

**ВСП «Харківський торговельно-економічний фаховий коледж
Державного торговельно-економічного університету»**

**Циклова комісія харчових технологій, готельно-ресторанної справи
та туризму**

Сердюк Вікторія Анатоліївна

ПІБ здобувача

КУРСОВА РОБОТА

**Характеристика інноваційних напрямів виробництва заквасок для
ферментованих молочних продуктів**

тема

Навчальна
дисципліна

Технологія виробництва харчової продукції

назва навчальної дисципліни

Ступінь освіти

Фаховий молодший бакалавр

фаховий молодший бакалавр, молодший бакалавр, бакалавр

Галузь знань

18 Виробництво та технології

шифр і назва галузі знань

Спеціальність

181 Харчові технології

код і найменування спеціальності

Освітньо-професійна
програма

Виробництво харчової продукції

назва освітньо-професійної програми

Академічна група

ТХ-1-22

назва академічної групи

Харків, 2024 рік

ДОПУЩЕНО ДО ЗАХИСТУ

Керівник: Аштаєва Наталія Леонідівна, викладач циклової комісії харчових технологій, готельно-ресторанної справи та туризму, спеціаліст вищої категорії

Робота містить результати власних досліджень. Використання ідей, результатів і текстів інших авторів мають посилання на відповідне джерело.

Здобувач :  В. Сердюк

Підсумкова оцінка: _____ 80 _____ (балів)

Члени комісії з захисту:  Н. Аштаєва

 О. Аштаєв

**ВСП «Харківський торговельно-економічний фаховий коледж
Державного торговельно-економічного університету»**

Циклова харчових технологій, готельно-ресторанної справи та туризму

Сердюк Вікторія Анатоліївна

ПІБ здобувача

ЗАВДАННЯ НА КУРСОВУ РОБОТУ

Навчальна
дисципліна

Технологія виробництва харчової продукції

назва навчальної дисципліни

Тема роботи

Характеристика інноваційних напрямів виробництва
заквасок для ферментованих молочних продуктів

тема курсової роботи

Термін подання
завершеної роботи

29.11.2024 р

фаховий молодший бакалавр, молодший бакалавр, бакалавр

Графік виконання роботи

Виконання роботи за розділами	Термін виконання
Вибір та затвердження теми	09.09 – 20.09.2024
Добір та аналіз літератури за обраною темою	23.09 – 04.10.2024
Складання плану курсової роботи	7.10 – 11.10.2024
Написання вступу та I розділу	14.10 – 25.10.2024
Написання II розділу курсової роботи	28.10 – 15.11.2024
Написання висновків та оформлення курсової роботи	18.11 – 22.11.2024
Подання курсової роботи керівнику для рецензування (для рекомендації до захисту)	25.11 – 29.11.2024
Захист курсової роботи	02.12 – 06.12.2024

Завдання видав

Науковий керівник,
спеціаліст вищої категорії

Наталія Аштаєва

(підпис)

Завдання отримав

Здобувач

(підпис)

В. Сердюк

ПІБ здобувача

«09» вересня 2024 р.

«09» вересня 2024 р.

ЗМІСТ

ВСТУП.....	2
РОЗДІЛ 1. СУЧАСНИЙ СТАН ВИРОБНИЦТВА ЗАКВАСОК ДЛЯ ФЕРМЕНТОВАНИХ МОЛОЧНИХ ПРОДУКТІВ.....	5
1.1. Загальна характеристика, класифікація та асортимент заквасок для ферментованих молочних продуктів.....	5
1.2. Дослідження та аналіз технологічних процесів виробництва заквасок на прикладі різних типів культур.....	8
1.3. Економічні та біотехнологічні аспекти інновацій у виробництві заквасок	11
РОЗДІЛ 2. МОДЕЛЮВАННЯ ТА АНАЛІЗ ТЕХНОЛОГІЧНОЇ СХЕМИ ВИРОБНИЦТВА ЗАКВАСОК.....	15
2.1. Розробка декомпозицій і принципової технологічної схеми виробництва заквасок для ферментованих продуктів.....	15
2.2. Аналіз складу заквасочних культур і технологічної схеми виробництва. Визначення вимог до якості готового продукту.....	20
ВИСНОВКИ.....	25
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ.....	27

ВСТУП

Актуальність теми. У структурі сучасного харчового виробництва ферментовані молочні продукти залишаються однією з найдинамічніших категорій споживання, що поєднує харчову цінність, функціональну активність і терапевтичний потенціал. Закваски як біотехнологічна основа цього виробництва виконують ключову роль у формуванні органолептичних, біохімічних, мікробіологічних характеристик готової продукції. В умовах зростання попиту на функціональні продукти з пробіотичними властивостями, екологічно чистими складниками, гарантованою якістю та безпечністю, підвищуються вимоги до якості заквасочних культур, їхньої технологічної стабільності, метаболічної активності та адаптивності до різних умов виробництва.

Сучасна індустрія заквасок стикається з низкою викликів, серед яких: забезпечення стабільного складу мікробіоти, оптимізація процесів культивування, адаптація до технологій великомасштабного виробництва, підвищення біозахисних властивостей та створення нових культур зі спрямованою дією (антиоксидантною, антагоністичною, імуномодулювальною). Паралельно з цим формуються вимоги до економічної ефективності: вартість виробництва, ресурсозбереження, енергоефективність, тривалість зберігання. З огляду на це, оптимізація технологічної схеми виробництва заквасок набуває значення не лише в контексті харчової технології, а й у межах економіки підприємств, біоінженерії та продовольчої безпеки.

У контексті розвитку ринку заквасочних культур в Україні актуальним є пошук нових типів культур, адаптованих до локальної сировини, кліматичних умов, а також до умов невеликих виробництв. Важливо також оцінювати впровадження інновацій, зокрема у сфері мікрокапсулювання, іммобілізації клітин, використання симбіотичних композицій. Крім того, особливої ваги набуває питання технологічного моделювання, що дозволяє

створити ідеальні умови для ферментації з мінімальними втратами та прогнозованими результатами. Ефективне поєднання біотехнологічних і економічних підходів дозволить підвищити якість готових продуктів, зменшити технологічні ризики й сформувати сталі виробничі стратегії.

Теоретичне підґрунтя. Проблематика заквасок для ферментованих молочних продуктів є широко представленою в роботах сучасних дослідників харчової науки. Сирохман І. В. узагальнює властивості традиційних і інноваційних технологій у контексті безпечності харчової продукції, тоді як Доценко В. Ф. і Кочерга В. І. систематизують технологічні підходи до виробництва в умовах ресторанного господарства. Закономірності ферментативного гідролізу лактози, що є критичними у формуванні якісних характеристик заквасок, досліджуються в межах спеціалізованих публікацій *Продовольчих ресурсів* (2020). У працях Карпенка П. О., Притульської Н. В. та Зубаря Н. М. розкрито фізіолого-біохімічні основи заквасочного процесу, вплив технологічних режимів на активність мікроорганізмів, а також принципи формування складу продукту. Соломон А. М. детально описує роль біфідобактерій як пробіотичних агентів у складі заквасок, що актуалізує тему створення продуктів із підвищеною біологічною цінністю. Економічну частину аналізує видання *Економіка підприємства* (2020), де розглядаються моделі ефективного функціонування біотехнологічних ліній. Нормативні позиції викладено в ДСТУ 3662, що регламентує вимоги до молока як сировини, та в ДСТУ 3008, що визначає оформлення звітної документації в науковій сфері.

Мета дослідження полягає в аналізі сучасного стану та технологічних особливостей виробництва заквасок для ферментованих молочних продуктів, розробці принципової технологічної схеми їх виготовлення, а також у визначенні економічно й біотехнологічно доцільних напрямів удосконалення виробничого процесу.

Завдання дослідження:

- надати загальну характеристику, класифікацію та асортимент заквасок для ферментованих молочних продуктів
- проаналізувати сучасні технологічні процеси виробництва заквасок на прикладі різних типів культур
- дослідити економічні й біотехнологічні аспекти інновацій у виробництві заквасок
- розробити декомпозиції та принципову технологічну схему виробництва заквасок для ферментованих продуктів
- здійснити аналіз складу заквасочних культур і технологічної схеми виробництва
- визначити вимоги до якості готового продукту на основі нормативних і практичних критеріїв

Об'єктом дослідження є процес виробництва заквасок для ферментованих молочних продуктів у сучасному харчовому виробництві.

Предметом дослідження є технологічні схеми, склад заквасочних культур, інноваційні підходи до виробництва, економічні та якісні параметри готової продукції.

Методи дослідження. У роботі застосовано аналітичний метод - для огляду наукових джерел; метод системного підходу - для розробки технологічної схеми; порівняльний аналіз - для вивчення типів культур; економічне моделювання - для визначення доцільності впровадження інновацій; інтерпретаційний метод - для узагальнення результатів щодо якості продукції.

Структура роботи. Робота складається зі вступу, двох розділів, п'яти підрозділів, висновків і списку використаних джерел.

РОЗДІЛ 1. СУЧАСНИЙ СТАН ВИРОБНИЦТВА ЗАКВАСОК ДЛЯ ФЕРМЕНТОВАНИХ МОЛОЧНИХ ПРОДУКТІВ

1.1. Загальна характеристика, класифікація та асортимент заквасок для ферментованих молочних продуктів

В сучасному молочному виробництві закваски відіграють базову функцію в ініціації та спрямуванні процесів біохімічного дозрівання, ферментації й трансформації білково-вуглеводного та ліпідного профілю молочної сировини. В основі цього лежить здатність мікроорганізмів, що входять до складу заквасок, модифікувати середовище через молочнокисле зброджування, формуючи цільову текстуру, смак і аромат кінцевого продукту. Закваски - це композиції живих клітин мікроорганізмів, переважно молочнокислих бактерій (*Lactococcus*, *Lactobacillus*, *Leuconostoc*) і біфідобактерій, рідше - термофільних стрептококів або дріжджів. Їхній добір відбувається залежно від бажаної кислотності, типу бродіння, органолептичного профілю та стійкості до зовнішніх технологічних впливів. Мікробіологічна активність заквасок зумовлює біохімічну редукцію лактози до молочної кислоти, формування летких ароматичних сполук, екзополісахаридів і білково-поліпептидних структур, що визначають функціональні й сенсорні властивості продуктів [6, с. 4].

В результаті дії заквасок молочне середовище змінює рН, в'язкість, щільність і водозв'язувальну здатність. Це особливо виражено в процесах виготовлення йогуртів, ряжанки, кефіру, айрану, сметани, кисломолочних сирів, де тип і штамовий склад закваски визначають всю структуру виробу. Крім класичного кисломолочного асортименту, сучасні закваски застосовуються в десертних ферментованих напоях, дитячому харчуванні, пробіотичних продуктах і навіть у функціональних дієтичних системах. Індивідуалізація заквасок для кожного продукту відбувається з урахуванням температурного режиму зброджування, вмісту сухих речовин, жирності,

очікуваного терміну зберігання, активності ферментів і навіть рівня взаємодії з біологічними активними домішками.

Класифікація заквасок здійснюється за кількома параметрами, що відображають як походження та фізіологію мікроорганізмів, так і технологічну спрямованість. За походженням розрізняють закваски природного і штучного типу. Перші - це спонтанно сформовані мікробіоценози, які виникають унаслідок автозброджування або зберігання молока в умовах, що сприяють розвитку ендогенної мікрофлори. Другі - це спеціально селекціоновані культури з контрольованими властивостями, які забезпечують передбачуваний результат. За складом виділяють монокультури (містять один штам), асоціативні закваски (кілька штамів одного виду) та симбіотичні композиції, що поєднують представників різних родів. Симбіотичні системи зазвичай використовуються у виробництві продуктів із комплексним смаковим профілем, де важлива багатоступенева ферментація. За температурною активністю закваски поділяють на мезофільні (працюють за температур 20–30 °C) і термофільні (35–45 °C), що зумовлює їх застосування в залежності від технології виробництва: перші - у сметані й кисляку, другі - у йогуртах і ацидофільних продуктах. Важливим параметром є тип бродіння: гомоферментативні закваски продукують переважно молочну кислоту, тоді як гетероферментативні - крім неї, також оцтову кислоту, етанол і вуглекислий газ, що формує аеровану структуру продукту. За призначенням закваски поділяються на прямого внесення (DVS) - для безпосереднього додавання до партії молока без попереднього вирощування, та на виробничі - призначені для багатоступеневого культивування в заквасочних цехах підприємства. DVS-варіанти зручні у використанні, мають довший термін зберігання, стабільний мікробний склад і широко застосовуються у промислових масштабах [15, с. 9].

Асортимент сучасного ринку заквасок охоплює широкий спектр як у межах класичних груп молочних продуктів, так і в спеціалізованих нішах, що орієнтовані на здорове харчування, дієтологічні рекомендації або інноваційні напрямки гастротехнологій. У сегменті йогуртів представлені закваски на

основі *Streptococcus thermophilus* та *Lactobacillus delbrueckii* subsp. *bulgaricus* у різних комбінаціях, зокрема з включенням пробіотичних штамів - *Lactobacillus acidophilus*, *Bifidobacterium lactis*, *Lactobacillus rhamnosus*. Для кефіру застосовуються складні симбіотичні культури, що поєднують молочнокислі бактерії з дріжджами *Saccharomyces kefir* або *Candida kefir*, які забезпечують як кислотне, так і спиртове бродіння. Сметана потребує заквасок із високим вмістом мезофільної мікрофлори - переважно *Lactococcus lactis* subsp. *cremoris*, *Lactococcus lactis* subsp. *lactis*, *Leuconostoc mesenteroides*, які забезпечують м'яку текстуру та характерний аромат [10, с. 13].

Для ряжанки та варенця використовують термофільні варіанти - *Streptococcus thermophilus*, що адаптовані до теплової обробки молока й надають виробу щільної, однорідної консистенції. У сиркових продуктах та десертах широко застосовуються комбіновані закваски з додаванням культур, що продукують екзополісахариди, підвищуючи в'язкість і кремоподібність. Такі композиції оптимізовані під умови зниженої температури зберігання, тривалих логістичних ланцюгів і високої стабільності продукту в упаковці. В окрему категорію входять функціональні закваски, розроблені для продуктів з пробіотичним або імуномодулюючим ефектом. Вони містять біологічно активні штами, здатні модулювати кишкову мікрофлору, сприяти синтезу вітамінів групи B, покращувати обмін ліпідів і нормалізувати моторну функцію кишківника. Компанії-виробники таких заквасок проводять дослідження з вивчення виживаності культур у шлунково-кишковому тракті, їх здатності до колонізації та антагоністичної активності щодо патогенних штамів [18, с. 15].

Розширення асортименту заквасок зумовлюється зростанням споживчого попиту на продукти зі зниженою калорійністю, високим вмістом білків, безлактозні альтернативи, продукти для дитячого харчування або харчування літніх людей. У таких випадках розробляються спеціалізовані закваски з адаптованим біохімічним профілем: з ферментативною активністю, що забезпечує глибший гідроліз лактози, з можливістю продукування

біоактивних пептидів або зі зниженим рівнем кислотогенезу для покращення сприйняття продукту. Технологи й мікробіологи тісно співпрацюють у створенні таких композицій, враховуючи метаболічні шляхи кожного штаму, його взаємодію з білковими та жировими компонентами молока, а також терmostійкість і антагонізм до бактеріофагів. У галузі ферментованих десертів, особливо на рослинній основі, зростає використання заквасок, адаптованих до субстратів із сої, вівса, мигдалю або кокосу. Такі культури повинні володіти здатністю зброджувати не тільки лактозу, а й інші типи вуглеводів (глюкозу, фруктозу, галактоолігосахариди), що містяться у рослинних матрицях. У цьому випадку застосовуються штами з гнучким ферментативним апаратом, які зберігають активність за зміненої кислотності та в'язкості середовища. Паралельно розвиваються технології інкапсуляції заквасок, що дозволяє зберегти життєздатність мікроорганізмів у стресових умовах пастеризації, шокового заморожування або тривалого зберігання.

1.2. Дослідження та аналіз технологічних процесів виробництва заквасок на прикладі різних типів культур

У системі сучасного мікробіологічного виробництва заквасок технологічний процес має багаторівневу організацію з точним регламентуванням кожної фази - від підготовки поживного середовища до стабілізації кінцевої біомаси. Промислова культура заквасок є результатом ретельно контрольованого культивування визначених штамів у середовищах з певним вмістом вуглеводів, азоту, мінералів, вітамінів і регуляторів росту. Особливу специфіку мають технологічні схеми для різних типів мікроорганізмів, оскільки як лактококи, так і біфідобактерії, ацидофіли або кефірні дріжджі висувають власні вимоги до умов росту, а також демонструють різну динаміку накопичення біомаси, швидкість ферментації й активність ферментативного апарату. Для термофільних стрептококів, зокрема *Streptococcus thermophilus*, оптимальною є температура 42–45 °С, нейтральне середовище з рН 6,5–6,8 та інтенсивна аерація у початковій фазі

росту. Натомість для *Lactobacillus acidophilus* бажано знижене значення рН 5,8–6,2 та повна анаеробність, що потребує герметичних ферментаторів із внутрішнім регулюванням тиску. Біфідобактерії взагалі демонструють надзвичайно повільну проліферацію й чутливість до зовнішніх впливів, що обумовлює використання комплексного середовища, збагаченого фруктоолігосахаридами або цистеїном як стимулятора росту, а також вакуумних технологій при посткультивацийній обробці [13, с. 36].

В разі промислового вирощування заквасок виробники дотримуються чітко визначених фаз - реанімації, нарощування клітинної маси, активізації ферментативної системи, стабілізації та консервування. Усі ці етапи варіюються залежно від таксономічної приналежності культури. Реанімація ліофілізованих форм передбачає поступове введення культури у рідке середовище із поетапним збільшенням концентрації поживних речовин. Нарощування проводиться у багатоступеневій системі, де початкова фаза відбувається у стерильному флаконі або пробірці, далі - у лабораторному біореакторі на 2–10 літрів, і лише після цього культура переводиться у виробничий ферментер об'ємом до 3000 літрів. Для кожного штаму визначається індивідуальний режим перемішування, pO_2 , співвідношення C:N, рівень аерації та навіть концентрація магнію, який впливає на активність рибосомального комплексу. Особливістю технології заквасок прямого внесення є відсутність фази адаптації - такі культури проходять шоківу активізацію через фризерну стабілізацію або сублимаційну сушку у вакуумі. При цьому використовуються захисні носії - мальтодекстрин, казеїнат натрію, лактоза, які не лише зберігають мембранну цілісність клітин, а й утворюють мікрокапсульну матрицю, що підвищує стабільність продукту під час транспортування й зберігання. Для біфідобактерій така стабілізація є критичною, оскільки порушення осмотичного балансу під час сушіння може призвести до повної втрати життєздатності [5, с. 9].

Порівняльний аналіз технологічних підходів дозволяє виявити суттєві відмінності у параметрах культивування залежно від виду мікроорганізмів.

Лактококи, що використовуються у виробництві сметани, характеризуються високою швидкістю поділу, низьким вмістом залишкової лактози та помірною продукцією летких ароматичних сполук. Їхній життєвий цикл дозволяє отримувати стабільні біомаси вже через 6–8 годин культивування, а в'язкість середовища залишається низькою, що полегшує фільтрацію та центрифугування. У той самий час культури *Lactobacillus casei* вимагають довшого періоду адаптації, мають тенденцію до агрегації клітин і виділяють значну кількість мукополісахаридів, які ускладнюють подальшу сушку. Більше того, їхній метаболізм є кислотогенним, тобто вони самостійно знижують рН до рівня 4,2–4,5, що може інгібувати власний ріст, якщо не відбувається регуляція через додавання буферних солей. Культури кефірного типу взагалі вимагають симбіотичної присутності дріжджів, які синергічно активують ферментацію через продукування вітамінів групи В і етилового спирту. Для таких систем критичним є режим дозування кисню, оскільки дріжджі потребують його для початкової реплікації, а бактерії - навпаки, пригнічуються при наявності вільного O_2 . З огляду на це процес культивування кефірних культур відбувається у ферментерах із роздільним контролем фаз: початкову аеробну фазу ведуть із дріжджами, а далі - анаеробну частину з бактеріями [12, с. 7].

Стабільність заквасок прямо залежить від параметрів середовища: температури, рівня рН, осмотичного тиску та концентрації субстратів. Надмірна кількість лактози може спричинити кислотний шок, тоді як дефіцит амінокислот гальмує ріст через блокування синтезу нуклеїнових кислот. Високий рівень осмолярності, спричинений концентрацією мінералів або цукрів, викликає осмотичний стрес і пошкодження клітинної мембрани. Особливо чутливими до таких змін є біфідобактерії, тому для них культивування здійснюється у середовищах зі зниженим вмістом $NaCl$, додаванням сорбітолу або гліцерину як осмозахисників. Для підвищення продуктивності процесу застосовують біореактори з імпульсною подачею субстрату, які дозволяють контролювати криву росту мікроорганізмів та

уникнути фази стаціонарного гальмування. Одним із методів підвищення виходу біомаси є використання іммобілізованих клітин - наприклад, на основі альгінатних гелів або полімерних мікросфер. Такі системи дозволяють багаторазово використовувати біокаталітичну платформу, регенеруючи середовище та зберігаючи стабільність колонії на кілька циклів [2, с. 13].

Якість готової закваски визначається не лише кількісними параметрами (CFU - colony forming units), а й біохімічним потенціалом: активністю дегідрогеназ, стабільністю ДНК, здатністю до колонізації субстрату й антифаговим захистом. Бактеріофаги є серйозною загрозою у виробництві заквасок - особливо в закритих системах, де навіть мінімальне зараження призводить до тотального лізису культури. Для боротьби з фагами використовуються бактерії з вбудованими CRISPR-механізмами або плазмідною фагорезистентністю. Крім того, проводиться геномний скринінг штамів перед виробництвом для виявлення й елімінації потенційно чутливих варіантів. У завершальній стадії технології відбувається консервування біомаси - або через ліофілізацію, або шляхом сублімаційного випаровування при температурі $-40-50$ °C. Це дозволяє отримати порошкоподібні форми з вологістю менше 3 %, які мають тривалий термін зберігання (до 24 місяців) за температур $4-6$ °C. У процесі упакування застосовуються інертні гази (азот або аргон), які запобігають окисленню та стабілізують структуру продукту. Паралельно проводиться стандартизація - вимірювання активності, визначення титру клітин, перевірка на відсутність патогенів і тестування життєздатності після розчинення. Такий комплексний підхід забезпечує відповідність заквасок сучасним вимогам безпечності, ефективності та відтворюваності.

1.3. Економічні та біотехнологічні аспекти інновацій у виробництві заквасок

У межах інтенсивного розвитку харчової біотехнології виробництво заквасок трансформується у напрямку впровадження високопродуктивних рішень, які водночас мають знижене енергоспоживання, полегшену логістику та стабільні параметри в умовах масштабування. Центральним чинником ефективності є вартісна структура виробництва: вона складається з витрат на поживне середовище, культивування, стабілізацію, сушку, пакування й контроль якості. Біотехнологічні інновації дозволяють скорочувати цикл виробництва, зменшувати собівартість за рахунок автоматизації процесів і одночасно підвищувати щільність колонієутворювальних одиниць у кінцевому продукті. Наприклад, традиційні процеси вирощування *Lactobacillus delbrueckii* subsp. *bulgaricus* тривалістю 18–22 години нині замінюються на короткі, інтенсифіковані біопроцеси з контролем подачі субстрату (fed-batch), що забезпечує зростання біомаси на 25–30 % швидше та зниження питомих витрат енергії на одиницю готового продукту на 18–22 %. У впровадженні таких підходів ключову функцію відіграє цифрова ферментація - система SCADA або аналогічні програмні комплекси, які здійснюють контроль температури, рН, рО₂, індексу росту та глюкозного споживання в режимі реального часу. Перевага такого формату полягає у стабільності виходу та гнучкості адаптації до змін у сировинному середовищі без втрати продуктивності [11, с. 12].

Економічно доцільним є також впровадження мультиштамових композицій із підвищеною біоактивністю. Наприклад, комбінування *Streptococcus thermophilus* і *Bifidobacterium lactis* у єдиному циклі вирощування дозволяє зменшити витрати на два окремі культивування на 17–19 %, за умови дотримання умов рН не вище 5,8 та температурного режиму в межах 37–38 °С. Перевага мультиштамових біоконструкцій також полягає у зменшенні ризиків, пов'язаних із бактеріофагами, адже генетично неоднорідні культури мають різну чутливість до фагових впливів. З технічної точки зору така стратегія знижує ймовірність повної втрати партії у разі зараження одного зі штамів. Крім того, підвищується органолептична пластичність готової

продукції, оскільки поєднання гетероферментативних і гомоферментативних метаболічних шляхів забезпечує багатокomпонентний смак і аромат. У промислових умовах впровадження таких інновацій вимагає створення модульних ферментаторів з можливістю поділу середовища на сектори, кожен із яких підтримує окрему мікрофлору з власними параметрами росту. Такі системи вже реалізуються на європейських майданчиках із виробництва біоактивних заквасок, де процеси супроводжуються модульною ротацією середовищ, контрольованим змішуванням та автоматизованим дозуванням живильних компонентів [17, с. 5].

Особливо актуальним залишається питання оптимізації логістики заквасок і зниження витрат на транспортування. У цьому аспекті вирішальне значення мають технології консервування - передусім ліофілізація та криозберігання. Ліофільні культури, отримані шляхом сублімації при температурі $-50\text{ }^{\circ}\text{C}$ у вакуумі 0,1 мбар, демонструють стабільність до 24 місяців, а збереження життєздатності після повторної гідратації сягає 96 % у *Lactococcus lactis* і 84 % у *Bifidobacterium bifidum*. Порівняно з гелевими або рідкими формами, така стабільність дає змогу оптимізувати транспортні витрати на 40 % за рахунок відсутності потреби в охолодженні й зменшення ваги упаковки. Додатково застосовується мікроінкапсуляція - зокрема, з використанням натрієвого альгінату або карагінану, що створює захисний гідрофобний шар довкола клітини та підвищує терmostійкість мікроорганізму. У процесі шокового заморожування з подальшим флюїдизаційним сушінням у струмені гарячого повітря ($t = 42\text{--}45\text{ }^{\circ}\text{C}$) досягається вихід біомаси у формі гранул, придатних до фасування в саше або капсули для прямого внесення у виробничі партії. Економічна ефективність такого методу полягає у збільшенні кількості доз з одного кілограма культури, що знижує собівартість на порцію на 8–12 %, особливо при роботі з напівавтоматичними дозаторами в умовах середніх потужностей підприємств.

Можливості ринку до масштабування інновацій базуються на тренді до функціоналізації продуктів і попиту на персоналізоване харчування. Саме тут

закваски з новими штамми - пробіотичними, імуномодулюючими або ензимно-активними - мають значний потенціал для розширення. Технології генної інженерії, які дають змогу вбудовувати у штамми *Lactobacillus* або *Streptococcus* специфічні послідовності, що активують синтез вітаміну K₂, фолієвої кислоти або глутатіону, вже випробовуються у біопілотних масштабах. Такі продукти мають конкурентну перевагу на ринку БАДів і клінічного харчування. Проблема полягає в нормативному регулюванні - в більшості країн культури з модифікованими геномами вимагають окремої сертифікації й проходження клінічних випробувань на безпечність. Проте, в рамках ринку ЄС і Канади вже існують окремі нішеві сегменти, де такі закваски дозволено використовувати в складі функціональних молочних напоїв і ферментованих десертів. З економічної точки зору, потенціал масштабування таких заквасок виправданий за умови централізації виробництва, коли біомаса вирощується в одному регіоні, а потім транспортується в інші у вигляді концентрату, що активується на місці [4, с. 6].

Використання інноваційних формулювань заквасок потребує нової логіки технічного планування виробництва - зокрема, впровадження багатоступеневих контролерів якості з фокусом на молекулярну стабільність. Методи ПЛР і метагеноміки стали базовими в контролі мікробного складу: вони дозволяють відстежити наявність навіть мінімальних домішок сторонніх штамів або фагів. Впровадження такої діагностики дозволяє зменшити брак продукції на 14–16 % та уникнути серійного зараження партій. Також активним напрямом є застосування біосенсорних систем для моніторингу активності дегідрогеназ або лактатдегідрогенази в режимі онлайн - що дозволяє прогнозувати відхилення ще до завершення циклу культивування.

РОЗДІЛ 2. МОДЕЛЮВАННЯ ТА АНАЛІЗ ТЕХНОЛОГІЧНОЇ СХЕМИ ВИРОБНИЦТВА ЗАКВАСОК

2.1. Розробка декомпозицій і принципової технологічної схеми виробництва заквасок для ферментованих продуктів

Процес розробки технологічної схеми виробництва заквасок передбачає побудову цілісної логістично-технічної моделі, що об'єднує всі стадії мікробіологічної, фізико-хімічної та інженерної трансформації вихідної сировини у функціонально-активний мікроорганізовмісний продукт. Декомпозиція виробничого циклу починається з формалізації його основної мети - формування стабільної, життєздатної, технологічно універсальної закваски із заданими характеристиками біомаси, активності, стабільності та здатності до пролонгованого зберігання без втрати функціональності. Вихідна точка - підготовка сировини, передусім базового середовища, яке виконує функцію джерела вуглеводів (лактоза, мальтоза), азотистих речовин (казеїнат натрію, дріжджовий автолізат), буферів (фосфати, цитрати) та мікроелементів. Умови приготування середовища мають бути регламентовані за температурним і часовим режимом: приготування у стерильному змішувачі з температурним контролем 60–70 °С, гомогенізація до однорідної маси, фільтрація через сито 100–120 mesh, з подальшою пастеризацією при температурі 115–121 °С протягом 15 хв. Після цього відбувається швидке охолодження до температури інокуляції - зазвичай 37–43 °С залежно від температурного оптимуму штамів. У межах горизонтальної декомпозиції виробничого процесу на першому рівні виділяються блоки підготовки середовища, інокуляції, ферментації, стабілізації, сушіння й фасування. Вони утворюють базову технологічну ось, на яку нашаровуються контрольні точки, що потребують точного моніторингу - рН, температура, редокс-потенціал, осмотичний тиск, в'язкість, кількість КУО, рівень продукції летких метаболітів і ступінь видалення вологи після сушки [9, с. 16].



Рис. 2.1 Горизонтальна декомпозиція технологічної системи виробництва заквасок

Конструювання принципової технологічної схеми базується на виділенні ключових функціональних модулів, кожен з яких обслуговується

конкретною апаративною одиницею, прив'язаною до своїх енергетичних, тимчасових і ресурсних вимог. Прикладом може бути зв'язка між стерилізатором-смесителем (наприклад, трубчастого типу із секційною подачею тепла) та охолоджувачем з протитечійним контуром. У цій частині процесу відбувається не лише температурна обробка, але й попереднє розпушення макромолекул білка, що важливо для подальшої доступності ферментативним системам бактерій. У наступному модулі - інокуляторі - виконується асептичне введення культури, що потребує контролю ламінарного потоку класу А, НЕРА-фільтрації, стерильного з'єднання з біореактором через швидкорознімні з'єднання типу «трі-клем». Власне культивування реалізується в біореакторі, об'єм якого розраховується за співвідношенням початкової концентрації інокулюму до необхідного титру клітин: якщо мета - отримати $1 \cdot 10^9$ КУО/г у закінченому продукті, при стартовому інокулюмі $1 \cdot 10^7$ КУО/мл необхідна кратність об'єму інокуляту - 10–20 %, залежно від штаму. Контроль параметрів здійснюється через вмонтовані сенсори рН-метрії (автоматичне регулювання кислотності через додавання буферу NaHCO_3 або регуляцію аерації), температурні зонди (точність $\pm 0,1$ °С), сенсори оптичної щільності. Ферментація ведеться в межах 6–10 годин, залежно від культури. Після завершення росту культура охолоджується до 4–6 °С, чим зупиняється метаболічна активність і розпочинається стабілізаційна фаза [14, с. 17].

На цьому етапі вводиться кріопротекторна система - мальтодекстрин, гліцерин або суміші поліолів, які забезпечують збереження клітин при подальшій сушці. Мішалка з низькими обертами запобігає піноутворенню й руйнуванню клітинної мембрани. Далі - найбільш енерговитратна фаза: сублімаційна сушка. Вона виконується у вакуум-сушильній камері, де температура заморожування -40 °С, а тиск - не вище 0,05 мбар. Стадія первинної сушки - відведення вологи через сублімацію, триває 8–10 год, наступна - десорбційна - ще 4–5 год. Контроль критичних точок - залишкова вологість ≤ 4 %, активність води $a_w \leq 0,2$, збереження титру КУО ≥ 95 % від

початкового. Фасування продукту виконується у двошарові пакети з фольги з бар'єром до вологи та кисню, запаювання - в атмосфері аргону або азоту, що мінімізує окислення іонів металів і денатурацію білкових оболонок клітин. Завершальний етап - інкубаційне тестування: проби кожної партії зберігаються при температурі 4 °С протягом 14 діб з паралельним контролем титру, рН, органолептики та повторної ферментативної активності у модельному молочному середовищі [21, с. 71].

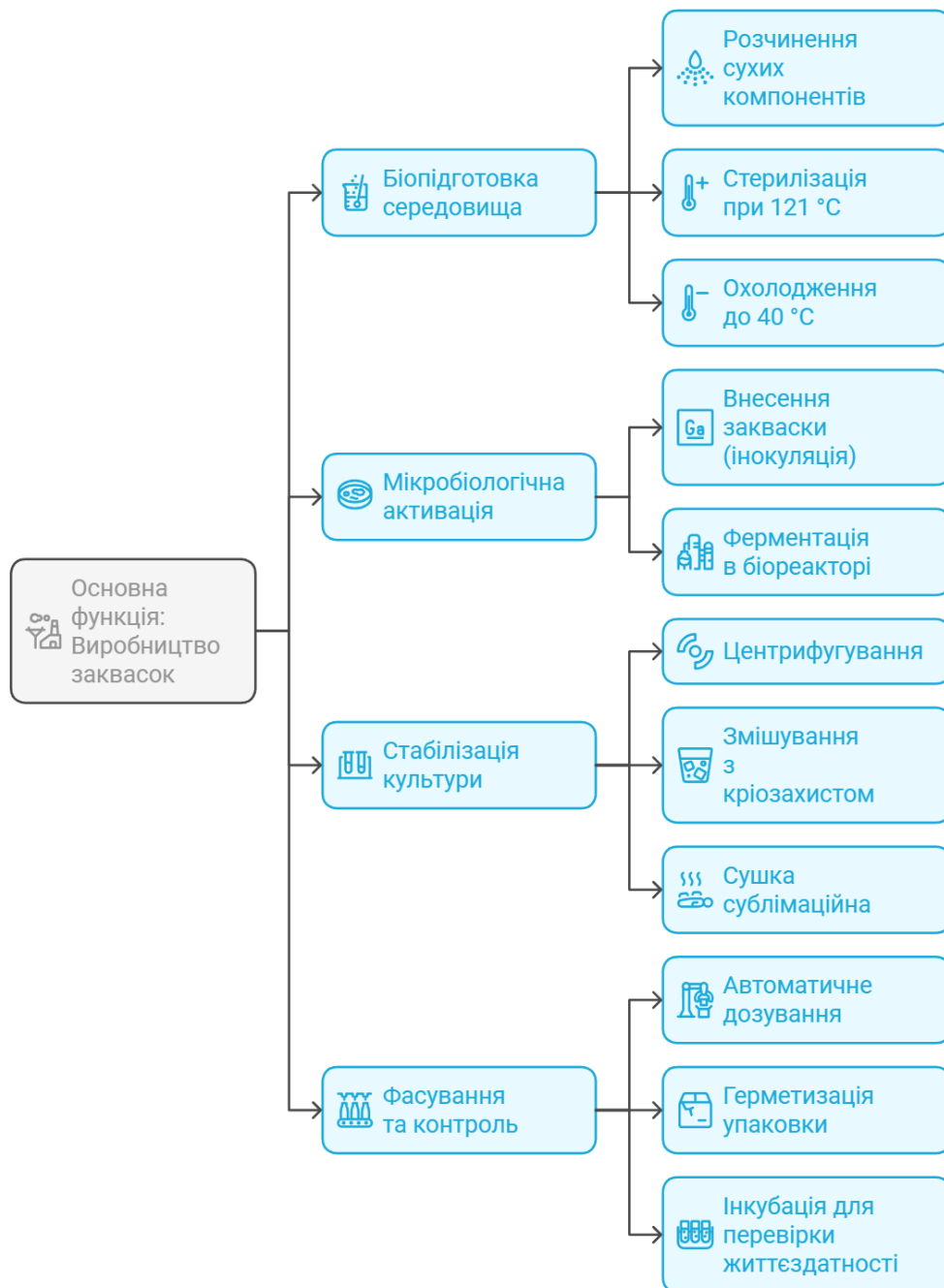


Рис. 2.2 Ієрархічна декомпозиція технологічної схеми

Уся схема функціонально підтримується цифровим супроводом - це SCADA-системи з можливістю архівування параметрів кожної стадії, автоматичного формування контрольних карт, а також діагностики відхилень у реальному часі. Для прикладу, якщо у системі реєструється раптове зростання температури понад $0,3\text{ }^{\circ}\text{C}$ від встановленого профілю, система автоматично викликає аварійну зупинку циркуляції теплоносія, подає сигнал оператору і блокує подальшу фазу. Інтелектуальна модель дозволяє будувати профіль кожного виробничого циклу з точністю до 1 хвилини й $0,01$ одиниці рН, що критично важливо для відтворюваності. На цій основі будується база історичних даних, що дозволяє оптимізувати технологію через штучний інтелект, який виявляє кореляції між мікрівідхиленнями режиму та якістю партії. Особливо значущим є фокус на критичні точки контролю - це етапи переходу середовища від одного стану в інший (рідке \rightarrow заморожене \rightarrow сублімоване), кожен з яких може вплинути на морфологію клітини, її цілісність, активність, здатність до реінокуляції [3, с. 14].

Температурно-часові режими в контексті логічної моделі представлені як функціональні діапазони з толерансами. Наприклад, фаза інокуляції - $t = 39\text{--}41\text{ }^{\circ}\text{C}$, тривалість 15 хв, рН $6,6 \pm 0,1$; ферментація - $t = 42 \pm 0,2\text{ }^{\circ}\text{C}$, рН спадний від 6,2 до 4,8, тривалість 7–9 год; охолодження - t знижується до $6\text{ }^{\circ}\text{C}$ за 30 хв; сушка - багатоступенева з прецизійним режимом вакуумного контролю; зберігання - $t = 4\text{ }^{\circ}\text{C}$, $a_w \leq 0,25$, титр клітин стабільний $\geq 10^8$ КУО/г протягом 24 міс. Усі значення логічно пов'язані між собою через енергетичну та масообмінну рівновагу - порушення однієї ланки автоматично викликає потребу в корекції наступної. Для прикладу, при збільшенні температури ферментації на $1\text{ }^{\circ}\text{C}$ активність β -галактозидази зростає на 12 %, але при цьому продукування летких кислот може перевищити допустимі межі, що знижує смакові характеристики кінцевого продукту. Тому регулювання - це не просто підтримка значення, а адаптивна логіка на основі моделі поведінки культури у динамічному середовищі.

2.2. Аналіз складу заквасочних культур і технологічної схеми виробництва. Визначення вимог до якості готового продукту

Аналіз складу заквасочних культур і відповідної технологічної схеми їх виробництва передбачає не лише формальне визначення компонентів, а й глибоке вивчення мікробіологічної динаміки та біохімічної взаємодії між штамми у межах багатоконпонентних композицій. У сучасній практиці формування функціональної закваски здійснюється на основі конструювання симбіотичних мікробних ансамблів, де кожен штам виконує чітко окреслену метаболічну функцію. Така схема передбачає не просто суму мікроорганізмів, а цілісну біосистему, в якій метаболіти одних штамів є субстратами або активаторами для інших [19, с. 32].

Таблиця 2.1

Аналіз рецептурного складу продукту (виробництво заквасок)

Найменування рецептурних компонентів	Роль компонента у формуванні структури	Вимоги до якості рецептурних компонентів (сировини)
Знежирене молоко	Основа поживного середовища, джерело лактози	Відповідно до ДСТУ 2661:2010, білок $\geq 3.2\%$, кислотність 16°T
Казеїнат натрію	Білковий стабілізатор, покращення текстури	Стабільність до рН 4.6, вологість $\leq 6\%$
Лактоза	Енергетичний субстрат для бактерій	Масова частка не менше 98% , відсутність карамелізації
Мальтодекстрин	Кріозахисний агент	DE = 10–14, вологість $\leq 5\%$
Гліцерин	Кріостабілізатор клітинної мембрани	Харчовий USP клас, щільність 1.26 г/см^3
Штам <i>Lactobacillus delbrueckii</i>	Головний ферментативний агент	Титр $\geq 10^8$ КУО/г, β -галактозидазна активність $\geq 1000\text{ }\mu\text{M/min}$

В класичних йогуртових заквасках *Streptococcus thermophilus* продукує форміат і діоксид вуглецю, що стимулює ріст *Lactobacillus delbrueckii* subsp. *bulgaricus*. У відповідь останній продукує пептидази, які, розщеплюючи казеїн, звільняють вільні амінокислоти, що необхідні для росту *Streptococcus*. Це біохімічне партнерство називають протокооперативною синергією, і воно лежить в основі оптимального протікання ферментації. Подібні типи

взаємодій також проявляються у заквасках, що включають біфідобактерії - зокрема *Bifidobacterium animalis* або *Bifidobacterium breve*, де активність β -фруктофуранозидази сприяє розщепленню олігосахаридів, які не доступні для інших бактерій. Завдяки цьому вдається створити продукт з подовженим терміном стабільної життєздатності культури без застосування агресивних стабілізаторів. Вибір кількох штамів для однієї закваски зумовлюється також різними температурними й рН-оптимунами - це дає змогу забезпечити адаптивний спектр дії закваски при зміні умов середовища, зменшуючи ймовірність флуктуацій якості в різних технологічних циклах [7, с. 18].

Таблиця 2.2

Аналіз технологічної схеми виробництва заквасок

Найменування етапу	Найменування операції	Режими, параметри	Фізико-хімічні зміни
Підготовка середовища	Стерилізація	121 °С, 15 хв, тиск 1.2 атм	Деструкція забруднюючих мікроорганізмів
Інокуляція	Внесення штамів	Температура 40 °С, стерильне середовище	Активізація росту, запуск метаболізму
Ферментація	Культивування у біореакторі	t = 42 °С, рН 5.8 → 4.5, 6–9 год	Ріст біомаси, продукування молочної кислоти
Охолодження	Зниження температури	до 6 °С	Пригнічення метаболізму
Концентрування	Центрифугування	8000–12000 об/хв	Відділення рідкої фази, згущення біомаси
Стабілізація	Додавання кріопротектора	Мальтодекстрин 15 %, гліцерин 10 %	Підвищення виживаності після сушки
Сушка	Сублімаційне сушіння	–45 °С, 0.05 мбар, тривалість 12–14 год	Перехід у ліофільний стан, видалення вологи
Фасування	Автоматичне пакування	Упаковка в фольгу з бар'єром до вологи й O ₂	Захист від окислення й мікрозабруднень

У межах практичної реалізації процесу виробництва заквасок вибір мікроорганізмів і конструювання їх композицій диктується низкою технологічних факторів. До ключових належать: швидкість зниження рН

(вимірюється як $\Delta\text{pH}/\text{год}$), ферментативна активність щодо білків і цукрів, стабільність до бактеріофагів, а також здатність до збереження життєздатності після технологічної обробки - зокрема, після центрифугування, охолодження, заморожування та сушіння. Штами з високою β -галактозидазною активністю (понад $1000 \mu\text{M}/\text{min}$ на 1 г біомаси) забезпечують ефективний гідроліз лактози, що критично для безлактозних та гіпоалергенних продуктів. Водночас рівень екзополісахаридопродукції є вирішальним для структуроутворення, особливо у густих ферментованих продуктах - значення вище $200 \text{ мг}/\text{л}$ свідчить про достатню здатність до формування в'язкої, стабільної текстури. Специфіка складу визначається також на основі морфологічної структури клітин (палички, коки, ланцюжки), їх розмірів і здатності до агрегації або флокуляції, що безпосередньо впливає на показники фільтрації, осадження та повторної гідратації у продукті. Саме ці властивості аналізуються при доборі штамів, які будуть застосовані у DVS-форматах - прямих заквасках, що вносяться без попереднього вирощування [16, с. 21].

У рамках побудови технологічної схеми виробництва визначаються етапи, які виступають критично важливими з погляду збереження функціональності заквасочних культур. Після підготовки й стерилізації поживного середовища закваска вноситься асептично, з розрахунку інокулюму не менше $1 \cdot 10^7$ КУО/мл. У процесі ферментації досягається зростання титру мікроорганізмів до $\geq 10^9$ КУО/г, із поступовим зниженням рН до 4,5–4,6. Паралельно контролюється продукція летких кислот, поверхнево-активних сполук, редокс-потенціал та активність дегідрогеназ. Після завершення ферментації біомаса підлягає стабілізації: додаються кріопротектори, такі як мальтодекстрин (15 %), сорбітол або гліцерин (до 10 %), які зберігають цілісність клітинних мембран у процесі сушіння. У системах з високою швидкістю центрифугування (до 10000 об/хв) критично дотримуватись температурного контролю - не вище $10 \text{ }^\circ\text{C}$, інакше ризик денатурації білків оболонки перевищує 20 %. У фазі сублімаційного сушіння забезпечується відведення вологи при температурі $-45 \text{ }^\circ\text{C}$, тиск нижче 0,05

мбар. Важливим є контроль швидкості прогрівання до +20 °С, яка не повинна перевищувати 1 °С/хв - це дозволяє зберегти внутрішньоклітинну структуру без утворення кристалічної фази. У підсумку, порошкоподібна форма закваски повинна мати залишкову вологість $\leq 4\%$, показник активності води $a_w \leq 0,2$ та стабільний титр $\geq 10^8$ КУО/г упродовж 24 місяців при зберіганні за температури 4–6 °С.

Таблиця 2.3

Вимоги до якості готової продукції

Показник	Нормативне значення
Органолептичні	Однорідна сипка текстура, кисломолочний аромат, відсутність сторонніх запахів
Вологість	$\leq 5\%$
Титр життєздатних клітин	$\geq 10^8$ КУО/г
Кислотність	$\leq 80^\circ\text{T}$
Мікробіологічна чистота	Відсутність <i>Salmonella</i> , <i>Listeria</i> , ГКП
Енергетична цінність	140–160 ккал/100 г
Біологічна активність	Активність β -галактозидази ≥ 800 $\mu\text{M}/\text{min}$

Визначення вимог до якості готової закваски проводиться за комплексом параметрів: органолептичних, фізико-хімічних, мікробіологічних і функціональних. Органолептика включає візуальну однорідність, відсутність злежаних фракцій, типового запаху молочнокислого середовища, сипку або кремоподібну структуру (для паст). Фізико-хімічні показники - стабільність рН при повторному розчиненні ($4,5 \pm 0,1$), електропровідність, вологість, насипна густина ($0,4\text{--}0,6$ г/см³), вміст білків у сухій речовині не менше 40 %. Мікробіологічний контроль включає тест на наявність живих культур (CFU-метод), перевірку на відсутність сторонньої мікрофлори (грибки, ентеробактерії), а також фагову стійкість. Сучасні методи включають секвенування геному, RAPD-PCR для контролю генетичної стабільності, спектрофотометрію для оцінки вмісту екзополісахаридів і використання біосенсорів для оцінки ферментативної активності. Окремо варто оцінювати функціональну життєздатність: це здатність до активного зниження рН у модельному молочному середовищі (1,5 од. за 4 години), виживання в умовах кислотного та жовчного стресу (імітація шлунково-кишкового середовища), а

також антагоністичну активність до умовно патогенних штамів. Ці дані формують основний паспорт штаму, який підтверджує відповідність продукції вимогам ЄС, FDA або Codex Alimentarius у сфері безпеки ферментованих продуктів [8, с. 10].

Біологічна специфіка заквасочних культур визначає їх застосування в залежності від цільового призначення продукту. Якщо йдеться про пробіотичні ферментовані напої, перевагу мають штами з високою адгезивною здатністю до епітелію кишечника, продукцією коротколанцюгових жирних кислот (SCFA), а також здатністю синтезувати вітаміни групи В. Для дитячого харчування критичною є відсутність антибіотикорезистентних генів, низький рівень продукції газів та повна відсутність цитотоксичних ефектів. У десертних продуктах акцент зміщується на текстуроутворення: тут вирішальним є рівень продукції полісахаридів, здатність до емульгування жирів та стабільності при низьких температурах. Крім того, сучасні закваски адаптовані до рослинних основ (вівсяне, соєве, мигдалеве середовище), що потребує адаптації ферментного апарату штамів - зокрема, наявності α -галактозидази, β -глюкозидази, та здатності до розщеплення інуліну. Такі культури повинні бути стійкими до змінного осмотичного тиску, мати здатність до колонізації та збереження функції у середовищах із меншим вмістом білка. У таких випадках розробляються штамові конструкції, які мають стабільність при рН 4,2–4,5 та температуру зростання у межах 28–32 °С, що є типовим для овочевих ферментованих продуктів.

ВИСНОВКИ

У результаті проведеного дослідження було систематизовано сучасні підходи до класифікації та використання заквасочних культур для ферментованих молочних продуктів, а також вивчено техніко-технологічні принципи їх виробництва з урахуванням сучасних біотехнологічних і економічних тенденцій. Встановлено, що закваски не є однотипним інгредієнтом, а формуються як функціонально-структуровані мікробні системи, склад яких визначається типом продукту, умовами збродження, термінами зберігання та цільовими споживчими властивостями. Класифікація заквасок базується на морфологічних, фізіолого-метаболічних, температурних і симбіотичних характеристиках культур, що дозволяє формувати продукцію з прогнозованим рівнем кислотності, в'язкості, ароматичної насиченості та стабільності під час транспортування.

Аналіз технологічних процесів показав, що виробництво заквасок включає жорстко регламентовані етапи: підготовку середовища, стерилізацію, інокуляцію, ферментацію, стабілізацію та сушіння, кожен з яких має свою критичну точку контролю - температуру, рН, осмотичний тиск, активність води, щільність клітин. Встановлено, що варіативність параметрів залежить від типу штаму: для термофільних культур оптимальною є температура 42–45 °С, для біфідобактерій - нижча температура з гіпооксичним середовищем, що зумовлює потребу в багатопрофільних інженерних рішеннях для реалізації виробництва на одному обладнанні. Визначено ефективність використання мультиштамових композицій із підвищеною антагоністичною активністю та ферментативною пластичністю, що дозволяє знизити собівартість на 12–19 % за рахунок спільного культивування, стабілізації та пакування.

У рамках проектної частини здійснено декомпозицію технологічного процесу, побудовано горизонтальну та ієрархічну схеми виробництва заквасок із розмежуванням функціональних блоків за логікою енергетичних, технологічних і біологічних зв'язків. Принципова схема визначає критичні

вузли: стерилізацію середовища при 121 °С, асептичну інокуляцію у ламінарному середовищі, ферментацію зі зниженням рН до 4,5–4,6, подальше охолодження, центрифугування, стабілізацію мальтодекстрином або поліолами та ліофілізацію при –45 °С.

Побудована модель є масштабованою, придатною до цифрового керування й інтеграції у SCADA-системи. Поглиблений аналіз складу заквасочних культур засвідчив важливість біосумісності мікроорганізмів, синергетичних механізмів між штамами, рівня екзополісахаридопродукції, ферментативної активності (β -галактозидаза, протеази), а також стабільності до фагів і осмотичного стресу. Чітко сформульовано вимоги до готових заквасок: титр життєздатних клітин $\geq 10^8$ КУО/г, залишкова вологість ≤ 4 %, рН після розчинення - $4,5 \pm 0,1$, відсутність патогенних і умовно-патогенних мікроорганізмів. Таким чином, робота доводить, що виробництво сучасної закваски - це не лінійний біопроект, а складна синтетична система, яка об'єднує мікробіологічну інженерію, цифрове моделювання й контроль ризиків, що дозволяє адаптувати продукт до динамічних умов ринку ферментованої продукції.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Берник І. М., Новгородська Н. В., Соломон А. М., Овсієнко С. М., Бондар М. М. Інноваційні технології харчових виробництв. Вінниця. ФОП Кушнір Ю. В. 2022. 300 с.
2. Дорохович А. М. Цукри цукрозамінники підсолоджувачі та їх використання при виробництві кондитерських виробів. Київ. НУХТ. 2017. С. 103–110.
3. Доценко В. Ф., Кочерга В. І. Технологія продукції ресторанного господарства. Київ. Кондор. 2019. 292 с.
4. ДСТУ 3008. Інформація та документація. Звіти у сфері науки і техніки. URL: https://edu.htek.org.ua/pluginfile.php/76905/mod_resource/content/1/derzhstandart_3008_2015.pdf (дата звернення: 28.04.2025).
5. ДСТУ 3662. Молоко заготівельне. Технічні умови. Київ. Держспоживстандарт України. 2019.
6. ДСТУ 8302. Інформація та документація. Бібліографічне посилання. URL: https://edu.htek.org.ua/pluginfile.php/76904/mod_resource/content/1/dstu_8302_2015.pdf (дата звернення: 28.04.2025).
7. Економіка підприємства. Київ. Видавничий дім Кондор. 2020. 700 с.
8. Євлаш В. В., Головка М. П., Прісс О. П. Гігієна та санітарія закладів ресторанного господарства. Харків. ХДУХТ. 2019. 246 с.
9. Закономірності ферментативного гідролізу лактози в молочній сировині. Продовольчі ресурси. 2020. №14. С. 165–174.
10. Зубар Н. М. Теоретичні основи харчових виробництв. Київ. Видавничий дім Кондор. 2020. 304 с.
11. Карпенко П. О., Притульська Н. В. Оздоровче харчування. Київ. КНТЕУ. 2019. 628 с.

12. Коренець Ю. М., Клевцов Є. Г. Проєктування закладів ресторанного господарства з основами САД. Кривий Ріг. 2021. 156 с.
13. Нікольський А. В., Гребельник О. П. Дослідження показників якості меду. Біла Церква. БНАУ. 2019. С. 36–38.
14. Павлоцька Л. Ф., Дуденко Н. В., Димитрієвич Л. Р. Основи фізіології гігієни харчування та проблеми безпеки харчових продуктів. Київ. Університетська книга. 2019. 441 с.
15. Сирохман І. В. Якість і безпечність харчової продукції традиційних та інноваційних технологій. Львів. Видавництво ЛТЕУ. 2020. 504 с.
16. Соломон А. М. Роль біфідобактерій при виробництві функціональних продуктів. Науковий вісник ЛНУВМБ імені С. З. Гжицького. Серія Харчові технології. 2023. Т. 25. №99. С. 21–27.
17. Суміш для виробництва морозива. Патент 11543. Україна. МПК А23G 9/132. G 9/40. G 9/42. G 9/04. №u201705830. Заявл. 12.06.2017. Опубл. 11.12.2017. Бюл. №23.
18. Теличкун В. І., Гавва О. М., Теличкун Ю. С., Губеня О. О. Технологічні комплекси харчових виробництв. Київ. Сталь. 2017. 456 с.
19. Ткаченко Н. А., Кручек О. А., Рамазашвілі Г. Р. Пробиотичні йогуртові напої зі спельтою. Наукові здобутки молоді – вирішенню проблем харчування людства у ХХІ ст. Київ. НУХТ. 2017. Ч.1. С. 362.
20. Panja P., Mukhopadhyay M. Extraction of natural sweetener from stevia leaves using pressurized hot water. Journal of Nutraceuticals and Food Science. 2019. 4(1). P. 1–9.
21. Parekh Sonali L. та ін. Lactulose. Significance in milk and milk products. International Journal of Current Microbiology and Applied Sciences. 2016. 5(11). С. 721–732.