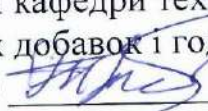


МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
БІЛОЦЕРКІВСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ АГРАРНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
БІОЛОГО-ТЕХНОЛОГІЧНИЙ ФАКУЛЬТЕТ

Спеціальність: 162 – «Біотехнології та біоінженерія»

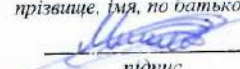
Завідувач кафедри технології кормів,
кормових добавок і годівлі корів
професор  Бомко В.С.

“ 14 ” квітня 2026 року

КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА БАКАЛАВРА

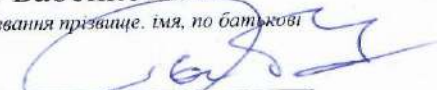
Біотехнологія отримання кормової добавки для великої рогатої худоби на основі дріжджів за використання виробничих відходів в умовах ТОВ «Боровський хлібзавод»

Виконав: Мигашко Віталій Олегович
прізвище, імя, по батькові,


підпис

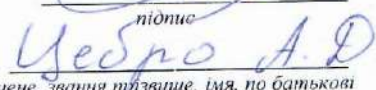
Керівник: доцент Бабенко С.П.

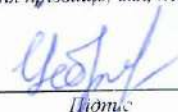
вчене звання прізвище, імя, по батькові


підпис

Рецензент:

вчене звання прізвище, імя, по батькові


підпис


підпис

Я, Мигашко В.О. засвічую, що кваліфікаційну роботу виконано з дотриманням принципів академічної доброчесності.

БІЛА ЦЕРКВА 2026

10.04.2024



ЗМІСТ

| | |
|---|----|
| ЗАВДАННЯ..... | 3 |
| АНОТАЦІЯ..... | 4 |
| ANNOTATION..... | 5 |
| ВІДГУК КЕРІВНИКА..... | 6 |
| ВСТУП | 7 |
| РОЗДІЛ 1. ОГЛЯД ЛІТЕРАТУРИ | 9 |
| 1.1. Використання біотехнологічних добавок мікробіологічного походження у раціонах годівлі тварин | 9 |
| 1.2. Хімічна будова і поживний склад кормових дріжджів..... | 11 |
| 1.3. Біотехнології виробництва кормових дріжджів | 13 |
| РОЗДІЛ 2. МАТЕРІАЛИ ТА МЕТОДИ..... | 17 |
| 2.1. Характеристика біомаси дріжджів <i>Saccharomyces cerevisiae</i> та вимоги до їх якості | 17 |
| РОЗДІЛ 3. РЕЗУЛЬТАТИ ВЛАСНИХ ДОСЛІДЖЕНЬ | 20 |
| 3.1. Біологічна характеристика виробничого штаму <i>Saccharomyces cerevisiae</i> | 20 |
| 3.2. Технологічні розрахунки параметрів роботи біореактора | 21 |
| 3.3. Обґрунтування вибору та розрахунок потреби основного обладнання | 22 |
| 3.4. Розрахунок матеріального балансу | 22 |
| 3.5. Біосинтез вітамінів групи В як основа поживної цінності дріжджової добавки | 23 |
| 3.6. Технологія виробничого процесу..... | 25 |
| РОЗДІЛ 4. ЕКОНОМІЧНА ЕФЕКТИВНІСТЬ | 30 |
| 4.1. Розрахунок собівартості та оцінка економічної ефективності..... | 30 |
| 4.2. Визначення ціни реалізації та показників рентабельності..... | 31 |
| ВИСНОВКИ | 32 |
| ПРОПОЗИЦІЇ | 34 |
| СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ..... | 35 |
| ДОДАТКИ..... | 39 |

АНОТАЦІЯ

Кваліфікаційна робота Мигашко В.О. на здобуття кваліфікації бакалавра за спеціальністю 162 «Біотехнології та біоінженерія». Тема: **«Біотехнологія отримання кормової добавки для великої рогатої худоби на основі дріжджів за використання виробничих відходів в умовах ТОВ «Боровський хлібзавод».**

Метою кваліфікаційної роботи було розглянути біотехнологічну схему виробництва кормових для великої рогатої худоби на основі штаму дріжджів *Saccharomyces cerevisiae*.

Проведено огляд літератури щодо сучасного стану та перспектив використання кормових дріжджів у тваринництві. Розглянуто дріжджі *Saccharomyces cerevisiae* як біологічний об'єкт та біохімічні шляхи синтезу в них вітамінів групи В.

Наведена біотехнологічна схема виробництва кормових дріжджів на основі штаму *Saccharomyces cerevisiae*, яка включає підготовку поживного середовища, накопичення інокуляту, виробниче культивування, сепарування, промивання, концентрування та висушування біомаси дріжджів до залишкової вологості не більше 10%. Для отримання корової добавки із високим вмістом вітамінів групи В запропоновано проводити культивування на синтетичному поживному середовищі Вердюна.

Проведені технологічні розрахунки основного апарату - у ферментеру загальним об'ємом 6,3 м³ і робочим об'ємом 4,0 м³ та основного технологічного обладнання для виробництва кормових дріжджів. Складено апаратурну схему лінії біотехнологічного виробництва кормових дріжджів та зазначені основні контрольні параметри виробництва та готового продукту.

Ключові слова: біотехнологія дріжджів, кормові добавки, пробіотики для тварин, *Saccharomyces cerevisiae*, біосинтез вітамінів.

ABSTRACT

The purpose of the qualification work was to consider the biotechnological scheme for the production of feed for cattle based on the yeast strain *Saccharomyces cerevisiae*.

A literature review was conducted on the current state and prospects for the use of feed yeast in animal husbandry. *Saccharomyces cerevisiae* yeast as a biological object and biochemical pathways for the synthesis of B vitamins in them are considered.

A biotechnological scheme for the production of feed yeast based on the *Saccharomyces cerevisiae* strain is presented, which includes the preparation of the nutrient medium, the accumulation of the inoculum, the production cultivation, separation, washing, concentration and drying of the yeast biomass to a residual moisture content of no more than 10%. To obtain a cow's milk supplement with a high content of B vitamins, it is proposed to carry out cultivation on a synthetic Verdun nutrient medium.

Technological calculations of the main apparatus - a fermenter with a total volume of 6.3 m³ and a working volume of 4.0 m³ and the main technological equipment for the production of feed yeast are carried out. A hardware scheme of the biotechnological production line of feed yeast is drawn up and the main control parameters of production and the finished product are indicated.

Keywords: yeast biotechnology, feed additives, probiotics for animals, *Saccharomyces cerevisiae*, vitamin biosynthesis.

ВСТУП.

Сучасне тваринництво стикається з викликом пошуку ефективних та безпечних альтернатив антибіотикам-стимуляторам росту. Одним з найперспективніших рішень є використання біотехнологічних продуктів на основі мікроорганізмів, серед яких особливе місце займають дріжджі, зокрема *Saccharomyces cerevisiae*. Ці одноклітинні гриби є цінним джерелом не лише високоякісного білка, а й комплексу біоактивних речовин: вітамінів групи В, нуклеотидів, бета-глюканів та маннан-олігосахаридів [1, 2]. Їхнє включення до раціону сільськогосподарських тварин сприяє оптимізації мікробіоти травного тракту, підвищенню конверсії корму та зміцненню імунного статусу, що в підсумку позитивно впливає на продуктивність [3].

Однак широке впровадження таких добавок стримується їхньою вартістю, що значною мірою залежить від ціни поживних субстратів для культивування. Актуальним напрямком є розробка ресурсо- та енергозберігаючих технологій, заснованих на використанні вторинної сировини. Підприємства харчової промисловості, такі як хлібозаводи, утворюють значні обсяги органічних відходів (бракована та несвіжа продукція), які можуть слугувати дешевим джерелом вуглеводів для мікробного синтезу.

Метою є розробка технологічного виробництва кормової добавки для великої рогатої худоби на основі біомаси дріжджів *Saccharomyces cerevisiae*, з використанням відходів ТОВ «Боровський хлібзавод». Це дозволить поєднати вирішення екологічного завдання з утилізації відходів із отриманням високоцінного кормового продукту. Для досягнення мети було поставлено наступні завдання:

1. Проаналізувати сучасні наукові дані щодо застосування дріжджових добавок у годівлі великої рогатої худоби та оцінити потенціал виробничих відходів хлібопекарні як сировини для біотехнології.

2. Охарактеризувати технологічні властивості промислового штаму *Saccharomyces cerevisiae* та ключові метаболічні шляхи синтезу ним вітамінів групи В.

3. Розробити принципову технологічну схему отримання кормової добавки, адаптовану до умов конкретного підприємства.

4. Виконати технологічні розрахунки (матеріальний баланс, параметри ферментера) та обґрунтувати вибір основного та допоміжного обладнання.

5. Скласти апаратурно-технологічну схему виробничої лінії та встановити перелік контрольних параметрів на всіх етапах процесу.

РОЗДІЛ 1. ОГЛЯД ЛІТЕРАТУРИ

1.1. Використання біотехнологічних добавок мікробіологічного походження у раціонах годівлі тварин

Інтенсифікація тваринництва потребує постійного пошуку інноваційних рішень для підвищення ефективності годівлі та збереження здоров'я поголів'я. Традиційне використання антибіотиків як стимуляторів росту обмежене через ризик резистентності мікроорганізмів та накопичення залишків у продуктах [1]. У цьому контексті біотехнологічні добавки мікробного походження, зокрема на основі дріжджів, набувають все більшого значення як безпечна та ефективна альтернатива.

Спочатку дріжджі та їх похідні (наприклад, пивні дріжджі) вводили до раціонів переважно як джерело додаткового протеїну для часткової заміни дорогих компонентів, таких як соєве або рибне борошно [2]. Протеїн дріжджів характеризується збалансованим амінокислотним складом і високою засвоюваністю. Важливою перевагою була можливість використання побічних продуктів промисловості (відходи пивоваріння, спиртового виробництва), що робило такі добавки економічно вигідними та сприяло раціональній утилізації відходів [3].

Подальші дослідження виявили, що корисні властивості дріжджів виходять далеко за межі простого поживного інгредієнту. Було встановлено, що вони синтезують широкий спектр біоактивних сполук, що дозволяє класифікувати їх як функціональні кормові компоненти з пробіотичною дією [4]. Пробіотики визначаються як живі мікроорганізми, які при регулярному вживанні в достатній кількості приносять користь здоров'ю господаря [5]. У тваринництві їх застосування спрямоване на оптимізацію травлення, зниження ризику кишкових розладів, покращення конверсії корму та продуктивних показників (середньодобовий приріст, надої) [6].

До пробіотиків належать певні штами дріжджів, серед яких у годівлі тварин найчастіше застосовуються *Saccharomyces cerevisiae* та *Saccharomyces boulardii* [7, 8]. Їх ефективність ґрунтується на комплексі властивостей: здатності

виживати в агресивному середовищі шлунково-кишкового тракту, адгезії до епітелію, антагоністичній активності щодо патогенів та імуномодулюючому впливу [9].

Особливе значення пробіотичні добавки мають для великої рогатої худоби (ВРХ), оскільки їх травна система, зокрема рубець, є складним біореактором з унікальною мікробіотою. Рубцева мікробіота, що включає бактерії, археї, гриби та інфузорії, відповідає за ферментацію корму, синтез мікробного білка, вітамінів груп В та К, а також підтримання гомеостазу [10]. Порухення її балансу (дисбіоз) через стреси, різку зміну раціону чи захворювання призводить до зниження продуктивності та розвитку таких патологій, як ацидоз [11].

Додавання дріжджів *Saccharomyces cerevisiae* до раціону ВРХ сприяє стабілізації рубцевого середовища через кілька ключових механізмів [12, 13].

Споживання молекулярного кисню. Будучи факультативними анаеробами, клітини дріжджів поглинають залишковий кисень у рубці, підтримуючи строго анаеробні умови, необхідні для життєдіяльності целюлолітичних бактерій. Це покращує деградацію клітковини та підвищує загальну активність мікробіоти. 2. Модуляція метаболізму лактату. Дріжджі конкурують з бактеріями, що продукують молочну кислоту, за доступні вуглеводи, одночасно стимулюючи розвиток мікроорганізмів, які її утилізують. Це запобігає різкому падінню рН та розвитку ацидозу. 3. Конкурентне виключення патогенів. Живі дріжджові клітини можуть зв'язувати на своїй поверхні певні патогенні бактерії (наприклад, *Escherichia coli*, *Salmonella* spp.), сприяючи їх виведенню з травного тракту. 4. Імуномодулююча дія. Структурні компоненти клітинної стінки дріжджів, такі як β -глюкани та маннани, здатні активувати макрофаги та стимулювати продукцію антитіл, посилюючи захисні функції організму тварини [14]. Важливо відзначити, що пробіотичний ефект проявляють не лише живі клітини, а й їх інактивовані форми та окремі компоненти (наприклад, клітинні стінки), що розширює можливості їх технологічного застосування [15].

Таким чином, включення дріжджових добавок до раціону ВРХ є науково обґрунтованим підходом для підвищення ефективності годівлі, профілактики

захворювань та покращення загального стану здоров'я тварин. Світовий ринок таких продуктів демонструє стаке зростання, що підтверджує їхню економічну та біологічну значущість [16].

1.2. Хімічна будова і поживний склад кормових дріжджів

Кормові дріжджі, переважно представлені біомасою *Saccharomyces cerevisiae*, є складними багатокomпонентними продуктами, поживна цінність яких обумовлена не лише основним складом, а й наявністю низки біоактивних сполук (Додаток А). Їхній хімічний профіль може суттєво відрізнятися залежно від штаму, умов культивування (аеробних чи анаеробних) та технології подальшої переробки [17]. На відміну від стандартних рослинних (соєвий шрот, борошно соняшникове) або тваринних (рибне борошно) протеїнових інгредієнтів, дріжджі, як одноклітинні еукаріоти, мають унікальну будову та метаболізм, що визначають їх функціональні властивості.

Основний поживний склад. Ключовою характеристикою кормових дріжджів є високий вміст сирого протеїну, який у сухій речовині зазвичай становить 40–55% [18]. Цей білок має високу біологічну цінність завдяки збалансованому амінокислотному профілю, зокрема, добрій представленості лізину, треоніну та ароматичних амінокислот, які часто є лімітуючими в рослинних раціонах [19]. Вміст сирих ліпідів у дріжджовій біомасі, як правило, низький (2–6%) і залежить від доступності вуглецю та кисню під час ферментації. Мінеральний склад (зола) становить 5–9%, причому дріжджі є добрим джерелом таких елементів, як фосфор, калій, магній, цинк та селен, які часто присутні у біодоступній органічній формі [20].

Функціональні компоненти клітинної стінки. Клітинна стінка дріжджів, що становить 25–30% від сухої маси клітини, є основним джерелом функціональних полісахаридів. До них належать β -глюкани (переважно β -1,3/1,6-зв'язані) та маннан-олігосахариди (МОС). Ці сполуки класифікують як пребіотики – речовини, що селективно стимулюють ріст та активність корисної кишкової мікробіоти (наприклад, біфідобактерій та лактобацил) [21]. Механізм

дії МОС полягає в здатності зв'язуватися з тип-1 фібріями грам-негативних патогенів (наприклад, *Escherichia coli*, *Salmonella spp.*), перешкоджаючи їх адгезії до епітелію кишечника та сприяючи їх виведенню з організму [22]. β -Глюкани, з іншого боку, є потужними імуномодуляторами, що активують макрофаги, нейтрофіли та систему комплементу через взаємодію з дектіном-1 та іншими рецепторами [23].

Продукти глибокої переробки: автолізати та гідролізати. Сучасна біотехнологія дозволяє отримувати з дріжджової біомаси високоочищені фракції з підвищеною біологічною доступністю. Автолізати та гідролізати є результатом контрольованого лізису (руйнування) клітин, що призводить до вивільнення внутрішньоклітинного вмісту. Вони багаті на:

Пептиди та вільні амінокислоти: короткі ланцюги амінокислот (2–20 залишків), які засвоюються швидше, ніж цілі білки, і можуть мати власну біологічну активність (наприклад, антиоксидантну або імуномодулюючу) [24].

Нуклеотиди: мономерні ланцюги нуклеїнових кислот (пуринові та піримідинові основи). Хоча організм тварин здатний синтезувати їх *de novo*, додаткове надходження з корму є критично важливим у періоди інтенсивного росту, стресу або захворювань для підтримки регенерації клітин, синтезу ДНК/РНК та енергетичного обміну (АТФ) [25].

Вітаміни групи В та глутатіон: концентровані джерела тіаміну, рибофлавіну, ніацину, пантотенової кислоти, піридоксину, біотину та потужного ендogenous антиоксиданта – глутатіону.

Підвищення біодоступності компонентів: низька розчинність та висока молекулярна маса нативних полісахаридів клітинної стінки можуть обмежувати їх засвоєння. Для вирішення цієї проблеми застосовують ферментативний гідроліз за допомогою специфічних ензимів, таких як β -глюканази. Цей процес розщеплює довгі полісахаридні ланцюги на коротші, низькомолекулярні фрагменти (оліго- та полісахариди), які мають кращу водорозчинність, біодоступність і, як наслідок, вищу біологічну активність [26].

Порівняння з іншими джерелами. На відміну від рослинних кормів, які містять велику кількість неперетравної клітковини (целюлоза, лігнін), волокна дріжджів (β -глюкани, маннани) мають функціональну пребіотичну дію. У порівнянні з тваринними білками, дріжджі не містять антинутрієнтів (наприклад, трипсинових інгібіторів у сої) і мають більш стабільний амінокислотний склад, що не залежить від сезонності чи географічного походження сировини.

Таким чином, біохімічна цінність кормових дріжджів визначається синергією високоякісного протеїну, функціональних полісахаридів, вітамінів та низькомолекулярних біоактивних сполук, що виділяються при глибокій переробці. Це робить їх не просто поживними інгредієнтами, а багатофункціональними добавками, здатними позитивно впливати на травлення, імунітет та продуктивність сільськогосподарських тварин [21-26].

1.3. Біотехнології виробництва кормових дріжджів

Сучасне промислове виробництво дріжджів є високотехнологічним процесом, що поєднує досягнення молекулярної біології, генетики та інженерії для отримання спеціалізованих продуктів із заданими властивостями. Цей процес можна умовно розділити на три основні фази: створення та підготовка виробничого штаму, власне біотехнологічне культивування (ферментація) та подальша обробка та стабілізація біомаси.

Розробка та підготовка виробничого штаму. Промислові штами дріжджів є результатом цілеспрямованої селекції, а все частіше – методів генетичної та метаболічної інженерії. Метою є створення мікроорганізмів з оптимізованими для конкретних завдань характеристиками. Наприклад, штами *Saccharomyces cerevisiae* для хлібопекарства відбирають за високою бродильною активністю, толерантністю до високої концентрації цукрів та холодостійкістю. Для виробництва кормових добавок та пробіотиків пріоритетними є такі властивості, як стійкість до низького рН шлунку та жовчних кислот, здатність до адгезії до епітелію кишечника та синтез корисних метаболітів (вітамінів групи В, ензимів) [27]. Штами-продуценти біофармацевтичних білків (наприклад, *Pichia pastoris*)

генетично модифікують для високої експресії цільових речовин, таких як інсулін або вакцини.

Підготовка до промислового культивування починається в лабораторії з відновлення клітин з криобанку. Шляхом серії послідовних стерильних культивувань у зростаючих об'ємах (від пробірок та колб до лабораторних біореакторів об'ємом 10–50 літрів) накопичують достатню кількість активної та чистої біомаси – інокуляту, необхідного для завантаження основного виробничого ферментера [28].

Промислова ферментація. Це центральна стадія, на якій відбувається масове накопичення біомаси або синтез цільових продуктів. Процес проводять у великомасштабних стерильних біореакторах (ферментерах) об'ємом від декількох сотень до тисяч літрів. Для культивування аеробних дріжджів, таких як *S. cerevisiae*, критично важливим є контроль та підтримка ряду ключових параметрів:

Температура: оптимальний діапазон зазвичай становить 28–30 °С.

pH: підтримується на рівні, близькому до нейтрального або слабнокислого (наприклад, 5,0–5,5) за допомогою автоматичного додавання кислот або лугів.

Концентрація розчиненого кисню (p_{O_2}): забезпечується інтенсивною аерацією та механічним перемішуванням, оскільки кисень є лімітуючим фактором для швидкого росту.

Концентрація субстрату: регулюється шляхом періодичного або безперервного підживлення (технологія fed-batch) для уникнення ефекту репресії глюкозою та підвищення виходу біомаси.

Використовують різні схеми культивування: періодичну (batch), періодичну з підживленням (fed-batch) або безперервну (continuous). Для виробництва кормових дріжджів найпоширенішою є fed-batch технологія, яка дозволяє досягти високої щільності клітин.

Подальша обробка та стабілізація біомаси: після завершення ферментації отриману культуральну рідину, що містить дріжджові клітини, піддають низці

операцій для виділення, очищення та консервації цільового продукту. Цей етап включає:

Відділення біомаси: зневоднення здійснюють переважно механічними методами – центрифугуванням або фільтрацією (вакуум-фільтри, мембранні модулі). Це дозволяє відокремити дріжджову пасту (з вмістом сухої речовини 15–25%) від відпрацьованого середовища.

Стабілізація та переробка: залежно від призначення кінцевого продукту, біомасу можна:

Інактивувати: (термічно або хімічно) для отримання стабільної неживої добавки.

Піддати автолізу або плазмолізу: для руйнування клітинних структур та вивільнення внутрішньоклітинного вмісту (білків, пептидів, нуклеотидів, вітамінів) з отриманням рідких або пастоподібних автолізатів/гідролізатів.

Розділити на фракції: (наприклад, виділити клітинні стінки, багаті на β -глюкани, шляхом диференціального центрифугування).

Концентрування та сушіння: для отримання сухого стабільного продукту рідкі або вологі напівфабрикати концентрують (випарюванням, ультрафільтрацією) та висушують. Вибір методу сушіння визначає збереження біологічної активності:

Розпилювальне сушіння: швидкий та економічний метод, придатний для інактивованих дріжджів, проте може призводити до часткової денатурації чутливих білків через високі температури.

Ліофільне сушіння (сушіння сублімацією): найбільш м'який метод, що зберігає структуру біомолекул та життєздатність клітин. Застосовується для високоякісних пробіотиків, але є енергоємним та дорогим.

Барабанне сушіння: економічно вигідне для великих обсягів, але тепловий вплив може бути агресивним.

Стандартизація, контроль якості та пакування. Готовий продукт стандартизують за ключовими показниками: вмістом сирого протеїну, вологи, титром живих клітин (для пробіотиків, наприклад, 10^8 – 10^{10} КУО/г), активністю

ферментів. Для запобігання злежуванню можуть додавати антизлежувальні агенти. Пакування проводять в умовах, що захищають від вологи та кисню (вакуумне, в атмосфері інертного газу), що забезпечують тривалий термін зберігання.

Весь технологічний ланцюг супроводжується суворим контролем якості відповідно до принципів належної виробничої практики (GMP). Для кормових добавок діють регламенти авторитетних організацій (EFSA, FDA), що визначають допустимі штами, дози та критерії безпеки.

Перспективні напрями: майбутнє галузі пов'язане з інтеграцією новітніх підходів: метаболічна інженерія для створення штамів, здатних до синтезу специфічних цінних сполук (наприклад, омега-3 жирних кислот).

Використання альтернативної сировини, зокрема різних видів органічних відходів агропромислового комплексу, для зниження собівартості та підвищення екологічної стійкості виробництва.

Розробка продуктів з доданою вартістю: перехід від масового виробництва простої біомаси до отримання високоочищених функціональних інгредієнтів (спеціалізовані пептиди, нуклеотиди, імуномодулятори).

Таким чином, біотехнологічний цикл виробництва дріжджів є комплексною, багатоступеневою системою, де кожна стадія – від створення штаму до пакування – оптимізована для отримання конкретного продукту з гарантованою якістю, безпекою та ефективністю. Це робить дріжджі не лише універсальною сировиною, але й потужним інструментом для інновацій у годівельній індустрії.

РОЗДІЛ 2

МАТЕРІАЛИ ТА МЕТОДИ

2.1. Характеристика біомаси дріжджів *Saccharomyces cerevisiae* та вимоги до їх якості

Кінцевим продуктом запропонованого технологічного процесу є кормова добавка на основі біомаси дріжджів *Saccharomyces cerevisiae*. Готова продукція має форму однорідного сухого порошку від світло-жовтого до світло-коричневого відтінку (Додаток Б). Якість продукту регламентується національним стандартом ДСТУ 8723:2017 «Дріжджі кормові». Технічні умови» [30], основним вимогам яких вона повинна відповідати.

Органолептичні, фізико-хімічні та мікробіологічні нормативи для кормових дріжджів вищої категорії наведені в таблиці 2.1.

Таблиця 2.1 – Нормативні показники якості кормових дріжджів (за ДСТУ 8723:2017)

| Показник | Норматив для вищої категорії |
|---|---|
| Зовнішній вигляд та колір | Однорідний порошок або гранули від світло-жовтого до коричневого кольору. Гранули: діаметр 5–9 мм, довжина \leq 18 мм. Прохід через сито 3 мм – не більше 5%. |
| Вологість, % | Не більше 10,0 |
| Масова частка сирого протеїну в перерахунку на суху речовину, % | Не менше 56,0 |
| Масова частка золи в перерахунку на суху речовину, % | Не більше 10,0 |
| Домішки метало-магнітних частинок, мг/кг | Не більше 20 |
| Наявність живих клітин продуцента | Не допускається |
| Загальна кількість бактерій (КУО/г) | Не більше $1,5 \times 10^2$ |
| Токсичність | Відсутня (негативний результат біотесту) |

Для досягнення стабільного виходу біомаси та гарантії її хімічного складу в якості основного поживного субстрату було обрано синтетичне (хімічно визначене) середовище. Використання такого середовища дозволяє точно

контролювати співвідношення поживних речовин, мінімізувати ризик мікробного забруднення та отримувати відтворювані результати. Як базове було прийнято середовище Вердюна (Verduyn et al., 1992), оптимізоване для аеробного культивування *S. Cerevisiae* та забезпечує вихід сухої біомаси на рівні до 10 г/л [31].

Склад основного глюкозного середовища наведено в таблиці 2.2.

Таблиця 2.2 – Склад базового поживного середовища за Вердюном (рН 5,0)

| Компонент | Концентрація |
|---|--------------|
| Декстро́за (глюко́за) | 20,0 г/л |
| Сульфат амонію, $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$ | 5,0 г/л |
| Калію дигідрофосфат, KH_2PO_4 | 3,0 г/л |
| Магнію сульфат гептагідрат, $\text{MgSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$ | 0,5 г/л |
| 1000-кратний концентрат вітамінів | 1,0 мл/л |
| 100-кратний концентрат мікроелементів | 10,0 мл/л |

Для приготування середовища використовували окремо приготовлені стерильні концентрати: 1000-кратний вітамінний концентрат (Табл. 2.3). D-біотин попередньо розчиняють у невеликому об'ємі 0,1 М NaOH, після чого додають до дистильованої води разом з іншими компонентами. Під контролем рН ($6,5 \pm 0,2$) розчин доводять до об'єму, стерилізують фільтрацією через мембрану з розміром пор 0,22 мкм та зберігають при 4 °С.

Таблиця 2.3 – Склад 1000-кратного вітамінного концентрату

| Вітамін / компонент | Маса, г/л готового концентрату |
|--|--------------------------------|
| D-біотин | 0,05 |
| Кальцію D-пантотенат | 1,00 |
| Нікотинова кислота (вітамін B3) | 1,00 |
| Міоїнозитол | 25,00 |
| Тіаміну гідрохлорид (вітамін B1) | 1,00 |
| Піридоксалю гідрохлорид (вітамін B6) | 1,00 |
| Пара-амінобензойна кислота (вітамін B10) | 0,20 |

100-кратний концентрат мікроелементів (Табл. 2.4). Для запобігання утворенню нерозчинних сполук спочатку готують комплексонатну основу, розчиняючи $\text{Na}_2 \text{EDTA}$ та $\text{ZnSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$. Після послідовного додавання інших солей та корекції рН розчин стерилізують фільтрацією.

Таблиця 2.4 – Склад 100-кратного концентрату мікроелементів

| Мікроелемент (у вигляді солі) | Маса, г/л готового концентрату |
|--|--------------------------------|
| Динатрієва сіль ЕДТА (Na_2EDTA) | 1,50 |
| Цинку сульфат гептагідрат ($\text{ZnSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$) | 0,45 |
| Марганцю хлорид дигідрат ($\text{MnCl}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$) | 0,10 |
| Кобальту хлорид гексагідрат ($\text{CoCl}_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$) | 0,03 |
| Міді сульфат пентагідрат ($\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$) | 0,03 |
| Натрію молибдат дигідрат ($\text{Na}_2\text{MoO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$) | 0,04 |
| Кальцію хлорид дигідрат ($\text{CaCl}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$) | 0,45 |
| Заліза сульфат гептагідрат ($\text{FeSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$) | 0,30 |
| Борна кислота (H_3BO_3) | 0,10 |
| Калію йодид (KI) | 0,01 |

Технологія приготування робочого середовища. Для отримання 1 літра стерильного поживного середовища: у 750 мл дистильованої води послідовно розчиняють розраховані маси $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$, KH_2PO_4 та $\text{MgSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$. Потім додають 1 мл стерильного вітамінного та 10 мл стерильного мікроелементного концентрату. Далі встановлюють значення рН 5.0 ± 0.1 за допомогою 1 М НСІ, доводячи об'єм до 960 мл дистильованою водою. Окремо готують 50% (мас./об.) розчин глюкози: 125 г глюкози розчиняють при нагріванні в 150 мл води, після чого доводять об'єм до 250 мл та стерилізують автоклавуванням (121°C , 15 хв). Перед інокуляцією в стерильних умовах додають 40 мл стерильного 50% розчину глюкози до сольового розчину, отримуючи кінцевий об'єм 1 л та концентрацію глюкози 20 г/л.

Така схема приготування запобігає неензиматичному карамелюванню глюкози (реакції Майяра) під час стерилізації та забезпечує стабільність вітамінів.

РОЗДІЛ 3. РЕЗУЛЬТАТИ ВЛАСНИХ ДОСЛІДЖЕНЬ

3.1. Біологічна характеристика виробничого штаму *Saccharomyces cerevisiae*

Об'єктом дослідження та основою для розробки кормової добавки обрано промисловий штам дріжджів *Saccharomyces cerevisiae*. Цей мікроорганізм належить до домену еукаріотів, царства грибів (Fungi). За сучасною таксономією він класифікується як представник типу Аскомікотових грибів (Ascomycota), класу Сахароміцетів (Saccharomycetes) [32].

S. cerevisiae є одноклітинним еукаріотним організмом овальної форми розміром 3–7 мкм. Його ключовою фізіологічною особливістю є факультативно-анаеробний спосіб життя (Додаток В). У присутності кисню (аеробні умови) дріжджі інтенсивно ростуть, окислюючи вуглеводи до вуглекислого газу та води в циклі Кребса, що супроводжується високим виходом енергії (АТФ) та біомаси. За відсутності кисню (анаеробні умови) вони перемикаються на бродіння, перетворюючи глюкозу переважно на етанол та CO₂, що супроводжується значно меншим виходом енергії [33]. Тому для накопичення біомаси як кормового продукту необхідне інтенсивне аеробне культивування.

Розмноження штаму (Додаток Г) відбувається переважно безстатевим шляхом – асиметричним брунькуванням. При цьому на материнській клітині формується дочірня брунька, яка згодом відділяється, досягнувши певного розміру. За сприятливих умов процес може бути багаторазовим, що забезпечує швидке накопичення популяції [34]. Як гетеротрофний організм, *S. Cerevisiae* використовує широкий спектр органічних сполук (цукри, органічні кислоти) як джерело вуглецю та енергії завдяки наявності потужного ферментативного апарату.

3.2. Технологічні розрахунки параметрів роботи біореактора

На основі вихідних даних проекту (річний випуск – 2 тонни сухого продукту) було виконано розрахунки для визначення параметрів основного виробничого апарату – ферментера.

Річний фонд робочого часу: за вирахуванням часу на планово-запобіжні ремонти (30 днів) та технічне обслуговування прийнято 335 робочих діб на рік.

Тривалість одного виробничого циклу з урахуванням усіх етапів (підготовка середовища, ферментація, сепарація, сушіння, миття апарату) становить 7 діб.

Кількість виробничих циклів (серій) за рік: $N = 335 \text{ діб} / 7 \text{ діб/цикл} \approx 48$ циклів.

Маса продукту на одну серію: маса серії = $2000 \text{ кг} / 48 \approx 41,7 \text{ кг}$.

Маса сухої речовини на серію (при середній вологості готового продукту 7%): маса сухої речовини = $41,7 \text{ кг} * 0,93 \approx 38,8 \text{ кг}$.

Необхідний об'єм культуральної рідини: при плановому виході сухої біомаси 10 г/л (0,01 кг/л): $V \text{ рідини} = 38,8 \text{ кг} / 0,01 \text{ кг/л} = 3880 \text{ л} = 3,88 \text{ м}^3$.

Робочий об'єм ферментера: при коефіцієнті заповнення 0,65 (65 %):
 $V \text{ робочий} = 3,88 \text{ м}^3 / 0,65 \approx 5,97 \text{ м}^3$.

На підставі отриманого значення та згідно з типорозмірним рядом стандартних вертикальних апаратів з механічним перемішуванням було обрано ферментер загальним об'ємом 6,3 м³ з робочим об'ємом 4,0 м³, що забезпечує необхідну продуктивність з технологічним запасом.

Для інтенсивного аеробного культивування обрано відкриту мішалку з параметрами: діаметр: 0,4 м; частота обертання: 200 об/хв (3,33 об/с); потужність приводу: 1,5 кВт.

Вибрана конфігурація забезпечить ефективне диспергування повітря, однорідність середовища за температурою, рН та концентрацією поживних речовин, а також запобігання осіданню клітин.

Технологічні параметри роботи ферментера наступні: температура культивування: $30,0 \pm 1,0 \text{ }^\circ\text{C}$; рН середовища: $5,0 \pm 0,2$; робочий тиск: 0,01 МПа; тиск теплоносія в водяній сорочці: 0,6 МПа.

Конструкція апарату (Додаток Д) включає корпус із двоповерховою сорочкою для термостатування, пристрій механічного перемішування, барботер для подачі стерильного повітря, а також набір штуцерів для подачі середовища, інокуляту, відбору проб, контролю параметрів (рН, температура, розчинений кисень) та мийних операцій (CIP).

3.3. Обґрунтування вибору та розрахунок потреби основного обладнання

Для реалізації повного технологічного циклу було підібрано обладнання, технічні характеристики якого забезпечують задану продуктивність та відповідають вимогам біотехнологічного виробництва (Табл. 3.1).

Таблиця 3.1 – Специфікація основного технологічного обладнання

| Стадія ТП | Обладнання | К-ть | Ключові технічні характеристики та призначення |
|---------------------|-------------------------------|------|--|
| ТП1. Ферментація | Виробничий ферментер | 1 | $V_{\text{заг}} = 6,3 \text{ м}^3$; $V_{\text{роб}} = 4,0 \text{ м}^3$; турбінна мішалка (3,3 об/с); контроль рН, Т, рО ₂ . |
| ТП2. Сепарація | Центрифуга-сепаратор | 1 | Продуктивність: 15 м ³ /год; відділення біомаси від культуральної рідини. |
| ТП3. Накопичення | Збірник-охолоджувач | 1 | $V = 1,0 \text{ м}^3$; пасна мішалка; охолодження осаду до 4 °С для стабілізації. |
| ТП4. Концентрування | Вакуум-фільтр (нучч-фільтр) | 1 | Поверхня фільтрування — 0,8 м ² ; згущення суспензії до 25–30% сухої речовини. |
| ТП5. Сушіння | Розпилювальна сушарка | 1 | Випарювальна здатність 150 кг вологи/год; $T_{\text{вх}}=160^\circ\text{C}$, $T_{\text{вих}}=85^\circ\text{C}$. |
| ТП6. Фасування | Автоматична фасувальна машина | 1 | Продуктивність 10–20 пакетів/хв; фасування в пакети по 1 кг. |

3.4. Розрахунок матеріального балансу

На підставі обраних технологічних параметрів та виходів продукту складено матеріальний баланс (Табл. 3.2) та на річну програму (Табл. 3.3).

Таблиця 3.2 – Матеріальний баланс однієї виробничої серії

| Стадія | Вхідні матеріали (кг) | Вихідні продукти та відходи (кг) |
|--|---|---|
| Приготування середовища та ферментація | Декстроза; вітамінний концентрат; Конц. мікроелементів; Вода підготовлена; Інокулят | Культуральна рідина: (в т.ч. біомаса ~4%) |
| Сепарація | Культуральна рідина: 4100,0 | Осад (дріжджова паста, волога ~80%) Відходи (фугат):3280,0 |
| Концентрування | Дріжджова паста. | Концентрат (волога ~28%) Фільтрат (вода) |
| Сушіння та фасування | Концентрат: 575,0 | Готовий продукт (волога 7%); Відпрацьована вода; Технологічні втрати. |

Загальний баланс серії: 4100,0 кг = 4100,0 кг.

Таблиця 3.3 – Зведений матеріальний баланс на річну програму (2 тонни)

| Сировина / матеріали | Витрата, т/рік | Кінцевий продукт / відходи | Вихід, т/рік |
|---------------------------|----------------|----------------------------|--------------|
| Декстроза | 3,55 | Готовий продукт (порошок) | 2,00 |
| Сульфат амонію | 0,89 | Суша речовина в продукті | 1,86 |
| Калію дигідрофосфат | 0,53 | Вода в продукті | 0,14 |
| Магнію сульфат | 0,09 | Технологічні втрати | 0,25 |
| Вітамінний концентрат | 0,18 | Відходи (фугат, фільтрат) | 194,54 |
| Концентрат мікроелементів | 1,78 | | |
| Вода технологічна | 170,58 | | |
| Інокулят (біомаса) | 19,20 | | |
| Всього: | 196,80 | Всього: | 196,80 |

На основі виконаних розрахунків обґрунтовано вибір основного апарату – ферментера об'ємом 6,3 м³ та супутнього обладнання, що утворює замкнуту технологічну лінію. Складений матеріальний баланс підтверджує технологічну можливість виробництва 2 тонн кормової добавки на рік із заданими якісними показниками (Додаток Е).

3.5. Біосинтез вітамінів групи В як основа поживної цінності дріжджової добавки

Окрім високого вмісту протеїну, біомаса *Saccharomyces cerevisiae* має додаткову цінність завдяки здатності до внутрішньоклітинного синтезу низки незамінних вітамінів групи В. Ці сполуки, будучи коферментами ключових метаболічних процесів, роблять дріжджі не лише джерелом будівельних блоків, а й важливим метаболічним активатором у раціоні тварин [35].

Вітаміни В₁ (тіамін) та В₆ (піридоксин). Тіамін у формі тіамінпірофосфату (ТРР) є кофактором ферментів піруватдегідрогеназного та α -кетоглутаратдегідрогеназного комплексів, а також транскетолази, беручи участь у вуглеводному обміні та пентозофосфатному шляху [36]. У дріжджах його біосинтез тісно пов'язаний із шляхом утворення піридоксаль-5'-фосфату (PLP) – активної форми вітаміну В₆, який є коферментом для понад 140 ферментів, переважно амінотрансфераз та декарбоксилаз (Додаток Є). Таким чином, включення дріжджів до раціону одночасно покриває потреби в цих двох взаємопов'язаних вітамінах.

Вітамін В₃ (ніацин). У формі нікотинамідаденіндинуклеотиду (NAD⁺) та його фосфату (NADP⁺) цей вітамін слугує основним окисно-відновним коферментом у реакціях катаболізму (NAD⁺) та анаболізму (NADP⁺) [37]. *Saccharomyces cerevisiae* синтезує NAD⁺ *de novo* з амінокислоти триптофану або рецикує його з нікотинаміду (Додаток Ж). Адекватне забезпечення ніацином критично важливе для енергетичного метаболізму клітин.

Вітамін В₅ (пантотенова кислота). Ця сполука є обов'язковим попередником для синтезу коензиму А (КоА) та ацил-переносячого білка (АСР) – ключових учасників метаболізму жирних кислот та циклу Кребса [38]. Дріжджі синтезують її шляхом конденсації пантоату та β -аланіну (Додаток З). Наявність пантотенату в кормовій добавці підтримує ліпідний обмін та енергопродукцію в організмі тварини.

Вітамін В₇ (біотин). Виконує роль кофактора карбоксилаз, таких як ацетил-КоА-карбоксилаза (перша лімітуюча стадія синтезу жирних кислот) та піруват-карбоксилаза (учасник глюконеогенезу) [39]. Біосинтез біотину в дріжджах від

пімелінової кислоти забезпечує наявність цього важливого вітаміну в біомасі (Додаток К. Рис. а).

Вітамін В₈ (міо-інозитол). Цей спирт є структурним компонентом фосфатидилінозиту – фосфоліпиду клітинних мембран, а також попередником вторинних месенджерів (інозитолтрифосфату) у системах внутрішньоклітинної сигналізації [40]. Дріжджі синтезують його з глюкозо-6-фосфату (Додаток К. Рис. б).

Вітамін В₁₀ (параамінобензойна кислота, pABA). pABA є обов'язковим проміжним продуктом у біосинтезі фолатів (вітаміну В₉), які, у свою чергу, необхідні для переносу одновуглецевих груп при синтезі нуклеотидів та метилюванні [41]. Наявність pABA в дріжджовій біомасі (Додаток К. Рис. в) сприяє ендогенному синтезу фолатів у мікрофлорі травного тракту тварин, підвищуючи загальну вітамінну забезпеченість.

Таким чином, використання синтетичного середовища Вердюна, збагаченого необхідними прекурсорами, забезпечує активний біосинтез вітамінів групи В у клітинах *S. cerevisiae*. Це перетворює отриману біомасу з простого джерела білка на комплексну вітамінно-білкову добавку, здатну коригувати метаболічні процеси та покращувати загальний стан здоров'я великої рогатої худоби.

3.6. Технологія виробничого процесу

На основі проведених розрахунків та аналізу було розроблено детальну технологічну блок-схему виробництва кормової добавки (Рис. 3.5). Схема візуалізує повний цикл від підготовки сировини до отримання готового продукту, включаючи всі стадії та точки контролю.

Процес поділено на два основні етапи:

Підготовчий (лабораторний) етап: включає приготування та стерилізацію поживного середовища (операції ДР1.1-ДР1.7), а також багатоступінчасте накопичення чистої культури інокуляту в наростаючих об'ємах (операції ДР2.1-ДР2.6).

Промисловий етап: включає власне виробничі операції: ферментацію в основному біореакторі (ТП1), сепарацію біомаси (ТП2), її охолодження (ТП3), концентрування (ТП4), сушіння (ТП5), фасування (ТП6) та заключний контроль якості (ТП7).

Кожна операція супроводжується чітко визначеними контрольними параметрами (маса, стерильність, рН, температура, тиск, вологість тощо), що забезпечують управління якістю на всіх стадіях та отримання стандартизованого готового продукту, який відповідає вимогам ДСТУ 8723:2017.

Технологія виготовлення кормової добавки на основі дріжджів виду *Saccharomyces cerevisiae* є складним багатостадійним процесом, який включає кілька взаємопов'язаних етапів, спрямованих на отримання високоякісної біомаси. Загалом виробництво можна умовно поділити на чотири ключові стадії: підготовчий етап, ферментаційний процес, обробку отриманої біомаси після ферментації та завершальну стадію формування і пакування готового продукту.

Перший етап - підготовка виробництва, що охоплює два основні напрямки. Перший пов'язаний із підготовкою та накопиченням достатнього об'єму чистої культури дріжджів у лабораторних умовах. Другий включає заходи з підготовки виробничого середовища: очищення, стерилізацію приміщень, обладнання та поживних середовищ, які будуть використовуватися в процесі культивування.

На лабораторному етапі використовують вихідні культури дріжджів, які зазвичай зберігаються у стабільному стані або в замороженому вигляді, або після ліофілізації. Для їх активізації застосовують метод послідовних пересівів у різні поживні середовища: спочатку у пробірках, потім у колбах, а далі у невеликих лабораторних ферментерах. Така поетапна схема дозволяє поступово збільшувати кількість клітин і підтримувати їхню життєздатність.

Отриманий інокулят після лабораторного вирощування переносять у ферментер малого об'єму (приблизно 50 літрів), де продовжується нарощування біомаси. Згодом культура переноситься у більший апарат (близько 400 літрів), що забезпечує отримання достатньої кількості посівного матеріалу для промислового етапу. На цьому етапі особливу увагу приділяють стерильності та

відсутності сторонніх мікроорганізмів, оскільки навіть незначне забруднення може негативно вплинути на якість кінцевого продукту.

Для вирощування дріжджів застосовують поживне середовище, основу якого становить меляса побічний продукт цукрового виробництва, що є доступним джерелом вуглецю. До складу середовища додають необхідні компоненти для забезпечення повноцінного росту: джерела азоту (наприклад, аміак, солі амонію або сечовину), фосфорні сполуки (фосфорна кислота або фосфати), а також вітаміни та інші фактори росту, включаючи біотин. Процес культивування на цьому етапі триває приблизно 10–12 годин і супроводжується помірною аерацією.

Другий етап це ферментація, що є основним у технологічному процесі, оскільки саме тут відбувається інтенсивне накопичення біомаси дріжджів. Процес має багатоступеневий характер і передбачає поступове збільшення об'ємів культивування разом із підвищенням рівня аерації та додаванням поживних речовин.

Хоча меляса традиційно використовується як основа поживного середовища, вона має певні обмеження щодо складу мікроелементів і вітамінів. Тому на виробничому етапі часто застосовують синтетичні середовища на основі глюкози з контрольованим рівнем кислотності (близько рН 5,0). Такі середовища додатково збагачують вітамінами та мікроелементами, що стимулює біосинтез вітамінів групи В у клітинах дріжджів і сприяє підвищенню харчової цінності кінцевого продукту.

Ферментацію здійснюють у промислових ферментерах значного об'єму (приблизно 6,3 м³). Конструкція таких апаратів повинна забезпечувати ефективний газообмін, оскільки кисень є критично важливим фактором для росту аеробних мікроорганізмів. Недостатня аерація може призвести до зниження швидкості росту клітин і, відповідно, до зменшення виходу біомаси.

Для забезпечення належного рівня аерації використовують спеціальні барботажні системи, які подають стерильне повітря, а також механічні перемішувачі, що сприяють рівномірному розподілу кисню та поживних речовин

у середовищі. Крім того, важливою складовою ферментера є система контролю температури, оскільки процес росту дріжджів супроводжується виділенням тепла.

З метою дотримання санітарних норм і стерильності обладнання оснащується системами автоматичного очищення без розбирання (так звані SIP-системи). Після очищення та дезінфекції ферментер додатково стерилізують паром. Лише після цього в апарат подають стерильне поживне середовище та інокулянт, об'єм якого становить приблизно 10–12% від загального об'єму.

Процес культивування починається з інтенсивної подачі повітря. У ході ферментації постійно контролюють ключові параметри: температуру (зазвичай 28–30 °C), рівень рН, швидкість подачі поживних компонентів і рівень аерації. Сучасні виробництва використовують автоматизовані системи моніторингу, які дозволяють у реальному часі відстежувати стан процесу та коригувати його при необхідності.

Тривалість ферментації зазвичай становить від 12 до 18 годин. Завершення процесу визначається досягненням максимальної концентрації клітин, що відповідає приблизно 10 г сухої речовини на літр середовища. Для оцінки цього показника застосовують колориметричні методи.

Третій етап це постферментаційна обробка, що передбачає виділення та підготовку біомаси до подальшого використання. Після завершення ферментації клітини дріжджів відокремлюють від культуральної рідини за допомогою центрифугування. Для цього використовують промислові сепаратори, через які суспензію пропускають двічі. Між цими стадіями продукт промивають водою для видалення залишків середовища.

У результаті отримують дріжджову суспензію з концентрацією сухих речовин близько 18–20%. Цю масу охолоджують до температури 2–4 °C і тимчасово зберігають у спеціальних ємностях. За таких умов продукт може зберігатися протягом кількох днів без суттєвого погіршення якості, за умови періодичного перемішування.

Наступним кроком є концентрування біомаси. Це досягається шляхом фільтрації, зазвичай із використанням вакуумних фільтрів. У результаті отримують осад, в якому вміст сухих речовин зростає до 27–30%.

Заключний етап — отримання готової продукції — полягає у висушуванні та пакуванні дріжджів. Кормові дріжджі найчастіше випускаються у вигляді сухого порошку з низьким вмістом вологи (не більше 10%). Для цього концентровану біомасу піддають сушінню, зокрема в розпилювальних сушарках, які забезпечують швидке видалення вологи та збереження поживних властивостей продукту.

Після сушіння продукт фасують у стандартні пакування, зазвичай масою по 1 кг. Готова продукція проходить обов'язковий контроль якості відповідно до встановлених стандартів, що регламентують показники безпечності та поживної цінності кормових дріжджів.

Таким чином, виробництво кормової добавки на основі дріжджів є технологічно складним процесом, який потребує суворого контролю на всіх етапах від підготовки культури до пакування готового продукту. Правильна організація кожної стадії дозволяє отримати високоякісний продукт із стабільними характеристиками та високою біологічною цінністю.

РОЗДІЛ 4.
ЕКОНОМІЧНА ЕФЕКТИВНІСТЬ

4.1. Розрахунок собівартості та оцінка економічної ефективності

Економічна доцільність запропонованого технологічного проекту з виробництва кормової добавки оцінювалася на основі калькуляції собівартості 1 тонни готової продукції. Розрахунки виконані з урахуванням матеріального балансу, прогнозних цін на сировину та енергоносії, а також типових витрат на оплату праці, амортизацію та інші виробничі потреби (Табл. 4.1).

Таблиця 4.1 – Калькуляція собівартості виробництва 1 тонни кормових дріжджів

| Стаття витрат | Одиниця виміру | Норма витрати на 1 т | Ціна за одиницю, грн | Сума, тис. грн |
|----------------------------|----------------|----------------------|----------------------|----------------|
| 1. Сировина та матеріали | | | | 104,5 |
| Декстроза | т | 1,74 | 25 000 | 43,5 |
| Сульфат амонію | т | 0,43 | 12 000 | 5,2 |
| Калію дигідрофосфат | т | 0,26 | 45 000 | 11,7 |
| Магнію сульфат | т | 0,04 | 8 000 | 0,3 |
| Вітамінний концентрат | т | 0,09 | 120 000 | 10,8 |
| Концентрат мікроелементів | т | 0,87 | 35 000 | 30,5 |
| Вода технологічна | м ³ | 83,3 | 30 | 2,5 |
| 2. Енергетичні витрати | | | | 60,0 |
| Електроенергія | кВт·год | - | - | 38,0 |
| Пара та теплоносії | Гкал | - | - | 22,0 |
| 3. Витрати на оплату праці | | | | 46,0 |
| 4. Амортизація обладнання | | | | 18,0 |
| 5. Інші виробничі витрати | | | | 11,5 |
| Виробнича собівартість | | | | 240,0 |

Найбільшу питому вагу у собівартості (близько 43,5%) становлять витрати на сировину та матеріали, зокрема на високоякісні компоненти середовища (декстроза, мікроелементи, вітаміни). Енергетичні витрати (25%) обумовлені

потребами в інтенсивній аерації, перемішуванні, центрифугуванні та сушінні. Витрати на оплату праці та амортизацію разом складають близько 26,7%.

4.2. Визначення ціни реалізації та показників рентабельності

Прогнозна оптова ціна реалізації кормових дріжджів, збагачених вітамінами групи В, встановлена на рівні 320 000 грн за тонну. Ця ціна відповідає середньоринковому діапазону для білково-вітамінних добавок мікробіологічного походження високої якості.

На підставі собівартості та ціни реалізації розраховуються основні економічні показники: прибуток від реалізації 1 тонни: $\Pi = \text{Ціна реалізації} - \text{Собівартість} = 320,0 - 240,0 = 80,0$ тис. грн.

Рівень рентабельності виробництва: $R = (\text{Прибуток} / \text{собівартість}) \times 100\% = (80,0 / 240,0) \times 100\% = 33,3\%$.

Для наочності показники наведені також у розрахунку на 1 кілограм продукції (Табл. 4.2).

Таблиця 4.2 – Економічні показники у розрахунку на 1 кг продукції

| Показник | Значення |
|-------------------------------|----------|
| Собівартість 1 кг, грн | 240 |
| Ціна реалізації 1 кг, грн | 320 |
| Прибуток з 1 кг, грн | 80 |
| Рентабельність виробництва, % | 33,3 |

Проведені розрахунки свідчать про економічну доцільність та високу комерційну привабливість проекту. Рівень рентабельності на рівні 33.3% є достатнім для залучення інвестицій та забезпечення стабільної роботи виробництва навіть при відносно невеликому річному обсязі (2 тонни). Найбільший резерв для зниження собівартості полягає в оптимізації витрат на сировину, зокрема – у дослідженні можливості часткової заміни декстрази гідролізатами відходів хлібопекарського виробництва, що є прямим шляхом реалізації заявленої в роботі мети.

ВИСНОВКИ

На підставі проведених досліджень та розробок у межах даної кваліфікаційної роботи можна сформулювати такі ключові положення:

1. Для виробництва кормової добавки обрано промисловий штам дріжджів *Saccharomyces cerevisiae*, який є факультативним анаеробом із здатністю до інтенсивного аеробного росту та синтезу широкого спектру вітамінів групи В, що визначає його високу біологічну цінність.

2. З метою забезпечення річного випуску 2 тонн сухого продукту розраховано необхідний робочий об'єм культуральної рідини (3,88 м³) та обрано стандартний ферментер загальним об'ємом 6,3 м³ з робочим об'ємом 4,0 м³. Для ефективного аеробного культивування обґрунтовано використання турбінної мішалки з частотою обертання 200 об/хв.

3. Розроблена технологічна схема передбачає послідовне використання ферментера, сепаратора-центрифуги, збірника-охолоджувача, вакуум-фільтра, розпилювальної сушарки та фасувальної машини, технічні характеристики яких забезпечують замкнутий виробничий цикл із заданою продуктивністю.

4. Розрахунки підтверджують технологічну можливість отримання 41,7 кг готового продукту за одну виробничу серію (тривалістю 7 діб) із загальних 4100 кг вихідних матеріалів. Річний баланс на випуск 2 тонн демонструє чітке співвідношення між витраченою сировиною (196,8 т) та отриманими продуктом і відходами.

5. Встановлено, що використання синтетичного середовища Вердюна стимулює в клітинах *S. Cerevisiae* біосинтез ключових вітамінів групи В (В1, В3, В5, В6, В7, В8, В10), що перетворює біомасу з простого джерела білка на комплексну вітамінно-білкову добавку з метаболічною активністю.

6. Схема візуалізує повний двоетапний процес (підготовчий лабораторний та основний промисловий), включаючи всі операції від приготування середовища до фасування, із зазначенням контрольних точок та параметрів, що гарантує управління якістю та відтворюваність результату.

7. Отже, результати власних досліджень підтверджують технічну можливість та обґрунтованість запропонованої біотехнологічної схеми виробництва кормової добавки для великої рогатої худоби на основі дріжджів *Saccharomyces cerevisiae* у заданих умовах.

ПРОПОЗИЦІЇ

На основі результатів досліджень, викладених у кваліфікаційній роботі, для практичної реалізації та підвищення ефективності виробництва кормової добавки на основі дріжджів *Saccharomyces cerevisiae* пропонується: провести пілотні дослідження з заміною декстрази в середовищі Вердюна на гідролізовані відходи ТОВ «Боровський хлібзавод» (несвіжий хліб, виробничий брак). Це дозволить оцінити реальний технологічний та економічний ефект від утилізації відходів.

1. Для забезпечення стабільності продукту пропонується створити локальні інструкції з оперативного мікробіологічного та фізико-хімічного контролю на ключових стадіях: стерильності середовища, чистоти культури, вологості напівпродуктів та готового порошку.
2. Провести апробацію добавки в умовах тваринницького господарства на поголів'ї великої рогатої худоби з оцінкою впливу на показники конверсії корму, середньодобових приростів, надоїв та загального стану здоров'я тварин.
3. Розпочати процедуру реєстрації кормової добавки.

Реалізація цих пропозицій забезпечить створення стабільного, економічно вигідного та екологічно орієнтованого виробництва високоякісної кормової добавки.

ЖИТЕПАТҮПА

1. Yeast derivatives as a source of bioactive components in animal nutrition: A brief review. / Patterson R. et al. *Frontiers in veterinary science*. 2023. Vol. 9. Article No. 1067383.
2. Modulation of gut-microbiota through probiotics and dietary interventions to improve host health. / Dasriya V. L. et al. *Journal of the science of food and agriculture*. 2024. Vol. 104, No. 11. P. 6359–6375.
3. Alugongo et al. (2017). Utilization of Yeast Products in Dairy Cattle Diets. *Journal of Applied Animal Research*. DOI: 10.1080/09712119.2017.1302879.
4. Suarez C, Guevara C. A. Probiotic Use of Yeast *Saccharomyces Cerevisiae* in Animal Feed. *Research Journal of Zoology*. 2018. Vol.1. Article No. 1.
5. A buffalo rumen-derived probiotic (SN-6) could effectively increase simmental growth performance by regulating fecal microbiota and metabolism. / Yang S. et al. *Frontiers in microbiology*. 2022. Vol. 13. Article No. 935884.
6. Microbial mechanisms of using feruloyl esterase-producing *Lactobacillus plantarum* A1 and grape pomace to improve fermentation quality and mitigate ruminal methane emission of ensiled alfalfa for cleaner animal production. / Zhang X. et al. *Journal of environmental management*. 2022. Vol. 308. Article No. 114637.
7. Khalifa A., Ibrahim H. M., Sheikh A. *Bacillus subtilis* PM5 from Camel Milk Boosts Chicken Immunity and Abrogates *Salmonella enteritidis* Infections. *Microorganisms*. 2023. Vol. 11, No. 7. Article No. 1719.
8. Oral administration of *Lactobacillus rhamnosus* GG to newborn piglets augments gut barrier function in pre-weaning piglets. / Wang Y. et al. *Journal of Zhejiang University. Science. B*. 2019. Vol. 20, No. 2. P. 180–192.
9. *Clostridium butyricum* Improves Rumen Fermentation and Growth Performance of Heat-Stressed Goats In Vitro and In Vivo. / Cai L. et al. *Animals : an open access journal from MDPI*. 2021. Vol. 11, No. 11. Article No. 3261.

10. Research progress in isolation and identification of rumen probiotics.
/ Wu R. et al. *Frontiers in cellular and infection microbiology*. 2024. Vol. 14. Article No. 1411482.
11. Isolation and Characterization of Ruminal Yeast Strain with Probiotic Potential and Its Effects on Growth Performance, Nutrients Digestibility, Rumen Fermentation and Microbiota of Hu Sheep. / Wang Y. et al. *Journal of fungi (Basel, Switzerland)*. 2022. Vol. 8, No. 12. Article No. 1260.
12. Influence of dietary probiotic inclusion on growth performance, nutrient utilization, ruminal fermentation activities and methane production in growing lambs.
/ Hassan A. et al. *Animal biotechnology*. 2020. Vol. 31, No. 4. P. 365–372.
13. Compendium of 4,941 rumen metagenome-assembled genomes for rumen microbiome biology and enzyme discovery. / Stewart R. D. et al. *Nature biotechnology*. 2019. Vol. 37, No. 8. P. 953–961.
14. Isolation and Cultivation of Human Gut Microorganisms: A Review.
/ Wan X. et al. *Microorganisms*. 2023. Vol. 11, No. 4. Article No. 1080.
15. Effect of *Saccharomyces cerevisiae* fermentation product on feed intake parameters, lactation performance, and metabolism of transition dairy cattle.
/ Olagaray K. E. et al. *Journal of dairy science*. 2019. Vol. 102, No. 9. P. 8092–8107.
16. Active dry yeast supplementation benefits ruminal fermentation, bacterial community, blood immunoglobulins, and growth performance in young dairy goats, but not for intermittent supplementation. / Zhang J. et al. *Animal nutrition*. 2023. Vol. 13. P. 289–301.
17. Review: Utilization of yeast of *Saccharomyces cerevisiae* origin in artificially raised calves. / Alugongo G. M. et al. *Journal of animal science and biotechnology*. 2017. Vol. 8. Article No. 34.
18. Steensels J., Verstrepen K. J. Taming wild yeast: potential of conventional and nonconventional yeasts in industrial fermentations. *Annual review of microbiology*. 2014. Vol. 68. P. 61–80.

19. Nikiforidis C. V. Structure and functions of oleosomes (oil bodies). *Advances in colloid and interface science*. 2019. Vol. 274. Article No. 102039.
20. Cell wall polysaccharides: before and after autolysis of brewer's yeast. / Wang J. et al. *World journal of microbiology & biotechnology*. 2018. Vol. 34, No. 9. Article No. 137.
21. Vieira E., Brandão T., Ferreira I. M. Evaluation of Brewer's spent yeast to produce flavor enhancer nucleotides: influence of serial repitching. *Journal of agricultural and food chemistry*. 2013. Vol. 61, No. 37. P. 8724–8729.
22. Vieira E., Brandão T., Ferreira I. M. Evaluation of Brewer's spent yeast to produce flavor enhancer nucleotides: influence of serial repitching. *Journal of agricultural and food chemistry*. 2013. Vol. 61, No. 37. P. 8724–8729.
23. Zhao J., Fleet G. H. Degradation of RNA during the autolysis of *Saccharomyces cerevisiae* produces predominantly ribonucleotides. *Journal of industrial microbiology & biotechnology*. 2005. Vol. 32, Vol. 9. P. 415–423.
24. De Marco Castro E., Calder P. C., Roche H. M. β -1,3/1,6-Glucans and Immunity: State of the Art and Future Directions. *Molecular nutrition & food research*. 2021. Vol. 65, No. 1. Article No. e1901071.
25. Effects of yeast (*Saccharomyces cerevisiae*) cell components on growth performance, meat quality, and ileal mucosa development of broiler chicks. / Zhang A. W. et al. *Poultry science*. 2005. Vol. 84, No. 7. P. 1015–1021.
26. Protein hydrolysates in animal nutrition: Industrial production, bioactive peptides, and functional significance. / Hou Y. et al. *Journal of animal science and biotechnology*. 2017. Vol. 8. Article No. 24.
27. Giovani G., Canuti V., Rosi I. Effect of yeast strain and fermentation conditions on the release of cell wall polysaccharides. *International journal of food microbiology*. 2010) Vol. 137. No. 2-3. P. 303–307.
28. Process optimization for the production of Yeast Extract using fresh Baker's yeast. / Khan M. A. et al. *Pakistan Journal of Biochemistry and Biotechnology*. 2020. Vol. 1, No. 2.

29. Бомко В. С., Сиваченко Є. В., Сметаніна О. В. Корми і кормові добавки та ефективність їх використання в годівлі тварин: навч. посібник. Біла Церква, 2023. 225с.
30. ДСТУ 8723:2017 Дріжджі кормові. Методи випробування.
31. SOP Verduyn glucose medium for *S. cerevisiae*. 2006. [Internet resource] http://www.apz-rl.de/002_download/003_mitgeltende_dokumente/012_Verduyn-Medium_002.pdf
32. Do microbes evade domestication? - Evaluating potential ferality among diastatic *Saccharomyces cerevisiae*. / Paraíso F. et al. *Food microbiology*. 2023. Vol. 115. Article No. 104320.
33. Genomics and Biochemistry of *Saccharomyces cerevisiae* Wine Yeast Strains. *Biochemistry*. / Eldarov M. A. et al. *Biochemistry*. 2016. Vol. 81, No. 13. P. 1650–1668.
34. Eldarov M. A., Mardanov, A. V. Metabolic Engineering of Wine Strains of *Saccharomyces cerevisiae*. *Genes*. 2020. Vol. 11, No. 9. Article No. 964.
35. *Saccharomyces cerevisiae* strains for second-generation ethanol production: from academic exploration to industrial implementation. / Jansen M. L. A. et al. *FEMS yeast research*. 2017. Vol. 17, No. 5. Article No. fox044.
36. Aon J. C., Tecson R. C., Loladze V. *Saccharomyces cerevisiae* morphological changes and cytokinesis arrest elicited by hypoxia during scale-up for production of therapeutic recombinant proteins. *Microbial cell factories*. 2018. Vol. 17, No. 1. Article No. 195.
37. Процеси, апарати та устаткування біотехнологічних виробництв – Практикум / Ружинська Л. І. та ін. Київ : КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2023. 66 с.
38. Технологічне обладнання біотехнологічної і фармацевтичної промисловості: підручник / Стасевич М. В. та ін. Львів: «Новий Світ -2000», 2018. 410 с.
39. Харчова біотехнологія / Пирог Т. П. та ін. Київ : Ліра-К, 2016. 407 с.

ДОДАТКИ