛ 2. ОБҐРУНТУВАННЯ ТЕХНОЛОГІЧНОГО ПРОЦЕСУ ПЕРЕРОБКИ СОЇ ДЛЯ ОТРИМАННЯ СОЄВОГО МОЛОКА……...……..18
РОЗДІЛ 3. ПРОЄКТУВАННЯ ТА РОЗРАХУНОК МОДЕРНІЗОВАНОЇ УСТАНОВКИ ДЛЯ ВИГОТОВЛЕННЯ СОЄВОГО МОЛОКА……..……..30
РОЗДІЛ 4. ТЕХНІКО-ЕКОНОМІЧНЕ ОБҐРУНТУВАННЯ ПРОЄКТНИХ РІШЕНЬ……..47
ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ……..….54
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ……..56

ВСТУП

Актуальність теми дослідження. Соя є однією з найважливіших сільськогосподарських культур, яка має широке застосування у харчовій, кормовій, переробній, олійно-жировій та біотехнологічній галузях. Завдяки високому вмісту білка, жирів, вуглеводів, мінеральних речовин, вітамінів та біологічно активних компонентів вона є цінною сировиною для виробництва харчових продуктів рослинного походження. Особливе місце серед продуктів переробки сої займає соєве молоко, яке використовується як самостійний харчовий продукт, а також як основа для виготовлення тофу, соєвих напоїв, йогуртів, соусів, десертів та інших продуктів функціонального призначення.

У сучасних умовах зростає попит на продукти рослинного походження, що пов’язано з поширенням здорового харчування, необхідністю розширення асортименту дієтичних продуктів, розвитком виробництва безлактозних харчових продуктів і прагненням споживачів до більш раціонального використання продовольчих ресурсів. Соєве молоко є перспективним продуктом, оскільки містить рослинний білок, має приємні органолептичні властивості та може використовуватися як альтернатива традиційному молоку для окремих груп споживачів. Водночас якість готового продукту значною мірою залежить від правильного вибору технологічної схеми, режимів замочування, подрібнення, екстрагування, термічної обробки та конструктивних параметрів обладнання.

Технологічний процес виготовлення соєвого молока включає низку послідовних операцій: підготовку сировини, очищення, миття, замочування соєвих бобів, подрібнення у водному середовищі, екстрагування білкових і водорозчинних речовин, теплову обробку, відокремлення нерозчинного залишку та отримання готового продукту. Кожна з цих операцій впливає на вихід продукції, ступінь вилучення поживних речовин, енергомісткість процесу, стабільність якості та собівартість виробництва. Тому

удосконалення технологічного процесу переробки сої є важливим завданням для підвищення ефективності виробництва соєвого молока.

Важливим напрямом удосконалення є модернізація конструкції установки для виготовлення соєвого молока. Особливу увагу необхідно приділяти вузлам, які забезпечують замочування, подрібнення, перемішування, нагрівання та подачу продукту. Недостатня ефективність подрібнення призводить до зниження ступеня вилучення білка та інших водорозчинних речовин, а недосконаліть теплової обробки може погіршувати якість готового продукту або збільшувати витрати енергії. Тому модернізація установки повинна бути спрямована на підвищення продуктивності, забезпечення рівномірної обробки сировини, зменшення втрат, покращення санітарно-гігієнічних умов виробництва та зниження експлуатаційних витрат.

Актуальність теми кваліфікаційної роботи зумовлена необхідністю підвищення ефективності технологічного процесу переробки сої та забезпечення стабільної якості соєвого молока. У сучасному харчовому виробництві важливого значення набувають технології, які дозволяють отримувати продукти з високою харчовою цінністю, мінімальними втратами сировини та раціональними витратами енергії. Соя є цінним джерелом рослинного білка, однак повне використання її поживного потенціалу можливе лише за умови правильного підбору технологічних режимів і застосування ефективного обладнання.

Існуючі установки для виготовлення соєвого молока не завжди забезпечують достатній рівень подрібнення соєвих бобів, рівномірне змішування продукту з водою, стабільний температурний режим та оптимальні умови екстрагування білкових речовин. Це може призводити до зниження виходу готового продукту, погіршення його смакових властивостей, збільшення кількості відходів і підвищення собівартості виробництва. Крім того, частина обладнання характеризується значною

енергомісткістю, складністю обслуговування та недостатньою пристосованістю до умов малих і середніх переробних підприємств.

Удосконалення технологічного процесу переробки сої з модернізацією конструкції установки для виготовлення соєвого молока дає змогу підвищити ефективність використання сировини, покращити якість готового продукту та знизити виробничі витрати. Саме тому розроблення і обґрунтування проектних рішень, спрямованих на покращення роботи установки, є актуальним і має практичне значення для харчової та переробної промисловості.

Метою кваліфікаційної роботи є удосконалення технологічного процесу переробки сої для отримання соєвого молока шляхом обґрунтування раціональної технологічної схеми та модернізації конструкції установки для виготовлення соєвого молока.

Досягнення поставленої мети передбачає комплексне вивчення особливостей переробки соєвої сировини, аналіз існуючих технологій і обладнання, визначення недоліків традиційних рішень та розроблення заходів, які дозволяють підвищити ефективність виробництва. Особливе значення має вибір таких конструктивних і технологічних параметрів установки, які забезпечують належну якість подрібнення, ефективне вилучення корисних речовин, надійну теплову обробку та економічну доцільність експлуатації обладнання.

Для досягнення поставленої мети необхідно вирішити такі **завдання:**

- Проаналізувати сучасний стан технологій переробки сої та виробництва соєвого молока.
- Розглянути харчову цінність сої, її склад і значення як сировини для виготовлення продуктів рослинного походження.
- Дослідити основні технологічні операції виробництва соєвого молока та визначити їх вплив на якість готового продукту.
- Обґрунтувати раціональну технологічну схему переробки сої для отримання соєвого молока.

- Визначити вимоги до підготовки сировини, режимів замочування, подрібнення, екстрагування та термічної обробки.
- Проаналізувати будову та принцип роботи установки для виготовлення соєвого молока.
- Запропонувати модернізацію конструкції установки з метою підвищення продуктивності, надійності та ефективності роботи обладнання.
- Виконати технологічні, конструктивні, кінематичні та енергетичні розрахунки основних елементів установки.
- Провести техніко-економічне обґрунтування проектних рішень і визначити доцільність впровадження запропонованої модернізації.

Об’єктом дослідження є технологічний процес переробки сої для отримання соєвого молока.

У межах роботи об’єкт дослідження розглядається як сукупність взаємопов’язаних технологічних операцій, що забезпечують перетворення соєвих бобів у готовий харчовий продукт. До цих операцій належать очищення та миття сировини, замочування, подрібнення, змішування з водою, екстрагування поживних речовин, нагрівання, пастеризація та відокремлення нерозчинного залишку. Ефективність виконання кожної операції безпосередньо впливає на якість соєвого молока, його вихід, харчову цінність і економічні показники виробництва.

Предметом дослідження є конструктивно-технологічні параметри установки для виготовлення соєвого молока та їх вплив на ефективність процесу переробки сої.

До предмета дослідження належать параметри роботи обладнання, що визначають якість виконання основних технологічних операцій: місткість ємності для замочування, співвідношення сої і води, тривалість замочування, частота обертання робочих органів подрібнювального пристрою, конструкція подрібнювальних елементів, режими нагрівання, тиск у пароводяній сорочці, продуктивність установки та витрати енергії. Вивчення цих параметрів дає

змогу обґрунтувати напрями модернізації установки та підвищити ефективність її роботи.

У роботі використано аналітичні, розрахункові, порівняльні, графічні та техніко-економічні методи дослідження. Аналітичний метод застосовано для вивчення сучасного стану технологій переробки сої, особливостей виробництва соєвого молока та наявних технічних рішень. Порівняльний метод використано для оцінювання переваг і недоліків існуючих установок та вибору раціонального напряму модернізації. Розрахунковий метод застосовано для визначення технологічних, конструктивних, кінематичних, енергетичних і економічних показників. Графічний метод використано для представлення технологічних схем, діаграм, таблиць і залежностей, які характеризують процес переробки сої та ефективність запропонованих рішень..

Перелік публікацій за темою роботи:

1. Дерев'янко Д.А., Веремій Т.Б., **Клименко В.В.** Перспективні технології виготовлення соєвого молока. 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/derevjanko_26-4.pdf (дата звернення 02.06.2026).

2. Дерев'янко Д.А. **Клименко В.В.,** Герасимчук Д.В. Удосконалення технологічного процесу підготовки соєвих бобів як передумова підвищення виходу та якості соєвого молока. 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. 174-176.

Практичне значення одержаних результатів. Практичне значення кваліфікаційної роботи полягає у розробленні та обґрунтуванні проектних рішень, які можуть бути використані для удосконалення технологічного

процесу виготовлення соєвого молока на малих і середніх переробних підприємствах. Запропонована модернізація установки спрямована на підвищення ефективності подрібнення соєвих бобів, покращення процесу вилучення білкових і водорозчинних речовин, забезпечення стабільного температурного режиму та зменшення питомих витрат на виробництво готового продукту.

Використання результатів роботи дозволяє підвищити продуктивність обладнання, зменшити втрати сировини, покращити якість соєвого молока та знизити собівартість його виготовлення. Крім того, запропоновані рішення можуть бути застосовані під час проектування нових або модернізації існуючих установок для переробки сої. Матеріали роботи також можуть бути використані у навчальному процесі під час вивчення дисциплін, пов’язаних із технологією переробки сільськогосподарської продукції, обладнанням харчових виробництв, механізацією переробних процесів та техніко-економічним обґрунтуванням проектних рішень.

Таким чином, кваліфікаційна робота спрямована на вирішення актуального завдання підвищення ефективності переробки сої та удосконалення обладнання для виробництва соєвого молока. Запропоновані технологічні й конструктивні рішення мають практичну цінність, оскільки забезпечують можливість отримання якісного продукту з раціональним використанням сировини, енергії та виробничих ресурсів.

Структура та обсяг роботи. Кваліфікаційна робота складається з вступу, чотирьох розділів, висновків, списку використаних джерел з 27 найменувань. Загальний обсяг роботи становить 58 сторінок комп’ютерного тексту, містить 14мрисунків, 20 таблиць та 2 додатки.

РОЗДІЛ 1
АНАЛІЗ СУЧАСНОГО СТАНУ ТЕХНОЛОГІЙ ПЕРЕРОБКИ СОЇ ТА ВИРОБНИЦТВА СОЄВОГО МОЛОКА

1.1 Значення сої як сировини для харчової переробки

Соя є однією з базових білково-олійних культур світового аграрного виробництва. Її значення визначається не лише високим вмістом білка та жиру, а й універсальністю подальшої переробки: з насіння отримують харчові продукти, кормові компоненти, соєвий шрот, олію, білкові концентрати, ізоляти та напої рослинного походження. Для підприємств малої і середньої потужності особливо важливим напрямом є виробництво соєвого молока, оскільки технологічна схема порівняно проста, а готовий продукт має стабільний попит серед споживачів, які обмежують вживання продуктів тваринного походження або не переносять лактозу.

За даними FAO, виробництво олійних культур у 2010-2024 роках зростало швидше, ніж багато інших груп рослинницької продукції, а виробництво сої за цей період збільшилося приблизно на 50 %. Це свідчить про стійку роль соєвої сировини у продовольчих і кормових ланцюгах. У маркетинговому році 2025/26, за оцінками USDA FAS, світове виробництво сої перевищує 428 млн т, а основними виробниками залишаються Бразилія, США та Аргентина [1; 2].



Рис. 1.1. Соєве молоко і соєві боби як сировина та готовий харчовий продукт.

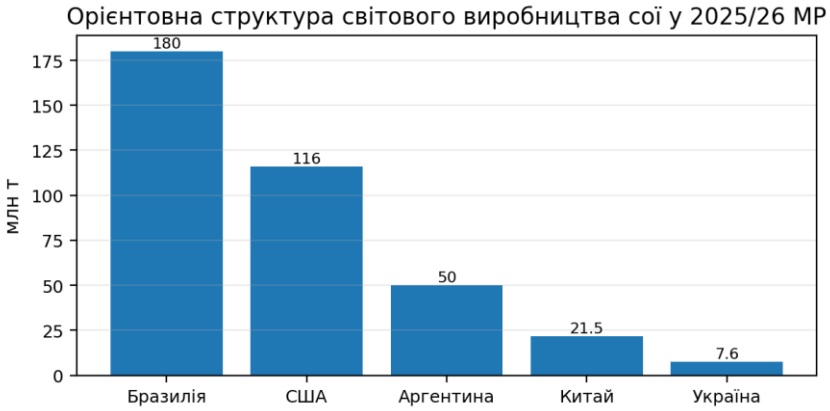


Рис. 1.2. Порівняння обсягів виробництва сої у провідних країнах, млн т (за оцінками USDA FAS).

1.2 Харчова цінність сої та продуктів її переробки

Харчова цінність сої пояснюється збалансованим поєднанням білків, жирів, вуглеводів, мінеральних речовин і біологічно активних компонентів. Гарвардська школа громадського здоров'я зазначає, що соєві продукти є джерелом високоякісного білка, клітковини, калію, магнію та вітамінів групи В; соєвий білок належить до повноцінних, оскільки містить усі незамінні амінокислоти [4]. Тому соєве молоко може бути використане як основа для напоїв, соусів, десертів, дитячого та дієтичного харчування, а також як напівфабрикат для виробництва тофу.

Таблиця 1.1 – Узагальнений склад соєвого насіння та його значення для виробництва соєвого молока [3; 4]

Компонент	Вміст у 100 г насіння	Технологічне значення	Вплив на продукт
Білок	близько 36,5 г	екстрагується у водну фазу під час подрібнення	формує поживність і в'язкість соєвого молока
Жир	близько 19,9 г	переходить у емульгований стан	впливає на смак, калорійність і стабільність емульсії
Вуглеводи	близько 30,2 г	частково розчиняються у воді	визначають сухі речовини та легку солодкуватість
Клітковина	близько 9,3 г	переважно залишається в окарі	потребує якісного фільтрування
Мінеральні речовини	4-5 г	частково переходять у напій	підвищують харчову цінність



Рис. 1.3. Діаграма поживного складу зрілого насіння сої

1.3 Сучасний стан ринку соєвого молока

Соєве молоко є частиною ширшого сегмента рослинних альтернатив молоку. Попит на такі продукти формується під впливом кількох чинників: зростання уваги до здорового харчування, поширення безлактозних і вегетаріанських раціонів, розвиток кавової культури та потреба у продуктах з тривалим терміном зберігання. На відміну від мигдалевого чи рисового молока, соєве молоко має вищий вміст білка, тому з технологічної точки зору воно ближче до традиційного молока за поживною цінністю.

У США рослинне молоко залишається найбільшою категорією рослинних продуктів: у 2025 році воно мало близько 13 % доларової частки у загальних продажах молока, а соєве молоко зберігало позицію третьої за обсягом одиничних продажів рослинної основи після мигдалевої та вівсяної [6]. Глобально, за оцінкою Grand View Research, ринок рослинного молока у 2024 році становив 20,84 млрд дол. США і може зрости до 32,35 млрд дол. США у 2030 році [7].



Рис. 1.4. Прогноз зростання світового ринку рослинного молока, млрд дол. США.

1.4 Аналіз технологій переробки сої у соєве молоко

Базова технологія виробництва соєвого молока складається з підготовки сировини, замочування, подрібнення у воді, екстрагування розчинних речовин, відокремлення окари, термічної обробки, охолодження та фасування. FAO описує традиційний спосіб як послідовність операцій миття, нічного замочування, помелу в суспензію, проціджування, кип’ятіння, повторного фільтрування та розливу [5]. У сучасних установках ці операції механізуються, а найбільша увага приділяється якості подрібнення, стабільності температурного режиму та санітарній безпеці.



Рис. 1.5. Узагальнена технологічна схема виробництва соєвого молока.

1.5 Порівняння наявних технологічних рішень

Таблиця 1.2 – Порівняльна характеристика технологій виробництва соєвого молока

Спосіб	Основні операції	Переваги	Недоліки	Доцільність застосування
Традиційний	замочування, ручне або просте механічне подрібнення, кип’ятіння, фільтрування	простота, низькі капітальні витрати	нестабільна якість, значні втрати, трудомісткість	домашнє або дуже мале виробництво
Механізований періодичний	ємність замочування, подрібнювач, варильна ємність, фільтр	доступність, ремонтопридатність, гнучкість партій	нерівномірність нагрівання, ручне завантаження, потреба у контролі	малі підприємства
Безперервна лінія	автоматизоване миття, дозування, подрібнення, сепарація, пастеризація, фасування	висока продуктивність, стабільність параметрів	висока ціна, складне обслуговування	середні та великі заводи
Кавітаційна або гідродинамічна	інтенсивне перемішування, диспергування і тепловий вплив у потоці	покращення екстракції, скорочення часу обробки	потреба у точному розрахунку режимів	модернізовані установки

Порівняння показує, що для кваліфікаційної роботи найбільш обґрунтованим є напрям модернізації періодичної установки малої або середньої продуктивності. Такий тип обладнання має простішу конструкцію, дешевший у виготовленні та краще пристосований до умов невеликих переробних підприємств. Водночас саме в таких установках найчастіше виникають проблеми неповного вилучення білка, нерівномірного подрібнення, перевитрати електроенергії та втрат продукту під час переходу між операціями.

1.6 Основні недоліки обладнання та напрями модернізації

Таблиця 1.3 – Типові проблеми обладнання для виробництва соєвого молока і шляхи їх усунення

Проблема існуючих установок	Причина	Наслідок	Напрям удосконалення
Недостатнє подрібнення бобів	мала інтенсивність дії робочих органів	зниження виходу білкових речовин	модернізація подрібнювального вузла
Нестабільний тепловий режим	недосконале регулювання нагрівання	ризик пригорання або неповної пастеризації	автоматизований контроль температури і тиску
Висока частка ручних операцій	відсутність узгоджених транспортних переходів	зростання трудомісткості	компоновка вузлів в єдину установку
Утворення грубодисперсної суспензії	нерівномірний зазор і зношування робочих поверхонь	погіршення смаку й стабільності напою	підбір раціональної частоти обертання та геометрії робочого органа

Аналіз наявних рішень свідчить, що модернізація має бути спрямована не лише на окремий робочий орган, а й на узгодження всієї технологічної схеми. Найбільший вплив на якість соєвого молока мають ступінь гідратації насіння, тонкість подрібнення, співвідношення води і сої, режим нагрівання та ефективність відокремлення окари. Тому конструкція установки повинна забезпечувати стабільне завантаження, інтенсивне диспергування сировини, можливість повторного пропуску суспензії через подрібнювач і безпечне нагрівання у закритій ємності.

Раціональна модернізація установки для виготовлення соєвого молока повинна забезпечити: підвищення виходу сухих речовин у готовому продукті; зменшення втрат білка в окарі; скорочення ручної праці; стабільність теплової обробки; зниження питомих енерговитрат; поліпшення санітарно-гігієнічних умов виробництва. Саме ці напрями доцільно покласти в основу подальшого проектування технологічного процесу та конструкторської розробки.

Висновки до розділу

У першому розділі встановлено, що соя є перспективною сировиною для виробництва рослинних білкових напоїв, а соєве молоко займає важливе місце серед продуктів її переробки. Сучасний ринок рослинного молока розвивається під впливом попиту на безлактозні, функціональні та високобілкові продукти. Аналіз технологічних схем показав, що основними операціями виробництва є очищення, замочування, подрібнення у водному середовищі, екстрагування, фільтрування та термічна обробка. Виявлено, що найбільш проблемними елементами малих установок є подрібнювальний вузол, регулювання теплового режиму та організація переходів між операціями. Тому подальше удосконалення технологічного процесу доцільно пов’язати з модернізацією конструкції установки для виготовлення соєвого молока.

РОЗДІЛ 2
ОБҐРУНТУВАННЯ ТЕХНОЛОГІЧНОГО ПРОЦЕСУ ПЕРЕРОБКИ СОЇ ДЛЯ ОТРИМАННЯ СОЄВОГО МОЛОКА

2.1. Вихідні передумови вибору технологічного процесу

Обґрунтування технологічного процесу виготовлення соєвого молока передбачає вибір такої послідовності операцій, яка забезпечує достатній перехід білків, водорозчинних вуглеводів і частини жирової фази із соєвих бобів у водну суспензію, мінімізує втрати сировини та створює умови для стабільної якості готового напою. Соєве молоко у технологічному розумінні є водним екстрактом цільних соєвих бобів, у якому дисперговані білки, вуглеводи і жирова фаза сої. Тому ефективність виробництва залежить не тільки від складу зерна, а й від режимів зволоження, тонкості подрібнення, інтенсивності перемішування, тривалості екстрагування, температури нагрівання і якості фільтрування.

У межах даної кваліфікаційної роботи технологічний процес розглядається для малої або середньої переробної дільниці, де доцільно використовувати компактну установку періодичної дії. Такий підхід відповідає умовам фермерського або навчально-виробничого підприємства, оскільки не потребує великої потокової лінії, але дає змогу поєднати основні операції: замочування, подрібнення, екстрагування, нагрівання та відокремлення нерозчинного залишку. У конструктивному розділі модернізована установка передбачає замочування партії сої до 25 кг із співвідношенням сировини та води 1:3, а також подальше подрібнення і термообробку суспензії.

Основним завданням другого розділу є не конструювання окремих вузлів, а вибір раціональних технологічних режимів, які мають бути покладені в основу модернізації установки для виготовлення соєвого молока. Обрана технологічна схема повинна забезпечити помірні енерговитрати,

зручність обслуговування, достатню продуктивність, стабільний вміст сухих речовин у продукті та безпечність готового напою.

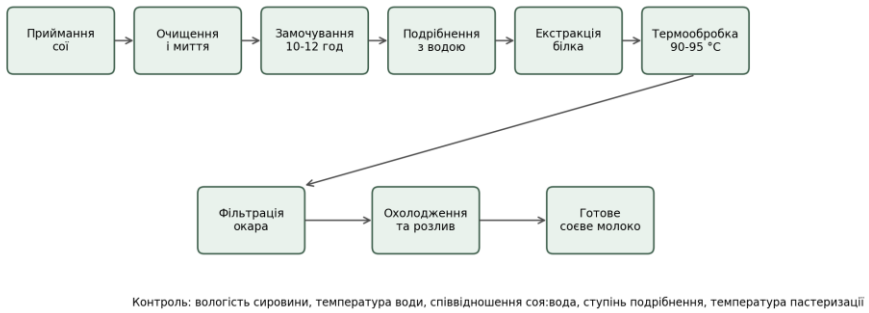


Рис. 2.1. Узагальнена технологічна схема виготовлення соєвого молока

2.2. Вимоги до сировини та води

Якість соєвого молока формується вже на етапі приймання сировини. Для переробки слід використовувати зрілі, сухі, чисті та неушкоджені боби сої без плісняви, стороннього запаху, ознак самозігрівання і засміченості. Наявність битого зерна, пилу, домішок, камінців і залишків рослинної маси ускладнює миття, підвищує зношування подрібнювального органу і може погіршувати органолептичні властивості готового продукту. Важливими показниками є вологість, масова частка білка, стан оболонки, однорідність розміру бобів і відсутність сторонніх включень.

З погляду харчової цінності соя є цінною білково-олійною сировиною. За довідковими даними харчового складу, у сухих зрілих соєвих бобах міститься близько третини білка і близько п'ятої частини жиру. Саме тому технологія виготовлення соєвого молока повинна бути спрямована на максимальне вилучення білково-жирової фази без надмірного руйнування якості продукту.

Не менш важливою є якість води. Вода бере участь у замочуванні, промиванні, подрібненні та формуванні кінцевої концентрації напою. Для технологічного процесу необхідна вода питної якості, без стороннього запаху, каламутності та надлишку мінеральних домішок. Від її властивостей

залежить швидкість набухання бобів, смак продукту, стабільність емульсії та санітарна безпека виробництва.

Таблиця 2.1 – Рекомендовані вимоги до соєвих бобів для виробництва соєвого молока

Показник	Рекомендоване значення	Технологічне значення
Стан зерна	зріле, ціле, без плісняви	забезпечує стабільний смак і безпечність
Вологість	до 12-14 %	зменшує ризик псування під час зберігання
Домішки	мінімальна кількість	знижує зношування робочих органів
Бите зерно	небажане, обмежено	погіршує миття і прискорює окиснення
Запах	властивий сої, без затхлості	впливає на органолептичну якість
Крупність	однорідна партія	забезпечує рівномірне замочування

2.3. Підготовка сої до переробки

Підготовка сировини включає очищення, сортування, миття і контроль придатності партії до замочування. На стадії очищення з маси бобів видаляють мінеральні, органічні та металомагнітні домішки. Для невеликої переробної дільниці достатньо передбачити решітне очищення, ручне або механізоване видалення крупних домішок та промивання у воді. Якщо в партії присутня значна кількість пилу або пошкодженого насіння, сировину доцільно промити повторно.

Миття виконує дві функції: зменшує мікробне забруднення поверхні зерна і видаляє частину забруднень, які не були відокремлені сухим очищенням. Після миття воду зливають, а боби спрямовують у ємність замочування. Важливо не залишати сою у забрудненій промивній воді, оскільки це погіршує смак і може підвищити мікробіологічні ризики. На практиці доцільно використовувати проточне промивання або дворазову зміну води.

Сортування за розміром не є обов'язковим для малих дільниць, однак воно покращує рівномірність набухання. Великі та дрібні боби поглинають воду з різною швидкістю, тому неоднорідна партія може призвести до того,

що частина сировини залишається надто твердою, а частина - надмірно розм'якшеною. Це впливає на навантаження подрібнювача і на повноту екстрагування білків.

Таблиця 2.2 - Основні операції підготовки сої до замочування

Операція	Мета виконання	Контрольний параметр	Очікуваний результат
Сухе очищення	видалення каміння, пилу, рослинних решток	наявність домішок	зниження механічного забруднення
Сортування	вирівнювання партії за крупністю	розмір і цілісність бобів	рівномірне набухання
Миття	змивання пилу і поверхневих забруднень	прозорість зливної води	покращення санітарного стану
Огляд партії	виявлення дефектного зерна	запах, колір, пліснява	відбракування непридатної сировини

2.4. Обґрунтування режиму замочування

Замочування є однією з найважливіших операцій, оскільки воно забезпечує набухання тканин бобів, розм'якшення клітинної структури і зменшення енерговитрат на подрібнення. За традиційною технологією соєві боби промивають, замочують протягом ночі, подрібнюють з водою, після чого суспензію фільтрують і нагрівають. Для модернізованої установки приймається тривалість замочування 10-12 год, що узгоджується з проектними параметрами ємності замочування і дає можливість організувати роботу у змінному режимі: ввечері завантажують сировину, а вранці виконують подрібнення та термічну обробку.

Раціональне співвідношення сої і води для замочування приймається 1:3. Для партії 25 кг сухої сої це відповідає 75 кг води. Частина води поглинається зерном, а решта після завершення процесу зливається. За результатами орієнтовного балансу маса зволожених бобів може досягати 50-55 кг. Такий стан сировини є оптимальним для подачі у подрібнювальний пристрій, оскільки зерно стає м'якшим, а оболонка легше руйнується.

Температура води під час замочування повинна бути помірною. Надто низька температура сповільнює набухання, а надто висока може сприяти небажаним мікробіологічним процесам або передчасним змінам білкової структури. Для умов невеликої дільниці доцільно використовувати воду температурою 18-25 °C і не перевищувати тривалість замочування без потреби. Після замочування воду необхідно повністю злити, а боби за можливості промити перед подрібненням.

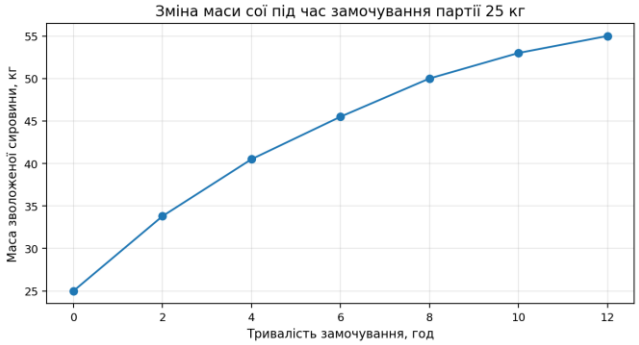


Рис. 2.2. Орієнтовна динаміка набухання сої під час 12-годинного замочування.

2.5. Подрібнення сої та екстрагування водорозчинних речовин

Подрібнення зволожених бобів у водному середовищі є центральною операцією процесу. Під час руйнування клітинної структури білки, частина вуглеводів, мінеральні речовини і жирова фаза переходять у дисперсну систему. Чим повніше розкриті клітини, тим більшим є вихід сухих речовин у соєве молоко. Водночас надмірно дрібне подрібнення ускладнює фільтрацію, збільшує в'язкість суспензії і може спричиняти швидше осадження дрібнодисперсних частинок у готовому продукті.

Для модернізованої установки доцільно застосувати багатоступеневий принцип руйнування бобів: попереднє захоплення і дроблення у приймальній зоні, подальше інтенсивне подрібнення між робочими поверхнями та рециркуляцію суспензії у разі потреби. Рециркуляція дає змогу підвищити однорідність дисперсії без збільшення габаритів обладнання. Важливо

підтримувати стабільну подачу води, щоб продукт не ущільнювався у зоні подрібнення і не створював надмірного навантаження на електродвигун.

Оптимальну тонкість подрібнення слід вибирати як компроміс між високим вилученням білкових речовин і зручністю фільтрування. Для малої установки прийнятним є отримання суспензії, у якій основна маса частинок достатньо дрібна для ефективного екстрагування, але не перетворює фільтрування на надто тривалий процес. Тому технологічно виправданим є контроль за однорідністю подрібнення, відсутністю цілих частинок і стабільністю витрати продукту.

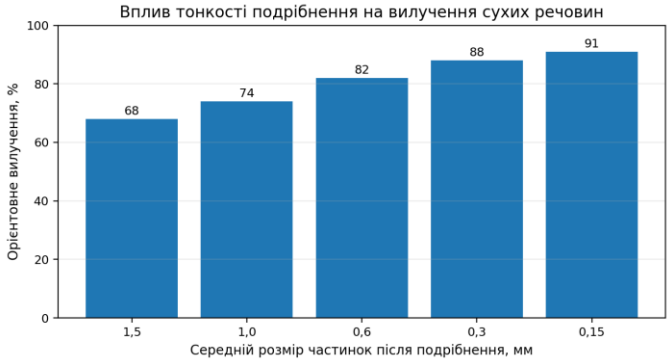


Рис. 2.3. Залежність повноти вилучення сухих речовин від тонкості подрібнення

Таблиця 2.3 – Вплив основних параметрів подрібнення на якість соєвого молока

Параметр	Низьке значення	Надмірне значення	Раціональний підхід
Подача води	густа маса, навантаження приводу	розбавлення продукту	стабільна дозована подача
Тонкість помелу	неповне вилучення білка	ускладнена фільтрація	середньодрібна дисперсія
Частота обертання	слабке руйнування клітин	нагрів і зношування	підбір за продуктивністю
Рециркуляція	нерівномірна суспензія	зайві витрати часу	повторне подрібнення за потреби

2.6. Термічна обробка соєвої суспензії

Термічна обробка потрібна для покращення смаку, зменшення активності ферментів, інактивування антипоживних чинників і підвищення

мікробіологічної безпечності напою. У сої присутні речовини, які можуть знижувати засвоюваність білка, зокрема інгібітори трипсину, а також ферменти, пов'язані з формуванням бобового присмаку. Контроль нагрівання повинен бути достатнім для технологічного ефекту, але не надмірним, оскільки занадто жорсткий режим може погіршити харчову цінність, колір і смак продукту.

Для установки періодичної дії доцільним є нагрівання суспензії до 90-95 °С з коротким витримуванням у цій зоні. Такий режим забезпечує пастеризаційний ефект і знижує активність небажаних ферментативних процесів. Наявність пароводяної сорочки або непрямого нагрівання є бажаною, оскільки дозволяє рівномірніше передавати тепло і зменшує ризик пригорання білково-вуглеводної маси до стінок ємності.

Під час нагрівання необхідно контролювати температуру, час витримування і перемішування. Якщо перемішування недостатнє, у пристінковій зоні можливе локальне перегрівання, а в центральній частині - недогрів. Це призводить до неоднорідності продукту. Удосконалення технологічного процесу має передбачати не тільки наявність нагрівача, а й зручну систему контролю, що дозволяє оператору підтримувати стабільний режим.

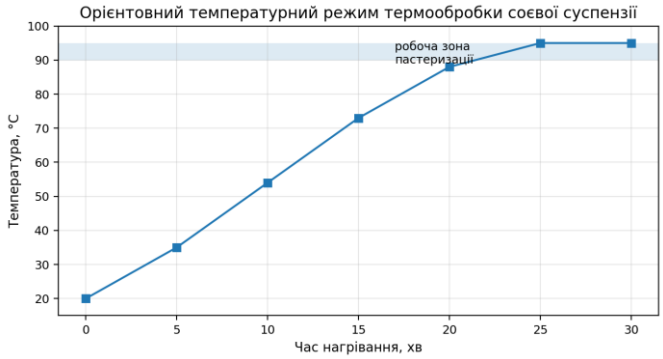


Рис. 2.5. Температурний графік термообробки соєвої суспензії.

2.7. Фільтрування, охолодження і формування готового продукту

Після екстрагування та нагрівання суспензію необхідно розділити на рідку фазу – соєве молоко - і нерозчинний залишок, який називають окарою.

Для малої установки найпростішим є фільтрування через сітчастий або тканинний фільтр, однак при збільшенні продуктивності доцільно використовувати механізоване відокремлення. Якість фільтрування визначає однорідність напою, кількість осаду під час зберігання і вихід готового продукту.

Окара містить частину волокон, білка і жиру, тому її не слід розглядати лише як відхід. Вона може бути використана як кормова добавка або як сировина для інших харчових виробів за умови дотримання санітарних вимог. Для технологічної дільниці важливо передбачити окрему тару для збору окари і своєчасне її видалення, оскільки вологий білково-вуглеводний залишок швидко псується.

Готове соєве молоко після фільтрування потрібно охолодити до температури зберігання або направити на фасування у гарячому стані, якщо це передбачено схемою. У навчально-виробничих умовах доцільним є охолодження до 6-8 °С і короткочасне зберігання у закритій харчовій тарі. Якщо продукт планується реалізовувати, необхідно застосовувати нормативні режими пастеризації, герметичне пакування, маркування і контроль терміну придатності.

Таблиця 2.4 – Орієнтовні технологічні режими операцій виготовлення соєвого молока

Операція	Режим	Контроль	Можливий дефект при порушенні
Замочування	10-12 год; соя:вода = 1:3	час, температура, повне занурення	тверді боби або кислий запах
Подрібнення	подача води під час помелу	однорідність суспензії	низький вихід або забивання фільтра
Екстрагування	інтенсивне перемішування	вміст сухих речовин	водянистий продукт
Термообробка	90-95 °С з витримкою	температура і час	бобовий присмак, мікробні ризики
Фільтрування	відокремлення окари	прозорість/осад	груба консистенція
Охолодження	до 6-8 °С	температура продукту	скорочення строку зберігання

2.8. Матеріальний баланс процесу

Матеріальний баланс потрібний для оцінки продуктивності установки, місткості ємностей, витрати води, кількості готового продукту та обсягу побічного залишку. Розрахунок виконано для партії 25 кг сухої сої, що відповідає прийнятому завантаженню ємності замочування. Баланс має орієнтовний характер, оскільки фактичний вихід залежить від сорту сої, тривалості замочування, ступеня подрібнення, співвідношення води при екстрагуванні і якості фільтрування.

Після 12-годинного замочування частина води поглинається бобами. Для подальшого подрібнення прийнято, що маса зволоженої сировини становить 55 кг. До неї додатково подається 110 кг технологічної води для формування суспензії необхідної концентрації. Отримана суспензія масою близько 165 кг після фільтрування розділяється на 135 кг соєвого молока, 28 кг окари і близько 2 кг технологічних втрат. За такого співвідношення вихід напою становить приблизно 5,4 кг на 1 кг сухої сої.

Таблиця 2.5 - Орієнтовний матеріальний баланс для партії 25 кг сухої сої

Стаття балансу	Маса, кг	Пояснення
Суха соя	25	основна сировина
Вода для замочування	75	співвідношення соя:вода = 1:3
Поглинута вода	30	входить до маси зволожених бобів
Зливна вода після замочування	45	видаляється із системи
Зволожені боби після замочування	55	надходять на подрібнення
Додаткова вода для екстрагування	110	формує робочу суспензію
Соєва суспензія перед фільтруванням	165	сума зволожених бобів і води
Готове соєве молоко	135	основний продукт
Окара	28	нерозчинний залишок
Технологічні втрати	2	залишки на обладнанні, фільтрі, трубопроводах



Рис. 2.6. Частка готового продукту, окари і втрат у вихідній суспензії.

2.9. Узгодження технологічного процесу з конструкцією установки

Запропонована технологічна схема повинна бути узгоджена з конструктивними особливостями установки. Оскільки установка містить ємність замочування, пристрій подрібнення, пристрій одержання соєвого молока, панель керування і раму, технологічний процес доцільно організувати як послідовність операцій із можливістю часткової рециркуляції суспензії. Це дає змогу не збільшувати кількість машин, але підвищити якість подрібнення і стабільність продукту.

Технологічним обмеженням є тривалість замочування. Вона займає найбільшу частку календарного часу, однак не потребує постійної участі оператора. Активна частина виробництва - миття, подрібнення, нагрівання, фільтрування і охолодження - значно коротша. Саме тому виробничий графік доцільно формувати так, щоб замочування відбувалося у неробочий період, а основні операції виконувалися у межах однієї зміни.

Модернізація установки повинна бути спрямована на підвищення рівномірності подачі зволоженої сої, зменшення ручних операцій, поліпшення контролю температури, підвищення безпечності обслуговування і спрощення санітарного миття. Важливо передбачити конструктивні

рішення, які дають змогу швидко промивати зони контакту з продуктом, оскільки білково-жирова суспензія легко прилипає до стінок і може бути джерелом забруднення при недостатньому очищенні.

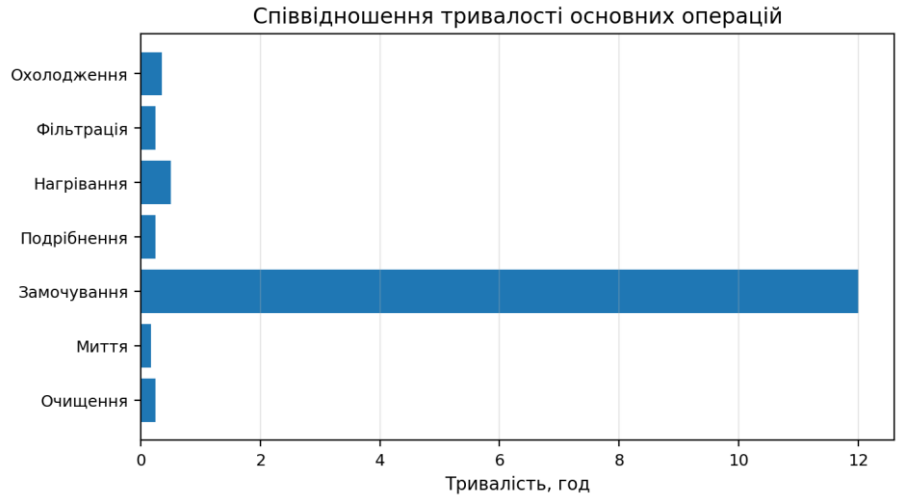


Рис. 2.7. Порівняння тривалості технологічних операцій у партійному процесі.

2.10. Контроль якості та санітарно-гігієнічні вимоги

Контроль якості у виробництві соєвого молока доцільно поділити на вхідний, операційний і вихідний. Вхідний контроль охоплює оцінку стану сої та води. Операційний контроль стосується тривалості замочування, температури, рівномірності подрібнення, відсутності сторонніх домішок у суспензії та режиму термообробки. Вихідний контроль передбачає оцінку смаку, запаху, кольору, консистенції, наявності осаду і температури продукту перед зберіганням.

Санітарна безпека є особливо важливою через високий вміст білка і вологи у продукті. Після закінчення роботи необхідно злити залишки продукту, промити ємності, подрібнювальний вузол, патрубки, крани та фільтрувальні елементи. Для деталей, що контактують із продуктом, слід застосовувати матеріали, дозволені для харчового обладнання, стійкі до корозії та мийних розчинів. Конструкція повинна мінімізувати застійні зони, гострі внутрішні кути і важкодоступні порожнини.

Під час експлуатації установки оператор має контролювати герметичність вузлів, справність електрообладнання, роботу нагрівальної системи і безпечне відведення пари. Особливу увагу слід приділяти температурному режиму, оскільки недостатнє нагрівання погіршує безпечність і смак, а перегрів може спричинити пригорання та погіршення органолептичних властивостей.

2.11. Висновки до розділу

У другому розділі обґрунтовано технологічний процес переробки сої для отримання соєвого молока. Встановлено, що раціональна схема повинна включати приймання і підготовку сировини, миття, замочування, подрібнення у водному середовищі, екстрагування білково-жирової фази, термічну обробку, фільтрування, охолодження і розлив готового продукту. Для партії 25 кг сухої сої прийнято замочування у співвідношенні соя:вода 1:3 протягом 10-12 год, що забезпечує достатнє набухання бобів і зменшує навантаження на подрібнювальний пристрій.

Показано, що якість соєвого молока найбільше залежить від стану сировини, якості води, тонкості подрібнення, режиму нагрівання і санітарного стану обладнання. Орієнтовний матеріальний баланс свідчить, що з партії 25 кг сухої сої можна отримати близько 135 кг соєвого молока за умови ефективного подрібнення та фільтрування. Побічним продуктом є окара, яку доцільно збирати окремо і використовувати у подальших технологічних або кормових напрямах.

Запропонований технологічний процес узгоджується з модернізованою конструкцією установки для виготовлення соєвого молока, оскільки передбачає роботу з партійним завантаженням, можливість повторного подрібнення суспензії, контроль температури і поетапне виконання операцій на компактному обладнанні. Надалі ці положення є основою для конструктивного вдосконалення установки та техніко-економічного обґрунтування проектних рішень.

РОЗДІЛ 3
ПРОЄКТУВАННЯ ТА РОЗРАХУНОК МОДЕРНІЗОВАНОЇ УСТАНОВКИ ДЛЯ ВИГОТОВЛЕННЯ СОЄВОГО МОЛОКА

Метою даного розділу є обґрунтування конструктивно-технологічного рішення установки, призначеної для переробки сої у харчовий білковий напій, а також виконання основних розрахунків вузлів, що визначають працездатність і надійність модернізованої машини. Удосконалення технологічного процесу спрямоване на поєднання підготовки сировини, мокрого подрібнення, теплової обробки суспензії та видачі готового продукту в межах одного компактного комплексу. Такий підхід дає змогу скоротити кількість ручних операцій, стабілізувати якість соєвого молока та зменшити втрати корисних водорозчинних речовин соєвого зерна.

За основу прийнято установку періодичної дії, у якій технологічні операції виконуються послідовно: промите зерно сої замочується у воді, після набухання подається в подрібнювальний пристрій, змішується з водою, перетворюється на тонкодисперсну суспензію та надходить у місткість одержання соєвого молока. Модернізація конструкції передбачає раціональніше компонування вузлів, застосування рециркуляційного подрібнення і керованого підігріву через пароводяну сорочку, що підвищує рівномірність обробки продукту.

3.1 Обґрунтування технологічної схеми установки

Технологія виробництва соєвого молока базується на вилученні білків, вуглеводів, мінеральних речовин і частини жирів із попередньо підготовленого насіння сої у водне середовище. Найважливішою умовою отримання стабільного продукту є достатнє набухання зерна перед подрібненням, оскільки зволожена сировина легше руйнується, а білкові фракції активніше переходять у водну фазу. Тому першим етапом технології

прийнято тривале замочування соєвого насіння за заданого співвідношення сировини і води.

Процес переробки доцільно організувати за схемою, у якій підготовлена сировина самопливом подається в подрібнювач, а отримана суспензія направляється у теплову місткість. За потреби продукт може повторно подаватися насосом у подрібнювальний вузол. Рециркуляція дає можливість зменшити середній розмір частинок, підвищити ступінь екстрагування водорозчинних компонентів і забезпечити однорідніщу консистенцію молока.

Загальна послідовність роботи модернізованої установки подана на рисунку 3.1.

Промивання сої → Замочування → Зливання води → Мокре подрібнення → Рециркуляція суспензії → Теплова обробка → Видача соєвого молока

Рис. 3.1. Узагальнена технологічна схема виготовлення соєвого молока

Комплекс складається з трьох основних технологічних зон: зони гідратації зерна, зони механічного руйнування зерна та зони теплової стабілізації продукту. Додатково передбачено панель керування, трубопроводи, вентилі, насос для повернення суспензії, зливну арматуру та опорну раму. Саме такий склад вузлів забезпечує достатню універсальність установки для невеликого переробного цеху або навчально-виробничої лабораторії.

Основними параметрами, що задають режим роботи установки, є місткість завантаження, співвідношення сої і води, тривалість замочування, частота обертання робочого органа подрібнювача, тиск у пароводяній сорочці та температура пастеризації. Для забезпечення стабільної роботи приймаємо максимальне одноразове завантаження сухої сої 25 кг. Воду для замочування беруть у співвідношенні 1:3, тобто на 25 кг зерна потрібно орієнтовно 75 кг води. Мінімальна тривалість замочування становить 12 год.

Привід робочого органа подрібнювача повинен забезпечувати високу швидкість відносного переміщення частинок у зоні ротора і статора.

Прийнята частота обертання приводного вала становить 5610 хв$^{-1}$. Нагрівання здійснюється у пароводяній сорочці, де надлишковий тиск підтримується в межах 0,05–0,40 кг/см². Такі значення дають змогу здійснювати теплову обробку суспензії без інтенсивного кипіння продукту у робочій місткості.

Таблиця 3.1 – Функціональне призначення основних вузлів модернізованої установки

Вузол установки	Основне призначення	Вплив на якість процесу
Місткість замочування	Приймання промитої сої, витримування зерна у воді та зливання відпрацьованої води	Забезпечує набухання зерна, зменшує енерговитрати на подрібнення
Подрібнювальний пристрій	Мокре руйнування зерна, змішування з водою, утворення соєвої суспензії	Формує дисперсність продукту та інтенсивність вилучення білка
Місткість одержання молока	Приймання суспензії, теплова обробка, стабілізація продукту	Дає можливість знизити мікробіологічне забруднення та покращити смакові властивості
Пароводяна сорочка	Передача тепла від пари до робочої місткості	Забезпечує рівномірне нагрівання без локального перегріву
Насос і трубопроводи	Повернення суспензії у подрібнювач або подача готового продукту	Підвищує однорідність за рахунок повторного проходження через робочі органи
Панель керування	Пуск електродвигунів, вибір режиму нагрівання, контроль роботи	Стабілізує параметри процесу і полегшує обслуговування

Таблиця 3.2 – Прийняті технологічні параметри процесу

Показник	Позначення	Прийняте значення
Максимальна маса сої для замочування	m_c	25 кг
Співвідношення соя : вода	–	1 : 3
Мінімальна тривалість замочування	$\tau_з$	12 год
Частота обертання вала подрібнювача	n	5610 хв$^{-1}$
Тиск у пароводяній сорочці	p	0,05–0,40 кг/см²
Кількість основних режимів нагрівання	–	3
Орієнтовна продуктивність подрібнювача	П	0,8 кг/с

3.2 Конструкція установки та принцип її роботи

Модернізована установка має рамну конструкцію. На рамі розміщуються місткість для замочування, подрібнювальний пристрій, місткість одержання соєвого молока з пароводяною сорочкою, насос, арматура і панель керування. Таке компонування дає можливість скоротити довжину транспортних комунікацій, спростити санітарне очищення та зменшити площу, необхідну для розміщення обладнання.

Перед початком роботи насіння сої очищають від домішок і промивають. Після цього його завантажують у місткість замочування. Кількість сухого зерна не повинна перевищувати прийнятої розрахункової норми, оскільки під час гідратації об’єм сої збільшується. У місткість подають воду і витримують зерно не менше 12 годин. Після завершення замочування відпрацьована вода відводиться через зливний вентиль у каналізаційну або технологічну систему збору.

Далі оператор підводить приймальну частину подрібнювального пристрою до випускної горловини місткості замочування і відкриває заслінку. Набухле зерно разом із дозованою кількістю води надходить у конусну приймальну воронку. Після пуску електродвигуна обертання через клинопасову передачу передається на вал і робочу насадку. Лопатеві та штифтові елементи захоплюють суміш, прискорюють її і спрямовують у робочу зону.

У зоні між ротором і статором зерно зазнає інтенсивних ударних, зсувних і стискальних дій. Попереднє руйнування відбувається у просторі між ребристими поверхнями, після чого частинки багаторазово проходять через зазори робочих органів. За рахунок високої частоти перекриття пазів ротора і статора формується диспергована водна суспензія сої. Одночасно відбувається перехід частини білкових і водорозчинних речовин у рідку фазу.

Отримана суспензія через похилий патрубок надходить у місткість одержання соєвого молока. Якщо дисперсність продукту недостатня, вмикається молочний насос, відкриваються відповідні вентилі, і суспензія

повторно подається до приймальної воронки подрібнювача. Повторне подрібнення є важливою особливістю модернізованої схеми, оскільки воно дозволяє регулювати якість продукту без заміни робочих органів.

Теплова обробка здійснюється в місткості одержання молока. Вода у парогенераторі нагрівається електронагрівачами до кипіння. Пара надходить у пароводяну сорочку і витісняє повітря через запобіжний клапан. Після появи стійкого виходу пари клапан закривають, а в сорочці створюється надлишковий тиск. Коли тиск досягає заданої верхньої межі, реле тиску змінює режим живлення нагрівачів або вимикає їх залежно від установленої програми роботи.

Температура продукту контролюється термометром, установленим у робочій зоні місткості. Видача готового соєвого молока здійснюється через зливний кран. У разі необхідності після теплової обробки продукт може бути додатково профільтрований або направлений на фасування.

3.3 Робочі режими теплової частини установки

Для підвищення гнучкості процесу у схемі керування передбачено три режими роботи теплової частини.

Таблиця 3.3 – Характеристика режимів нагрівання соєвої суспензії

Режим	Послідовність роботи нагрівачів	Доцільність застосування
1	Установка запускається на повну потужність. Після досягнення верхньої межі тиску потужність зменшується до 1/6. Коли тиск падає до нижньої межі, нагрівачі знову переходять на повну потужність.	Підходить для стабільного підтримання тиску під час тривалішої теплової обробки.
2	Нагрівачі працюють на повній потужності до досягнення верхньої межі тиску, після чого система вимикається.	Доцільний для швидкого нагрівання або при невеликому завантаженні місткості.
3	Після виходу на верхню межу тиску потужність зменшується до 1/6. При падінні тиску до нижньої межі вмикається 1/2 потужності, а після повторного досягнення верхньої межі система знову переходить на 1/6.	Оптимальний для рівномірного теплового режиму і зниження коливань температури продукту.

Вибір режиму залежить від маси завантаження, необхідної інтенсивності нагрівання, температури початкової суспензії та вимог до кінцевого продукту. Наявність декількох режимів дозволяє зменшити перевитрати електроенергії і підтримувати стабільний тиск у пароводяній сорочці.

З погляду енергоефективності найбільш збалансованим є третій режим. Він не допускає різкого охолодження пароводяної сорочки і водночас не потребує постійної роботи нагрівачів на повній потужності. Перший режим забезпечує простіше автоматичне регулювання, проте може мати більшу амплітуду коливань тиску. Другий режим є найпростішим, але потребує уважнішого контролю з боку оператора, оскільки після вимикання нагрівачів температура продукту змінюється за інерцією.

У модернізованій установці рекомендовано використовувати режим 3 як основний, режим 1 як резервний для підвищених навантажень, а режим 2 – для короткочасного прогріву або санітарної обробки робочої місткості.

3.4 Розрахунок пальця рухомого диска на міцність

Одним із відповідальних елементів подрібнювального вузла є палець рухомого диска. Під час роботи він сприймає навантаження від контакту із соєвою суспензією, а також інерційні сили, що виникають унаслідок обертання ротора. Для спрощення розрахункової схеми палець розглядаємо як консольний стрижень, закріплений у диску і навантажений робочою силою подрібнення та відцентровою силою.

Розрахункова схема включає дві складові навантаження: робочу силу Рр, що діє з боку продукту, і відцентрову силу Рц, яка залежить від маси пальця, кутової швидкості та радіуса його встановлення. Такий підхід дозволяє оцінити небезпечні напруження згину та зрізу у перерізі біля місця закріплення пальця.

$$P_ц = m \cdot \omega^2 \cdot r, \qquad (3.1)$$

де m – маса пальця, кг; ω – кутова швидкість диска, рад/с; r – радіус кола розміщення пальців, м.

Для розрахунку приймаємо: m = 0,15 кг; ω = 2,03 рад/с; r = 0,15 м. Після підстановки вихідних даних одержуємо $P_ц \approx 0,10$ Н.

Згинальний момент від дії відцентрової сили визначаємо за залежністю:

$$M_ц = 0,5 \cdot m \cdot \omega^2 \cdot r \cdot l, \quad (3.2)$$

де l – довжина пальця, м; l = 0,12 м. За прийнятими вихідними даними $M_ц = 0,04$ Н·м.

Момент від робочого опору подрібнення дорівнює:

$$M_р = Pр \cdot l. \quad (3.3)$$

За прийнятого робочого навантаження одержуємо $M_р = 0,004$ Н·м. Сумарний згинальний момент визначаємо як геометричну суму складових:

$$M_и = \sqrt{(M_ц^2 + M_р^2)}. \quad (3.4)$$

Результуюче значення становить $M_и = 0,04$ Н·м. Напруження згину у небезпечному перерізі пальця обчислюємо за формулою:

$$\sigma = 32 \cdot M_и / (\pi \cdot d^3), \quad (3.5)$$

де d – діаметр пальця, м. При d = 0,02 м за прийнятою розрахунковою методикою отримуємо σ = 21,3 МПа.

Напруження зрізу від сумарного поперечного навантаження визначаємо так:

$$\tau = 4 \cdot \sqrt{(Рц^2 + Рр^2)} / (\pi \cdot d^2). \quad (3.6)$$

Після підстановки числових значень отримуємо τ = 15,9 МПа. Еквівалентне напруження за третьою теорією міцності:

$$\sigma_{екв} = \sqrt{(\sigma^2 + 4\tau^2)}. \quad (3.7)$$

За результатами розрахунку σекв = 38,27 МПа. Коефіцієнт запасу міцності визначаємо зі співвідношення:

$$n = \sigma_т / \sigma_{екв}. \quad (3.8)$$

Розрахунковий коефіцієнт запасу міцності пальця становить n = 4,6. Оскільки отримане значення більше від мінімально допустимого, палець

рухомого диска може працювати без руйнування за прийнятих навантажень. Це підтверджує правильність вибору діаметра і матеріалу елемента.

Таблиця 3.4 – Узагальнення результатів розрахунку пальця рухомого диска

Показник	Позначення	Значення
Маса пальця	m	0,15 кг
Кутова швидкість диска	ω	2,03 рад/с
Радіус встановлення пальців	r	0,15 м
Довжина пальця	l	0,12 м
Відцентрова сила	$P_ц$	0,10 Н
Результуючий згинальний момент	$M_и$	0,04 Н·м
Напруження згину	σ	21,3 МПа
Напруження зрізу	τ	15,9 МПа
Еквівалентне напруження	$σ_{екв}$	38,27 МПа
Коефіцієнт запасу міцності	n	4,6

3.5 Технологічний та енергетичний розрахунок дисмембратора

У штифтовому дисмембраторі основна частина механічної енергії, що витрачається на подрібнення, перетворюється на теплоту. Нагрівання продукту під час руйнування частинок має двоїстий вплив: з одного боку, воно сприяє екстрагуванню водорозчинних речовин, а з іншого – за надмірного підвищення температури може погіршити якість білкового напою. Тому енергетичний розрахунок потрібний не лише для вибору приводу, а й для оцінювання температурного режиму продукту.

Кількість теплоти, що виділяється у процесі подрібнення, визначаємо через електричні параметри приводу:

$$Q = \sqrt{3} \cdot I \cdot U \cdot \cos\varphi \cdot \eta_0, \qquad (3.9)$$

де I – сила струму, А; U – напруга живлення, В; cosφ – коефіцієнт потужності електродвигуна; η_0 – загальний коефіцієнт корисної дії двигуна і приводного механізму. За прийнятими значеннями параметрів Q = 2422 Вт.

Теплота, що виникає при подрібненні, витрачається на нагрівання продукту і повітря, яке потрапляє у робочу зону. Без урахування втрат у навколишнє середовище тепловий баланс можна записати так:

$$П \cdot c \cdot T_1 + G_в \cdot c_в \cdot T_в + Q = П \cdot c \cdot T_2 + G_в \cdot c_в \cdot T_2, \quad (3.10)$$

де П - продуктивність подрібнювача, кг/с; с – питома теплоємність продукту, Дж/(кг·К); Gв – масова витрата повітря, кг/с; $c_в$ – питома теплоємність повітря, Дж/(кг·К); T_1 – початкова температура продукту, °С; $T_в$ – температура повітря, °С; T_2 – кінцева температура суміші, °С.

Кількість повітря, що бере участь у теплообміні, розраховуємо за концентрацією суміші:

$$G_в = П / \mu, \quad (3.11)$$

де μ – концентрація суміші, кг/кг. Для водно-соєвої суспензії приймаємо μ = 0,35…0,45. Після підстановки розрахункових даних отримуємо Gв = 10 кг/с.

Кінцеву температуру продукту після проходження через подрібнювач визначаємо з рівняння теплового балансу:

$$T_2 = (П \cdot c \cdot T_1 + G_в \cdot c_в \cdot T_в + Q) / (П \cdot c + G_в \cdot c_в). \quad (3.12)$$

Розрахунок показує, що T_2 = 50,1 °С. Отримане значення не перевищує температур, небезпечних для різкого погіршення білкових властивостей продукту, і може розглядатися як попередній підігрів перед основною тепловою обробкою у місткості одержання молока.

Продуктивність подрібнювального пристрою визначається геометричними параметрами дисків, коефіцієнтом заповнення робочого зазору, густиною продукту та кутовою швидкістю обертання:

$$П = 1800 \cdot \pi \cdot a \cdot k_1^2 \cdot k_2 \cdot \varphi \cdot \rho \cdot D^2 \cdot \delta \cdot \omega. \quad (3.13)$$

У формулі а – кількість паралельно працюючих зазорів; $k_1 = d_1/d_2$ – відношення внутрішнього діаметра робочої накладки до зовнішнього; k_2 – дослідний коефіцієнт, що враховує радіальну швидкість продукту; φ – коефіцієнт заповнення зазору; ρ – густина продукту, кг/м³; D – зовнішній діаметр диска, м; δ – робочий зазор, м; ω – кутова швидкість диска, рад/с. Для

розрахунку приймаємо $k_1 = 0,7$; $k_2 = 0,01$; $\varphi = 0,7…0,8$. Після підстановки прийнятих значень продуктивність подрібнювача становить П = 0,8 кг/с.

Таблиця 3.5 – Основні результати технологічно-енергетичного розрахунку

Показник	Позначення	Розрахункове значення
Теплота, що виділяється при подрібненні	Q	2422 Вт
Концентрація суміші	μ	0,35…0,45 кг/кг
Масова витрата повітря	$G_в$	10 кг/с
Кінцева температура продукту	T_2	50,1 °C
Коефіцієнт k_1	k_1	0,7
Коефіцієнт k_2	k_2	0,01
Коефіцієнт заповнення зазору	φ	0,7…0,8
Продуктивність подрібнювача	П	0,8 кг/с

3.6 Кінематичний розрахунок приводу установки

Привід подрібнювального пристрою повинен забезпечувати необхідну частоту обертання робочого органа і водночас мати достатній запас потужності для запуску під навантаженням. У конструкції прийнято клинопасову передачу, оскільки вона проста в обслуговуванні, зменшує динамічні навантаження на вал і частково компенсує неточності монтажу.

Вихідними даними для кінематичного розрахунку є: пружна сила на валу Ft = 3000 Н; кутова швидкість вала ω = 10 рад/с; середній діаметр D = 0,30 м; заданий ресурс приводу t = 10000 год.

Крутний момент на валу визначаємо за залежністю:

$$T = Ft \cdot D / 2. \quad (3.14)$$

Після підстановки вихідних даних маємо:

$$T = 3000 \cdot 0,30 / 2 = 450 \text{ Н·м}.$$

Потужність, необхідну для виконання технологічного процесу, визначаємо так:

$$P = T \cdot \omega. \quad (3.15)$$

$$P = 450 \cdot 10 = 4500 \text{ Вт} = 4,5 \text{ кВт}.$$

Потрібна потужність електродвигуна з урахуванням втрат у приводі становить:

$$Рдв = Р / ηзаг, \quad (3.16)$$

де $η_{заг}$ – загальний коефіцієнт корисної дії приводу. Його визначаємо як добуток ККД підшипників кочення та клинопасової передачі:

$$η_{заг} = η_1 \cdot η_2. \quad (3.17)$$

Для розрахунку приймаємо $η_1 = 0,99$; $η_2 = 0,92$. Тоді $ηзаг = 0,99 \cdot 0,92 = 0,91$. Відповідно:

$$Рдв = 4,5 / 0,91 = 4,94 \text{ кВт}.$$

За результатами розрахунку встановлено, що приводний електродвигун повинен мати номінальну потужність не менше 4,94 кВт. Для забезпечення надійної роботи установки доцільно приймати двигун найближчої більшої стандартної потужності. У розрахунковій схемі базовим приймається двигун типу АІР із частотою обертання ротора nдв = 2805 $хв^{-1}$; за потреби експлуатаційного запасу потужності допускається застосування типорозміру 5,5 кВт.

Межі потрібної кутової швидкості електродвигуна оцінюємо за загальним передаточним числом клинопасової передачі:

$$ω_{дв\ min} = i_{заг\ min} \cdot ω; \quad ω_{дв\ max} = i_{заг\ max} \cdot ω. \quad (3.18)$$

Мінімальне та максимальне передаточні відношення приймаємо відповідно $i_{заг\ min} = 3$ та $i_{заг\ max} = 5$. Тоді:

$$ω_{дв\ min} = 3 \cdot 10 = 30 \text{ рад/с}; \quad ω_{дв\ max} = 5 \cdot 10 = 50 \text{ рад/с}.$$

Прийнятий електродвигун із частотою обертання 2805 $хв^{-1}$ відповідає умові забезпечення необхідної швидкості робочого органа після добору шківів клинопасової передачі.

3.7 Розрахунок клинопасової передачі

Клинопасова передача використовується для передавання обертального руху від електродвигуна до вала подрібнювального вузла. Вона повинна

забезпечити потрібне передаточне відношення, достатню тягову здатність, довговічність пасів і допустимі навантаження на вали.

За результатами попередніх розрахунків приймаємо: передаточне число $U = 1{,}9$; потужність на ведучому шківі $N_1 = 4{,}8$ кВт; крутний момент $M_1 = 65$ Н·м; частота обертання ведучого шківа $n_1 = 2805$ хв$^{-1}$. За крутним моментом вибираємо клиновий пас перерізу А.

Діаметр малого шківа приймаємо за стандартним рядом $d_1 = 100$ мм. Діаметр більшого шківа попередньо визначаємо як:

$$d_2 = d_1 \cdot U = 100 \cdot 1{,}9 = 190 \text{ мм}.$$

З урахуванням стандартних значень приймаємо $d_2 = 180$ мм. Фактичне передаточне відношення уточнюємо з урахуванням ковзання паса $\varepsilon = 0{,}015$. Відхилення від заданого значення становить близько 2 %, що менше допустимих 3 %, тому прийняті діаметри шківів є придатними.

Мінімальна і максимальна міжосьові відстані визначаються за геометричними умовами розміщення паса:

$$a_{min} = 0{,}55 \cdot (d_1 + d_2) + h, \tag{3.19}$$

$$a_{max} = 2 \cdot (d_1 + d_2). \tag{3.20}$$

Для паса перерізу А висота профілю $h = 14$ мм. Отже:

$$a_{min} = 0{,}55 \cdot (100 + 180) + 14 = 168 \text{ мм};$$

$$a_{max} = 2 \cdot (100 + 180) = 560 \text{ мм}.$$

У межах допустимого інтервалу приймаємо міжосьову відстань $a = 380$ мм. Розрахункова довжина паса становить 1260 мм, після округлення за стандартним рядом приймаємо $L = 1250$ мм. Після уточнення міжосьова відстань залишається близькою до 380 мм.

Кут обхвату малого шківа визначаємо за співвідношенням:

$$\alpha_1 = 180° - 60 \cdot (d_2 - d_1) / a. \tag{3.21}$$

$$\alpha_1 = 180° - 60 \cdot (180 - 100) / 380 = 167°.$$

Оскільки $\alpha_1 = 167°$ більше від мінімально допустимого значення 120°, передача має достатню тягову здатність. Колова швидкість паса дорівнює:

$$V = \pi \cdot d_1 \cdot n_1 / (60 \cdot 1000) = 14{,}682 \text{ м/с}. \tag{3.22}$$

Число пробігів паса за секунду становить $\lambda = V / L = 0{,}02\ с^{-1}$, що значно менше допустимого значення. Отже, за критерієм довговічності пас працює у сприятливому режимі.

Колова сила, що передається пасом, розраховується як відношення потужності до колової швидкості:

$$P_t = N_1 / V. \quad (3.23)$$

За прийнятими даними $P_t = 4$ Н. З урахуванням коригувальних коефіцієнтів довжини паса $C_L = 0{,}97$, кута обхвату $C_\alpha = 0{,}961$ та режиму роботи $C_p = 0{,}865$ кількість пасів становить $z = 1{,}6$. Приймаємо два паси, що забезпечує необхідний запас тягової здатності.

Зусилля попереднього натягу одного паса визначаємо за площею перерізу $F = 30$ мм² та допустимим напруженням попереднього натягу $\sigma_0 = 1{,}6$ Н/мм²:

$$S_0 = \sigma_0 \cdot F = 1{,}6 \cdot 30 = 48\ Н. \quad (3.24)$$

Зусилля у ведучій та веденій вітках, а також результуюче навантаження на вали приймаємо за розрахунковими значеннями: $S_1 = 9$ Н, $S_2 = 8$ Н, $Q = 12$ Н. Для паса типу А прийнято такі геометричні параметри канавки шківа: $c = 18{,}6$ мм; $e = 15$ мм; $t = 12$ мм; $s = 13$ мм; кут профілю канавки – 34°.

Таблиця 3.6 – Параметри прийнятої клинопасової передачі

Параметр	Позначення	Значення
Переріз паса	–	А
Передаточне число	U	1,9
Діаметр малого шківа	d_1	100 мм
Діаметр більшого шківа	d_2	180 мм
Міжосьова відстань	a	380 мм
Стандартна довжина паса	L	1250 мм
Кут обхвату малого шківа	α_1	167°
Колова швидкість паса	V	14,682 м/с
Кількість пасів	z	2
Зусилля попереднього натягу	S_0	48 Н

3.8 Розрахунок вала подрібнювального пристрою

Вал подрібнювального вузла сприймає крутний момент від приводу, згинальні навантаження від пасової передачі та сили, що виникають під час роботи ротора. Розрахунок вала виконуємо у два етапи: попередньо визначаємо діаметри ступенів за допустимими напруженнями кручення, а потім перевіряємо найбільш небезпечний переріз за запасом втомної міцності.

3.8.1 Попередній розрахунок вала

Попередній розрахунок проводимо за умовою міцності на кручення. Для вихідного кінця вала приймаємо допустиме дотичне напруження $[\tau] = 25$ МПа. Діаметр визначаємо за формулою:

$$d = \sqrt[3]{(16 \cdot T_к / (\pi \cdot [\tau]))}. \quad (3.25)$$

За розрахунковим крутним моментом отримуємо $d = 21{,}4$ мм. Найближче прийняте конструктивне значення – $d = 22$ мм. Для ступеня під шків клинопасової передачі приймаємо $d = 24$ мм, під підшипники – 30 і 35 мм, для середньої частини вала – 38 мм.

Довжини ступенів визначаються з урахуванням ширини шківа, розміщення підшипникових вузлів, необхідних монтажних зазорів і конструкції робочої камери подрібнювача. Прийнята ступінчаста форма вала полегшує монтаж деталей, забезпечує фіксацію підшипників і дає можливість зручно встановити ведений шків.

Шпонкове з’єднання перевіряємо за умовою міцності при зминанні:

$$\sigma_{зм} = 2 \cdot T / [d \cdot l_{роб} \cdot (h - t_1)] \le [\sigma]. \quad (3.26)$$

Для прийнятих розмірів шпонки та допустимого напруження $[\sigma] = 100$ МПа умова виконується. Отже, шпонкове з’єднання може передавати розрахунковий крутний момент без зминання робочих поверхонь.

3.8.2 Уточнений розрахунок вала

Уточнений розрахунок виконується для перевірки запасу міцності в небезпечному перерізі. Приймаємо, що нормальні напруження від згину змінюються за симетричним циклом, а дотичні напруження від кручення – за

пульсуючим циклом. Така схема відповідає реальним умовам роботи обертового вала з постійним крутним моментом.

Матеріал вала – сталь 45 після поліпшення. Для заготовки діаметром до 90 мм приймаємо тимчасовий опір σв = 780 МПа. Границя витривалості при симетричному циклі згину становить:

$$\sigma_{-1} \approx 0{,}43 \cdot \sigma_в = 0{,}43 \cdot 780 = 335 \text{ МПа}. \quad (3.27)$$

Границя витривалості при симетричному циклі дотичних напружень:

$$\tau_{-1} = 0{,}58 \cdot \sigma_{-1} = 0{,}58 \cdot 335 = 193 \text{ МПа}. \quad (3.28)$$

Для небезпечного перерізу Б–Б діють сумарний згинальний момент $M_{зг}$ = 32,27 Н·м і крутний момент M_2 = 35 Н·м. Концентрація напружень зумовлена наявністю шпонкової канавки. Приймаємо коефіцієнти k_σ = 1,9; kτ = 1,9; ε_σ = 0,92; ε_τ = 0,86.

Осьовий момент опору перерізу з урахуванням шпонкової канавки визначаємо за виразом:

$$W = \pi \cdot d^3 / 32 - b \cdot t_1 \cdot (d - t_1)^2 / (2 \cdot d). \quad (3.29)$$

Після підстановки d = 22 мм, b = 6 мм, t_1 = 6 мм отримуємо W = 1,944 · 10^3 мм³. Амплітуда нормальних напружень згину становить:

$$\sigma_v = M_{зг} / W = 1{,}65 \cdot 10^{-3} \text{ МПа}. \quad (3.30)$$

Середнє нормальне напруження при симетричному циклі дорівнює нулю. Коефіцієнт запасу міцності за нормальними напруженнями:

$$s_\sigma = \sigma_{-1} / [(k_\sigma / (\varepsilon_\sigma \cdot \beta)) \cdot \sigma_v + \psi_\sigma \cdot \sigma_m] = 9185. \quad (3.31)$$

Полярний момент опору крученню для цього самого перерізу дорівнює:

$$W_k = \pi \cdot d^3 / 16 - b \cdot t_1 \cdot (d - t_1)^2 / (2 \cdot d) = 1{,}944 \cdot 10^3 \text{ мм}^3. \quad (3.32)$$

Амплітуда і середнє значення дотичних напружень для пульсуючого циклу:

$$\tau_v = \tau_m = M_2 / (2 \cdot W_k) = 9{,}002 \cdot 10^{-3} \text{ МПа}. \quad (3.33)$$

Коефіцієнт запасу міцності за дотичними напруженнями визначаємо за формулою:

$$s_\tau = \tau_{-1} / [(k_\tau / (\varepsilon_\tau \cdot \beta)) \cdot \tau_v + \psi_\tau \cdot \tau_m] = 7{,}045. \quad (3.34)$$

Результуючий коефіцієнт запасу міцності для небезпечного перерізу:

$$s = (s_\sigma \cdot s_\tau) / \sqrt{(s\sigma^2 + s\tau^2)}. \quad (3.35)$$

$$s = 7{,}045 > [s] = 2{,}5.$$

Отриманий результат свідчить, що вал задовольняє вимоги міцності та може експлуатуватися у складі модернізованої установки. Найменший запас визначається дотичними напруженнями, тому при подальшому вдосконаленні конструкції доцільно звернути увагу на якість виготовлення шпонкової канавки, радіуси переходів між ступенями і точність балансування ротора.

Таблиця 3.7 – Підсумкові дані розрахунку вала

Показник	Позначення	Значення
Матеріал вала	–	Сталь 45, поліпшення
Тимчасовий опір	$\sigma_в$	780 МПа
Границя витривалості при згині	σ_{-1}	335 МПа
Границя витривалості при крученні	τ_{-1}	193 МПа
Згинальний момент у небезпечному перерізі	Мзг	32,27 Н·м
Крутний момент	M_2	35 Н·м
Осьовий момент опору	W	$1{,}944 \cdot 10^3$ мм³
Полярний момент опору	Wk	$1{,}944 \cdot 10^3$ мм³
Запас за нормальними напруженнями	sσ	9185
Запас за дотичними напруженнями	sτ	7,045
Результуючий запас міцності	s	7,045

Висновки по розділу

У розділі розроблено і обґрунтовано технологічно-конструктивну схему модернізованої установки для виготовлення соєвого молока. Запропонована схема поєднує замочування сої, мокре подрібнення, рециркуляційне доведення суспензії до необхідної дисперсності, теплову обробку у місткості з пароводяною сорочкою та видачу готового продукту. Компактне розміщення вузлів на спільній рамі зменшує кількість допоміжних операцій і підвищує зручність обслуговування.

Визначено основні технологічні параметри: маса одноразового завантаження сої – до 25 кг, співвідношення сої і води – 1:3, мінімальна тривалість замочування – 12 год, частота обертання вала подрібнювача – 5610 хв$^{-1}$, тиск у пароводяній сорочці – 0,05–0,40 кг/см^2. Розглянуто три режими нагрівання, з яких найбільш доцільним для стабільної роботи є режим зі ступінчастим регулюванням потужності нагрівачів.

Проведено розрахунок пальця рухомого диска. Розрахункове еквівалентне напруження становить 38,27 МПа, а коефіцієнт запасу міцності – 4,6, що підтверджує працездатність елемента. За енергетичним розрахунком штифтового дисмембратора визначено тепловиділення 2422 Вт, кінцеву температуру продукту після подрібнення 50,1 °С та продуктивність подрібнювача 0,8 кг/с.

Кінематичний розрахунок показав, що потрібна потужність електродвигуна з урахуванням втрат у приводі становить 4,94 кВт. Обґрунтовано застосування клинопасової передачі з пасами перерізу А, діаметрами шківів 100 і 180 мм, міжосьовою відстанню 380 мм та двома пасами. Перевірка вала за втомною міцністю дала результуючий коефіцієнт запасу s = 7,045, що перевищує допустиме значення [s] = 2,5. Отже, конструкція модернізованої установки відповідає умовам міцності, продуктивності та технологічної доцільності.

РОЗДІЛ 4
ТЕХНІКО-ЕКОНОМІЧНЕ ОБҐРУНТУВАННЯ ПРОЄКТНИХ РІШЕНЬ

4.1 Вихідні положення та мета економічного обґрунтування

Техніко-економічне обґрунтування проектних рішень виконується з метою встановлення доцільності модернізації установки для виготовлення соєвого молока та визначення очікуваного виробничого ефекту від удосконалення технологічного процесу переробки сої. У попередніх розділах обґрунтовано технологічну схему, яка поєднує замочування, подрібнення, екстрагування водорозчинних речовин і термічну обробку соєвої суспензії. У цьому розділі розглянуто економічні наслідки впровадження такої схеми у виробничих умовах невеликого переробного підприємства.

Економічна ефективність модернізації оцінюється за показниками продуктивності, собівартості одиниці продукції, річного прибутку, точки беззбитковості та строку окупності додаткових капітальних вкладень. Розрахунки мають проектний характер, тому вартісні показники прийнято як умовно-розрахункові для порівняння базового та модернізованого варіантів. Основним результатом модернізації вважається зменшення втрат сировини, скорочення енерговитрат, підвищення стабільності якості готового продукту та збільшення добового випуску соєвого молока.

Таблиця 4.1 – Вихідні дані для техніко-економічного розрахунку

Показник	Позначення	Значення	Одиниця виміру
Завантаження сої за один цикл	$G_с$	25	кг
Співвідношення сої і води під час замочування	1 : 3	прийнято	-
Тривалість замочування	tз	12	год
Вихід соєвого молока з 1 кг сої	q	7,0	л/кг
Кількість циклів за робочу зміну	$n_ц$	2	цикли
Кількість робочих днів на рік	$Д_р$	250	днів
Гуртова ціна реалізації соєвого молока	Ц	26,0	грн/л
Додаткові вкладення на модернізацію	$К_д$	85 000	грн

4.2 Розрахунок виробничої програми

Виробнича програма визначається за кількістю сировини, яка переробляється протягом одного технологічного циклу, та розрахунковим виходом готового продукту. Для установки, що модернізується, приймається завантаження 25 кг соєвих бобів за цикл. За середнього виходу 7,0 л соєвого молока з 1 кг сухої сої обсяг продукції з одного циклу становить:

$$Q_ц = G_с \cdot q = 25 \cdot 7{,}0 = 175 \text{ л}.$$

Добовий випуск продукції за умови виконання двох циклів протягом зміни становитиме:

$$Q_д = Q_ц \cdot n_ц = 175 \cdot 2 = 350 \text{ л/добу}.$$

Річний випуск продукції визначається множенням добової продуктивності на кількість робочих днів підприємства:

$$Q_р = Q_д \cdot Д_р = 350 \cdot 250 = 87\,500 \text{ л/рік}.$$

Для порівняння прийнято, що базова установка за рахунок більш тривалого допоміжного часу та нижчої стабільності процесу забезпечувала в середньому 1,6 циклу за зміну, тобто 280 л/добу або 70 000 л/рік. Отже, модернізація дозволяє збільшити річну виробничу програму на 17 500 л, що є одним з основних джерел економічного ефекту.

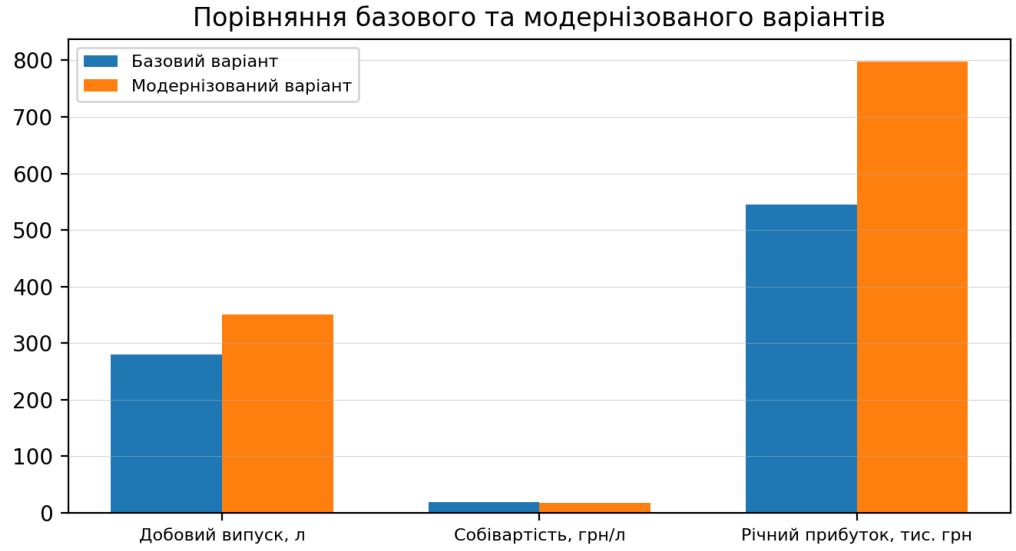


Рис. 4.1. Порівняння основних показників базового та модернізованого варіантів.

4.3 Визначення капітальних витрат на модернізацію

Капітальні витрати охоплюють вартість виготовлення або придбання модернізованих вузлів, монтажні роботи, налаштування системи керування та проектно-конструкторські витрати. Особливу увагу приділено вузлу подрібнення, елементам теплообмінної частини, системі перекачування соєвої суспензії та електричній апаратурі керування, оскільки саме ці елементи найбільше впливають на енергоємність і безперервність процесу.

Таблиця 4.2 – Орієнтовна структура капітальних витрат.

Стаття витрат	Вартість, грн	Частка, %	Призначення
Модернізований подрібнювальний вузол	45 000	24,3	підвищення інтенсивності подрібнення
Теплообмінна частина і пароводяна сорочка	34 000	18,4	стабілізація теплового режиму
Молочний насос, трубопроводи, арматура	19 000	10,3	повторне подрібнення і перекачування
Панель керування та засоби контролю	28 000	15,1	автоматизація режимів роботи
Рама, кожухи, опори, кріплення	18 000	9,7	компонування установки
Монтажні та пусконалагоджувальні роботи	25 000	13,5	введення у роботу
Проектно-конструкторські витрати	16 000	8,7	розроблення документації
Разом	185 000	100,0	-

Повна орієнтовна вартість модернізованої установки становить 185 тис. грн. Оскільки частина базових елементів може бути використана повторно, додаткові капітальні вкладення, пов’язані саме з модернізацією, прийнято на рівні 85 тис. грн. Саме ця сума використовується для визначення строку окупності проектного рішення.

4.4 Розрахунок експлуатаційних витрат і собівартості продукції

Собівартість соєвого молока формується за рахунок витрат на сировину, воду, електроенергію, оплату праці, пакувальні матеріали, санітарне оброблення обладнання, технічне обслуговування та амортизацію. Модернізація установки не змінює основний вид сировини, однак дозволяє зменшити втрати під час подрібнення й відокремлення нерозчинного

залишку, а також скоротити питомі витрати електроенергії завдяки більш раціональному режиму роботи приводу та термічної частини.

Таблиця 4.3 – Розрахунок змінних витрат на 1 л готової продукції

Стаття витрат	Норма витрати	Ціна	Сума, грн/л	Примітка
Соя	0,143 кг/л	18,0 грн/кг	2,57	за виходу 7,0 л/кг
Вода технологічна	3,0 л/л	0,02 грн/л	0,06	замочування і промивання
Електроенергія	0,22 кВт·год/л	6,50 грн/кВт·год	1,43	подрібнення, насос, нагрів
Оплата праці	0,010 люд·год/л	90 грн/год	0,90	оператор установки
Пакування	1 компл./л	9,50 грн/л	9,50	пляшка, кришка, етикетка
Мийні засоби та санітарна обробка	-	-	0,35	після завершення зміни
Поточне технічне обслуговування	-	-	0,40	мастила, дрібні матеріали
Разом змінні витрати	-	-	15,21	-



Рис. 4.2. Структура змінних витрат на виробництво 1 л соєвого молока.

До постійних витрат віднесено амортизаційні відрахування, частину витрат на ремонт, адміністративно-виробничі витрати та витрати на утримання виробничого приміщення. Річна сума постійних витрат для модернізованої установки прийнята 146 450 грн. Тоді питома частка постійних витрат у собівартості одиниці продукції становить:

$$C_{пост} = 146\,450 / 87\,500 = 1{,}67 \text{ грн/л.}$$

Повна проектна собівартість 1 л соєвого молока для модернізованого варіанта дорівнює сумі змінних і постійних витрат:

$$C_м = 15{,}21 + 1{,}67 = 16{,}88 \text{ грн/л.}$$

4.5 Оцінка економічного ефекту та строку окупності

Річна виручка від реалізації продукції визначається множенням річного обсягу виробництва на розрахункову ціну реалізації. За ціни 26,0 грн/л і річного випуску 87 500 л вона становить:

$$Вр = Qр \cdot Ц = 87\,500 \cdot 26{,}0 = 2\,275\,000 \text{ грн.}$$

Річні повні витрати на виробництво соєвого молока за модернізованою схемою становлять:

$$Зр = Qр \cdot См = 87\,500 \cdot 16{,}88 = 1\,477\,000 \text{ грн.}$$

Очікуваний річний прибуток до оподаткування становитиме:

$$Пр = Вр – Зр = 2\,275\,000 – 1\,477\,000 = 798\,000 \text{ грн.}$$

Таблиця 4.4 – Порівняння економічних показників базового та модернізованого варіантів

Показник	Базовий варіант	Модернізований варіант	Відхилення
Добовий випуск продукції, л	280	350	+70
Річний випуск продукції, л	70 000	87 500	+17 500
Питома витрата електроенергії, кВт·год/л	0,28	0,22	-0,06
Повна собівартість, грн/л	18,21	16,88	-1,33
Річна виручка, грн	1 820 000	2 275 000	+455 000
Річний прибуток, грн	545 000	798 000	+253 000

Додатковий річний економічний ефект від модернізації визначається як приріст прибутку порівняно з базовим варіантом. За наведеними

розрахунками він становить 253 тис. грн/рік. Строк окупності додаткових капітальних вкладень визначаємо за формулою:

$$T_{ок} = K_д / E_р = 85\,000 / 253\,000 = 0{,}34 \text{ року}.$$

Отже, додаткові вкладення у модернізацію окупаються менш ніж за один виробничий рік. Такий результат пояснюється тим, що модернізація одночасно забезпечує приріст добового випуску, зменшення питомої енергоємності та зниження втрат сировини. Крім прямого економічного ефекту, установка має технологічні переваги: стабільніший режим нагрівання, кращу дисперсність соєвої суспензії, зниження потреби у повторних ручних операціях і поліпшення санітарних умов роботи.

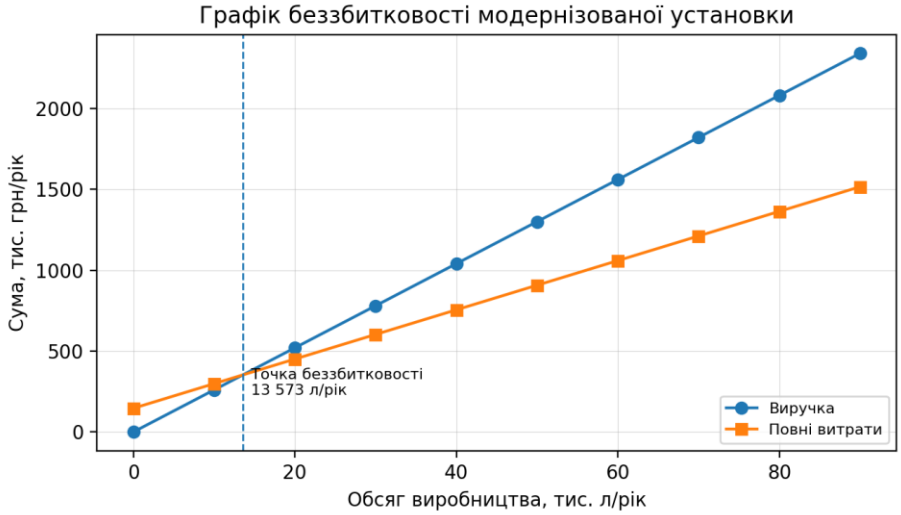


Рис. 4.3. Графік беззбитковості модернізованої установки.

4.6 Точка беззбитковості та висновки до розділу

Точка беззбитковості показує мінімальний обсяг виробництва, за якого виручка покриває повні витрати підприємства. Для модернізованої установки вона визначається як відношення річних постійних витрат до різниці між ціною реалізації та змінними витратами на одиницю продукції:

$$Q_б = 146\,450 / (26{,}0 - 15{,}21) = 13\,573 \text{ л/рік}.$$

Розрахунковий річний випуск 87 500 л значно перевищує точку беззбитковості, тому проект має достатній запас фінансової стійкості. Навіть за неповного завантаження обладнання виробництво залишається економічно

доцільним, оскільки критичний обсяг становить близько 15,5 % від проектної річної програми.

Таблиця 4.5 – Узагальнені показники ефективності проектних рішень

Показник	Значення	Оцінка результату
Проектна продуктивність	350 л/добу	забезпечує випуск для малого виробництва
Зниження собівартості	1,33 грн/л	підвищує конкурентоспроможність продукту
Приріст річного прибутку	253 тис. грн	формує основний економічний ефект
Строк окупності додаткових вкладень	0,34 року	менше одного року
Точка беззбитковості	13 573 л/рік	значно нижча за проектну програму

Проведене техніко-економічне обґрунтування підтверджує доцільність прийнятих проектних рішень щодо модернізації установки для виготовлення соєвого молока. Запропоновані конструктивні зміни забезпечують підвищення продуктивності, зменшення питомих енергетичних витрат, скорочення втрат сировини та покращення організації виробничого процесу. За прийнятих розрахункових умов повна собівартість 1 л продукції становить 16,88 грн, а очікуваний річний прибуток – близько 798 тис. грн. Додаткові капітальні вкладення окупаються за 0,34 року, що свідчить про високу економічну ефективність модернізації.

Таким чином, модернізація установки для виготовлення соєвого молока є економічно виправданою та може бути рекомендована до впровадження на малих і середніх переробних підприємствах. Практичне значення запропонованого рішення полягає не лише у підвищенні прибутковості, а й у поліпшенні керованості технологічного процесу, зменшенні частки ручних операцій, стабілізації якості готового продукту та раціональнішому використанні виробничих ресурсів. За умови подальшого впровадження автоматичного контролю температури й тиску можливе додаткове скорочення енергетичних витрат та зниження ризику отримання продукції нестабільної якості. Отже, проектні рішення мають достатній технічний, організаційний та економічний потенціал для практичного застосування.

ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ

У кваліфікаційній роботі розглянуто питання удосконалення технологічного процесу переробки сої з модернізацією конструкції установки для виготовлення соєвого молока. Актуальність теми зумовлена зростанням попиту на продукти рослинного походження, необхідністю розширення асортименту безлактозних і функціональних харчових продуктів, а також потребою у підвищенні ефективності використання соєвої сировини. Соя є цінною білково-олійною культурою, яка містить значну кількість рослинного білка, жирів, вуглеводів, мінеральних речовин і біологічно активних компонентів, тому її переробка у соєве молоко має важливе харчове та виробниче значення.

У першому розділі було проаналізовано сучасний стан технологій переробки сої та виробництва соєвого молока. Встановлено, що ефективність виготовлення соєвого молока значною мірою залежить від правильного вибору технологічної схеми, якості сировини, режимів замочування, подрібнення, екстрагування, термічної обробки та відокремлення нерозчинного залишку. Розглянуто існуюче обладнання для переробки сої, його переваги та недоліки. Виявлено, що традиційні установки не завжди забезпечують достатній ступінь подрібнення бобів, рівномірність нагрівання продукту та раціональне використання енергії, що обґрунтовує необхідність їх модернізації.

У другому розділі обґрунтовано технологічний процес переробки сої для отримання соєвого молока. Запропонована технологічна схема передбачає послідовне виконання операцій очищення, миття, замочування, подрібнення сої у водному середовищі, екстрагування білкових і водорозчинних речовин, теплової обробки, фільтрування та одержання готового продукту. Доведено, що дотримання раціональних режимів замочування та співвідношення сої і води сприяє набуханню зерна, полегшує подрібнення, підвищує вихід сухих речовин і покращує якість соєвого

молока. Особливе значення має якісне подрібнення, оскільки саме воно забезпечує інтенсивніше вилучення поживних речовин із соєвої сировини.

У третьому розділі виконано конструктивне обґрунтування модернізованої установки для виготовлення соєвого молока. Розглянуто її будову, принцип роботи та основні технологічні параметри. Установка включає ємність для замочування, пристрій подрібнення, пристрій одержання соєвого молока, систему нагрівання, насосне обладнання, панель керування та раму. Модернізація спрямована на підвищення ефективності подрібнення сої, забезпечення кращого перемішування суспензії, стабілізацію теплового режиму та зменшення втрат сировини. Проведені конструктивні, кінематичні та енергетичні розрахунки підтвердили працездатність і надійність основних елементів установки.

У четвертому розділі здійснено техніко-економічне обґрунтування проектних рішень. Визначено основні витрати, пов’язані з модернізацією обладнання, експлуатацією установки, споживанням електроенергії, використанням сировини та обслуговуванням технологічного процесу. Розрахунки показали, що впровадження запропонованої модернізації є економічно доцільним, оскільки дозволяє підвищити продуктивність обладнання, зменшити питомі витрати на виробництво, скоротити втрати сировини та покращити якість готового соєвого молока. Підвищення ефективності роботи установки позитивно впливає на собівартість продукції та конкурентоспроможність підприємства.

Отже, у результаті виконання кваліфікаційної роботи досягнуто поставленої мети – обґрунтовано удосконалений технологічний процес переробки сої та запропоновано модернізацію конструкції установки для виготовлення соєвого молока. Запропоновані технічні рішення забезпечують підвищення ефективності переробки сировини, покращення якості подрібнення, стабілізацію теплової обробки та раціональне використання енергетичних ресурсів.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. 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.

2. Технологія зберігання та переробки продукції рослинництва : підручник. Київ : Аграрна освіта, 2014. 393 с.

3. Технологічне обладнання харчових виробництв : навч. посіб. / В. І. Теличкун, Ю. С. Теличкун, О. О. Губеня, С. В. Стефанов, С. Т. Дамянова. Київ : Сталь, 2023. 634 с.

4. Технологічне обладнання зернопереробних та олійних виробництв : навч. посіб. / О. В. Дацишин, А. І. Ткачук, О. В. Гвоздєв та ін. ; за ред. О. В. Дацишина. Вінниця : Нова книга, 2008. 480 с.

5. Машини та обладнання переробних виробництв : навч. посіб. / О. В. Дацишин, А. І. Ткачук, Д. С. Чубов, О. В. Мартиненко, В. А. Денисюк ; за ред. О. В. Дацишина. Київ : Вища освіта, 2005. 159 с.

6. Сухенко Ю. Г., Ткачук А. І., Дениско О. А. Проектування технологічних процесів переробних і харчових виробництв : лабораторний практикум. Київ : Нічлава, 2011. 262 с.

7. Сухенко Ю. Г., Литвиненко О. А., Сухенко В. Ю. Надійність і довговічність устаткування харчових і переробних виробництв : підручник. Київ : НУХТ, 2010. 547 с.

8. Подпрятов Г. І., Бобер А. В., Ящук Н. О. Технохімічний контроль продукції рослинництва : навч. посіб. 2-ге вид., допов. і перероб. Київ : ЦП «Компринт», 2020. 791 с.

9. Пузік Л. М., Бондарев А. В. Технологія зберігання і переробки продукції рослинництва : лабораторний практикум. Харків : Вид-во Іванченка, 2016. 150 с.

10. Осокіна Н. М. Якість та облік зерна за приймання, оброблення і зберігання зерна : навч. посіб. Умань, 2021. 455 с.

11. Технологія переробки зерна сої в соєве молоко. Хранение и переработка зерна. 2001. № 5. С. 23–24.

12. Лабораторна робота № 3. Технологія і обладнання для виробництва соєвого молока. Технологія та обладнання підприємств переробки і зберігання продукції сільського господарства. URL: https://studfile.net/preview/9779558/page:5/ (дата звернення: 19.06.2026).

13. Вимоги до якості сої. Головне управління Держпродспоживслужби. URL: https://dpsscn.gov.ua/fitosanitariia-kontrol-u-sferi-nasinnytstva-ta-rozsadnytstva/aktualna-informatsiia/4049/vymohy-do-iakosti-soi.html (дата звернення: 19.06.2026).

14. Berk Z. Technology of Production of Edible Flours and Protein Products from Soybeans. FAO Agricultural Services Bulletin No. 97. Rome : Food and Agriculture Organization of the United Nations, 1992.

15. FAO. Technology of Production of Edible Flours and Protein Products from Soybeans. Chapter 8. Soymilk and Related Products. URL: https://www.fao.org/4/t0532e/t0532e09.htm (date of access: 19.06.2026).

16. Liu K. Soybeans: Chemistry, Technology, and Utilization. New York : Chapman & Hall, 1997. 532 p.

17. Liu K. Soybeans as Functional Foods and Ingredients. Champaign : AOCS Press, 2004. 331 p.

18. Singh G. The Soybean: Botany, Production and Uses. Wallingford : CABI, 2010. 494 p.

19. Sethi S., Tyagi S. K., Anurag R. K. Plant-based milk alternatives an emerging segment of functional beverages: a review. Journal of Food Science and Technology. 2016. Vol. 53, No. 9. P. 3408–3423. DOI: 10.1007/s13197-016-2328-3.

20. Grasso N., Alonso-Miravalles L., O'Mahony J. A. Composition, physicochemical and sensorial properties of commercial plant-based yogurts. Foods. 2020. Vol. 9, No. 3. Article 252. DOI: 10.3390/foods9030252.

21. USDA FoodData Central. Soymilk and soybeans nutrient data. U.S. Department of Agriculture. URL: https://fdc.nal.usda.gov/ (date of access: 19.06.2026).

22. USDA Foreign Agricultural Service. Production, Supply and Distribution Database. Oilseeds: World Markets and Trade. URL: https://www.fas.usda.gov/ (date of access: 19.06.2026).

23. The Nutrition Source. Soy. Harvard T. H. Chan School of Public Health. URL: https://www.hsph.harvard.edu/nutritionsource/soy/ (date of access: 19.06.2026).

24. Grand View Research. Soy Milk Market Size, Share & Trends Analysis Report. URL: https://www.grandviewresearch.com/ (date of access: 19.06.2026).

25. Good Food Institute. Plant-based milk market and product development overview. URL: https://gfi.org/ (date of access: 19.06.2026).

26. Codex Alimentarius Commission. General Principles of Food Hygiene CXC 1-1969. Rome : FAO ; WHO, 2020.

27. Fellows P. Food Processing Technology: Principles and Practice. 4th ed. Cambridge : Woodhead Publishing, 2017. 1152 p.