

**МІНІСТЕРСТВО ОХОРОНИ ЗДОРОВ'Я УКРАЇНИ
НАЦІОНАЛЬНИЙ ФАРМАЦЕВТИЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
факультет медико-фармацевтичних технологій
кафедра біотехнології**

КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА

**на тему: «РОЗРОБКА ТЕХНОЛОГІЇ ФУНКЦІОНАЛЬНОГО БЕЗА-
ЛКОГОЛЬНОГО ПИВА З ПРОБІОТИЧНИМИ ВЛАСТИВОСТЯМИ»**

Виконав : здобувач вищої освіти 4 курсу, гр. БТ622(4,6д)-01
спеціальності 162 Біотехнології та біоінженерія
освітньої програми Біотехнологія

Денис МУРАТОВ

Керівник: завідувачка кафедри біотехнології, д.фарм.н.,
професор Наталя ХОХЛЕНКОВА

Рецензент: декан факультету біотехнологій Державного
біотехнологічного університету, професор кафедри
біотехнології, молекулярної біології та водних біоресурсів,
к. с.-г. н., професор Олена ЩЕРБАК

АНОТАЦІЯ

Кваліфікаційна робота присвячена розробці технології функціонального безалкогольного пива з пробіотичними властивостями на основі методу контрольованого обмеженого бродіння та постбродильного асептичного введення пробіотичного штаму *Lacticaseibacillus paracasei* LAFTI L26. У роботі проведено аналітичний огляд ринку безалкогольного пива; охарактеризовано готовий продукт, сировину та біологічні об'єкти; описано метаболічні шляхи біосинтезу цільового продукту; розраховано матеріальний баланс серії; виконано обґрунтування та розрахунок основного та допоміжного обладнання; розроблено технологічну схему виробництва; визначено критичні контрольні точки; проаналізовано екологічні аспекти виробництва. Робота складається зі вступу, графічних матеріалів, висновків, списку літератури з 30 джерел та додатків. Загальний обсяг роботи становить 88 сторінок, містить 8 рисунків, 18 таблиць та 2 креслення формату А1.

Ключові слова: безалкогольне пиво, *Lacticaseibacillus paracasei* LAFTI L26, пробіотики, метод обмеженого бродіння.

ANNOTATION

The qualification work is devoted to the development of a technology for functional non-alcoholic beer with probiotic properties based on the controlled limited fermentation method and post-fermentation aseptic introduction of the probiotic strain *Lacticaseibacillus paracasei* LAFTI L26. The work includes an analytical review of the non-alcoholic beer market; characterization of the finished product, raw materials, and biological objects; description of the metabolic pathways of target product biosynthesis; material balance calculation for a 1000 L batch; justification and calculation of main and auxiliary equipment; development of the production flowchart; identification of critical control points; and analysis of environmental aspects. The work consists of an introduction, three chapters, graphical materials, conclusions, a list of references containing 30 sources, and appendices. The total volume of the work is 88 pages and includes 8 figures, 18 tables, and 2 drawings of A1 format.

Key words: non-alcoholic beer, *Lacticaseibacillus paracasei* LAFTI L26, probiotics, limited fermentation method.

ЗМІСТ

Вступ.....	4
1 Аналітичний огляд.....	7
2 Характеристика готового продукту, сировини, матеріалів, напівпродуктів.....	20
2.1 Характеристика готового продукту.....	20
2.2 Характеристика сировини, матеріалів, напівпродуктів	21
2.3 Характеристика біологічних об'єктів.....	23
2.4 Біосинтез цільового продукту.....	26
3 Технологічна частина.....	32
3.1 Розрахунок матеріального балансу.....	32
3.2 Розрахунок і вибір технологічного обладнання (із кресленням основного апарату).....	39
3.3 Опис технологічного процесу.....	47
3.4 Схеми виробництва (зі специфікацією обладнання).....	58
3.5 Критичні параметри виробництва.....	67
3.6 Екологічні аспекти виробництва.....	75
Висновки.....	84
Список використаної літератури.....	85
Додатки.....	89

					<i>162.01.04.00 000 ПЗ</i>			
Змн..	Арк.	№ докум.	Підпис	Да-	<i>Розробка технології функціонального безалкогольного пива з пробіотичними властивостями</i> <i>Пояснювальна записка</i>	Літ.	Арк.	Аркушів
Розробив		<i>Муратов Д.С.</i>						
Перевірів		<i>Хохленкова Н.В.</i>					2	88
Н. контр.						<i>НФаУ</i> <i>Кафедра біотехнології</i>		
Затвердив		<i>Хохленкова Н.В.</i>						

ВСТУП

Актуальність теми. Ринок безалкогольного пива є одним із найдинамічніших сегментів харчової промисловості: за даними The Business Research Company (2025), його обсяг зріс від 12,7 млрд USD у 2019 р. до 21,9 млрд USD у 2024 р. і прогнозовано досягне 35,3 млрд USD до 2029 р. (CAGR 10,2 %). В Україні ринок безалкогольного пива демонструє стійке зростання на фоні відновлення галузі: у 2024 р. загальне виробництво пива склало 140,0 млн дал, що на 4,8 % більше, ніж у 2023 р. [1]. Зростаючий інтерес споживачів до здорового харчування, рух «sober-curious» та попит на функціональні продукти з доведеним впливом на здоров'я стимулюють розробку нових категорій напоїв.

Функціональне безалкогольне пиво з пробіотичними властивостями — це інноваційний продукт, що поєднує два провідних споживацьких тренди: усвідомлене споживання (відмова від алкоголю) та функціональне харчування (живі пробіотичні мікроорганізми). Включення до пивної матриці штаму *Lacticaseibacillus paracasei* LAFTI L26 забезпечує продукту задокументований пробіотичний ефект (імуномодуляція, покращення мікробіому кишківника) при рівні $\geq 10^6$ КУО/мл, що відповідає вимогам ISAPP та Регламенту ЄС № 1924/2006 [2, 11]. Ключовою технологічною проблемою є збереження КУО пробіотику в агресивному пивному середовищі (низький рН, ізо- α -кислоти хмелю), що вимагає розробки спеціалізованої технології із заниженим рівнем хмелювання, мікрофільтрацією замість пастеризації та асептичним введенням культури.

Тема кваліфікаційної роботи є актуальною з точки зору як біотехнологічного, так і технологічного та комерційного аспектів і відповідає напряму розвитку функціональних харчових продуктів та пробіотичного напрямку в харчовій біотехнології.

									162.01.04.00 000 ПЗ	Арк.
										4
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата						

Мета роботи — розробка технології функціонального безалкогольного пива з пробіотичними властивостями на основі методу контрольованого обмеженого бродіння та постбродильного асептичного введення штаму *Lacticaseibacillus paracasei* LAFTI L26 з обґрунтуванням технологічних параметрів, вибором обладнання, розробкою системи контролю якості та аналізом екологічних аспектів виробництва.

Для досягнення поставленої мети необхідно вирішити такі завдання:

- 1) виконати аналітичний огляд науково-технічної літератури щодо стану ринку безалкогольного пива, концепції функціональних харчових продуктів, технологічних підходів до виробництва безалкогольного пива та пробіотичних мікроорганізмів у ферментованих напоях;
- 2) охарактеризувати готовий продукт, сировину та матеріали; описати біологічні об'єкти виробництва (*S. cerevisiae* S-04 та *L. paracasei* LAFTI L26) та розробити схему біосинтезу цільового продукту;
- 3) розрахувати матеріальний баланс виробництва на одну серію обсягом 1000 л готового безалкогольного пива;
- 4) розробити технологічну схему виробництва;
- 5) визначити критичні контрольні точки виробництва;
- 6) проаналізувати екологічні аспекти виробництва.

Об'єкт дослідження — функціональне безалкогольне пиво з пробіотичними властивостями, збагачене живою культурою *Lacticaseibacillus paracasei* LAFTI L26 у кількості $\geq 10^6$ КУО/мл.

Предмет дослідження — технологічний процес виробництва функціонального безалкогольного пива з пробіотичними властивостями методом контрольованого обмеженого бродіння штаму *Saccharomyces cerevisiae* S-04 та постбродильного асептичного введення штаму *Lacticaseibacillus paracasei* LAFTI L26.

Методи дослідження. Аналітичний та критичний огляд науково-технічної літератури; технологічні та конструктивні розрахунки (матеріальний баланс, теплові баланси, розрахунок об'ємів апаратів та потужностей).

									162.01.04.00 000 ПЗ	Арк.
										5
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата						

Наукова новизна. Вперше запропоновано технологію функціонального безалкогольного пива, що поєднує метод контрольованого обмеженого бродіння зі штамом *S. cerevisiae* S-04 та постбродильне асептичне введення пробіотичного штаму *L. paracasei* LAFTI L26 після мікрофільтрації (0,45 мкм) без застосування пастеризації. Обґрунтовано критичний рівень хмелювання ≤ 18 IBU як умову збереження КУО $\geq 10^6$ КУО/мл на кінець 30-добового терміну придатності. і.

Практичне значення отриманих результатів. Розроблена технологія може бути використана крафтовими пивоварнями для організації малотоннажного виробництва (до 100 000 л/рік) функціонального безалкогольного пива без значних капітальних витрат на додаткове обладнання для деалкоголізації. Матеріальний баланс та специфікація обладнання можуть бути безпосередньо використані для техніко-економічного обґрунтування інвестиційного проекту.

За темою роботи опубліковано тези:

1. Муратов Д.В. Обґрунтування вибору пробіотичного штаму для виробництва функціонального пива / Муратов Д.В., наук. кер.: Хохленкова Н.В. // Актуальні питання створення нових лікарських засобів: мат. XXXII міжнар. наук.-практ. конф. молодих вчених та студентів (15-17 квітня 2026 р., м. Харків). – Харків: НФаУ, 2026. – С. 159-160.

									162.01.04.00 000 ПЗ	Арк.
										6
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата						

1 АНАЛІТИЧНИЙ ОГЛЯД

1.1 Стан та перспективи розвитку ринку безалкогольного пива

Пивоварна промисловість є однією з найбільших галузей харчової індустрії світу та відіграє важливу роль у формуванні глобального ринку ферментованих напоїв. Історія виробництва пива налічує кілька тисячоліть, а сам напій залишається одним із найбільш популярних продуктів харчування в багатьох країнах світу. Сучасне пивоваріння поєднує традиційні технологічні підходи з інноваційними рішеннями, що дозволяє виробникам постійно розширювати асортимент продукції та адаптувати його до змін споживчих потреб. За даними міжнародних галузевих оглядів, щорічний обсяг світового виробництва пива перевищує 1,8 млрд гектолітрів, а найбільшими виробниками залишаються Китай, США, Бразилія, Мексика та Німеччина [1, 3, 8].

Упродовж останніх десятиліть світова пивоварна галузь зазнає суттєвих змін під впливом соціальних, економічних та демографічних факторів. Однією з найважливіших тенденцій є трансформація споживчих уподобань у напрямку здорового способу життя та відповідального споживання алкогольних напоїв. Сучасні споживачі дедалі частіше звертають увагу не лише на смакові характеристики продукції, а й на її склад, калорійність, харчову цінність та потенційний вплив на здоров'я. У зв'язку з цим виробники активно розробляють нові види продукції зі зниженим вмістом алкоголю або його повною відсутністю [3, 5].

Особливо помітною така тенденція стала після 2020 року, коли в багатьох країнах світу значно зріс попит на продукти, що відповідають концепції здорового харчування. Зростання рівня обізнаності населення щодо ризиків надмірного споживання алкоголю, популяризація фізичної активності та прагнення підтримувати здоровий спосіб життя сприяли швидкому розвитку сегмента безалкогольних напоїв. Одночасно змінюється ставлення до самого

									162.01.04.00 000 ПЗ	Арк.
										7
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата						

процесу споживання алкоголю. Серед молодого покоління набуває популярності концепція усвідомленого споживання (*mindful drinking*), яка передбачає свідоме обмеження або повну відмову від алкогольних напоїв без втрати соціальної активності та звичних споживчих практик [5, 11].

Значний вплив на розвиток ринку безалкогольного пива справляють представники поколінь Y та Z. На відміну від попередніх поколінь, вони демонструють нижчий рівень споживання алкоголю та приділяють більше уваги питанням здоров'я, фізичної форми та якості харчування. Для цієї категорії споживачів важливими характеристиками продукції є натуральність складу, відсутність шкідливих компонентів, знижена калорійність та функціональні властивості. У результаті безалкогольне пиво поступово перестає сприйматися як спеціалізований продукт для окремих категорій населення та стає повноцінною альтернативою традиційному пиву [5, 7, 11].

Паралельно зі зміною споживчих уподобань відбувається активний розвиток світового ринку безалкогольних та слабоалкогольних напоїв. За оцінками міжнародних аналітичних агентств, саме категорія No Alcohol демонструє найвищі темпи зростання серед усіх сегментів алкогольної індустрії. У найближчі роки прогнозується подальше збільшення обсягів виробництва та реалізації безалкогольного пива, що пов'язано зі зростанням попиту як у розвинених країнах, так і на ринках, що розвиваються.

За сучасними прогнозами, світовий ринок безалкогольного пива у 2025 році оцінюється більш ніж у 25 млрд доларів США та може перевищити 55 млрд доларів США до 2035 року (рис. 1.1). Очікуваний середньорічний темп зростання перевищує 7 %, що свідчить про високий потенціал даного сегмента. Однією з причин такого розвитку є поступове розширення асортименту продукції. Якщо раніше безалкогольне пиво було представлене переважно світлими лагерами, то сьогодні виробники пропонують широкий вибір стилів, включаючи IPA, стаути, пшеничне пиво та крафтові сорти [5, 7, 11].

										162.01.04.00 000 ПЗ	Арк.
											8
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата							

Швидкі темпи розвитку спостерігаються також у країнах Північної Америки та Азійсько-Тихоокеанського регіону. Зокрема, Японія та Південна Корея належать до лідерів впровадження інноваційних технологій виробництва безалкогольного пива. У США зростання попиту значною мірою пов'язане з розвитком крафтового пивоваріння та популярністю концепції здорового способу життя. У країнах Близького Сходу розвиток сегмента стимулюється культурними та релігійними особливостями, які обмежують споживання алкогольних напоїв [11].

Щодо українського ринку, за даними ПрАТ «Укрпиво», загальне виробництво пива в Україні (без урахування безалкогольного з вмістом спирту до 0,5 %) за 12 місяців 2024 р. склало 140,0 млн декалітрів, що на 4,8 % більше порівняно з аналогічним показником 2023 р. Проте цей показник становить лише 82,4 % від обсягів виробництва за 2021 р., що свідчить про поступове відновлення галузі після спаду, спричиненого повномасштабним вторгненням [6]. Сегмент безалкогольного пива в Україні у 2024 р. демонструє позитивну динаміку, відображаючи загальні тенденції зростання у пивоварній галузі.



Рис. 1.2. Виробництво пива в Україні 2001-2004 р.р.

Важливою передумовою розвитку безалкогольного пивоваріння стало вдосконалення технологій виробництва. Протягом тривалого часу основним недоліком безалкогольного пива були його недостатньо виражені смакові характеристики порівняно з традиційними сортами. Це обмежувало популярність продукції та стримувало розвиток ринку. Однак впровадження сучасних технологій дозволило суттєво покращити якість готового продукту та

забезпечити збереження характерних органолептичних властивостей пива [7, 11].

На сучасному етапі розвитку галузі виробники використовують широкий спектр технологічних рішень, спрямованих на мінімізацію втрат ароматичних компонентів та покращення смаку безалкогольного пива. Завдяки цьому різниця між алкогольними та безалкогольними сортами поступово зменшується, що позитивно впливає на сприйняття продукції споживачами. Підвищення якості безалкогольного пива сприяє розширенню його цільової аудиторії та стимулює подальше зростання попиту [7, 11].

Додатковим фактором розвитку ринку є посилення державної політики щодо зниження рівня споживання алкоголю. У багатьох країнах реалізуються програми популяризації здорового способу життя, обмеження реклами алкогольної продукції та підвищення обізнаності населення щодо ризиків надмірного споживання алкоголю. У таких умовах безалкогольне пиво розглядається як ефективна альтернатива традиційним алкогольним напоям, що дозволяє задовольнити споживчий попит без негативних наслідків для здоров'я.

Аналіз сучасних тенденцій свідчить, що безалкогольне пиво поступово переходить із категорії нішевих продуктів до сегмента масового споживання. Поєднання високих темпів зростання ринку, постійного вдосконалення технологій виробництва та зміни споживчих пріоритетів створює сприятливі умови для подальшого розвитку даного напрямку. Очікується, що найближчими роками безалкогольне пиво залишатиметься одним із найбільш перспективних сегментів світового ринку напоїв, а його роль у структурі пивоварної продукції продовжуватиме зростати [5, 7, 11].

Дослідження Oxford University показало, що 68 % людей пробували безалкогольне пиво, але значна частина відмовляється від нього через соціальний тиск і стереотипи сприйняття [7]. Дослідження смакового профілю, проведене Тарасюком Г.М. та ін. (2025) серед 448 респондентів (18–29 років), встановило, що безалкогольне пиво асоціюється із фруктовим і солодовим ароматом, тоді як алкогольне – із хмельовим; при цьому загальна інтенсив-

									Арк.
									11
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата	162.01.04.00 000 ПЗ				

Таким чином, сучасний ринок безалкогольного пива характеризується стабільним розвитком та високим інноваційним потенціалом. Зростання попиту на здорові альтернативи алкогольним напоям, удосконалення технологій виробництва та зміна споживчих уподобань формують передумови для подальшого розширення даного сегмента. У зв'язку з цим безалкогольне пиво розглядається як перспективна платформа для створення нових видів продукції, здатних поєднувати традиційні органолептичні властивості з додатковими функціональними характеристиками

1.2 Концепція функціональних харчових продуктів та функціонального пива

У сучасних умовах розвитку харчової промисловості особливого значення набуває виробництво продуктів, які не лише задовольняють фізіологічні потреби організму в поживних речовинах, а й сприяють підтриманню здоров'я людини. Такий підхід став основою формування концепції функціонального харчування, яка впродовж останніх десятиліть є одним із пріоритетних напрямів розвитку харчових технологій. Зростання поширеності серцево-судинних, метаболічних, гастроентерологічних та інших неінфекційних захворювань зумовило необхідність пошуку нових підходів до профілактики порушень здоров'я, серед яких важливе місце належить раціональному харчуванню [14, 15].

Концепція функціональних харчових продуктів була вперше сформована в Японії на початку 1980-х років у межах державної програми зі створення продуктів спеціального призначення. Результатом її реалізації стало впровадження категорії FOSHU (Foods for Specified Health Uses), до якої відносили продукти, здатні позитивно впливати на окремі фізіологічні функції організму людини. На відміну від традиційних харчових продуктів, функціональні продукти повинні не лише забезпечувати організм необхідними нутрієнтами, а й сприяти підтриманню нормального фізіологічного стану та зниженню ризику розвитку окремих захворювань [15].

									162.01.04.00 000 ПЗ	Арк.
										13
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата						

Подальший розвиток концепції функціонального харчування відбувся в країнах Європейського Союзу та США. Відповідно до наукової програми FUFOS (Functional Food Science in Europe), функціональним вважається продукт, для якого доведено позитивний вплив на одну або декілька функцій організму, що виходить за межі його базової харчової цінності. При цьому такий продукт повинен залишатися звичайним харчовим продуктом і споживатися у складі повсякденного раціону, а не у вигляді лікарського засобу або дієтичної добавки [14, 15].

Сучасний розвиток функціонального харчування базується на уявленні про тісний взаємозв'язок між раціоном людини та станом її здоров'я. Встановлено, що регулярне споживання певних компонентів їжі здатне впливати на функціонування травної, імунної, серцево-судинної та нервової систем. Саме тому до складу функціональних продуктів часто вводять інгредієнти, які мають доведену біологічну активність та можуть сприяти підтриманню нормального фізіологічного стану організму [14].

Найбільш поширеними функціональними інгредієнтами є пробіотики, пребіотики, синбіотики, харчові волокна, поліненасичені жирні кислоти, антиоксиданти, вітаміни та мінеральні речовини. Використання таких компонентів дозволяє підвищити біологічну цінність харчових продуктів та надати їм додаткових функціональних властивостей. Особливу увагу дослідників привертають пробіотичні культури, які здатні позитивно впливати на склад кишкової мікробіоти та забезпечувати широкий спектр корисних ефектів для організму людини [14, 15].

Зростання інтересу до функціонального харчування сприяло формуванню окремого сегмента світового ринку функціональних продуктів. За останні десятиліття цей сегмент демонструє стабільні темпи розвитку, що пов'язано зі зміною споживчих уподобань та підвищенням уваги населення до профілактики захворювань. Сучасний споживач дедалі частіше розглядає продукти харчування не лише як джерело енергії та поживних речовин, а й як інструмент підтримання здоров'я та покращення якості життя. У результаті

									162.01.04.00 000 ПЗ	Арк.
										14
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата						

виробництво функціональних продуктів стало одним із найперспективніших напрямів розвитку харчової промисловості [15].

Особливе місце серед функціональних продуктів займають функціональні напої. Їх популярність пояснюється зручністю споживання, можливістю введення широкого спектра біологічно активних речовин та високим рівнем споживчого попиту. До даної категорії належать кисломолочні продукти, збагачені соки, напої на рослинній основі, комбуча, квас, ферментовані зернові напої та інші продукти, які містять компоненти з доведеними функціональними властивостями [14, 15].

У сучасній харчовій промисловості функціональні напої є одним із найбільш перспективних сегментів ринку. Залежно від складу та очікуваного фізіологічного ефекту вони можуть бути представлені різними категоріями продукції. Характеристику основних видів функціональних напоїв наведено в табл. 1.2.

Таблиця 1.2 - Характеристика основних видів функціональних напоїв

Категорія продукту	Функціональний складник	Користь для здоров'я
Йогурт	<i>Lactobacillus acidophilus</i> , <i>Bifidobacterium spp.</i>	Покращення травлення, імунна підтримка, профілактика остеопорозу
Кефір	Polymicrobic культура (LAB + дріжджі)	Протизапальний ефект, по- кращення мікробіому кишківника
Комбуча	SCOBY (симбіотична куль- тура бактерій і дріжджів), поліфеноли	Антиоксидантна активність, детоксикація
Функціональне пиво (новий клас)	<i>Lacticaseibacillus paracasei</i> , поліфеноли хмелю, β - глюкани солоду	Пробіотичний ефект ($\geq 10^6$ КУО/мл), антиоксидантна активність, пребіотична дія β -глюканів
Функціональні соки	Вітаміни, мінерали, поліфе- ноли	Антиоксидантний захист, серцево-судинна підтримка

Як видно з таблиці 1.2, функціональні напої відрізняються за складом та механізмом дії, однак усі вони спрямовані на забезпечення додаткового позитивного впливу на організм людини. Особливий інтерес серед них становлять ферментовані напої, оскільки процес ферментації сприяє утворенню широкого спектра біологічно активних речовин та дозволяє використовувати корисні мікроорганізми як функціональні компоненти готової продукції.

Функціональне пиво (functional beer) – це відносно новий клас напоїв, у якому традиційна пивна матриця (вода, солод, хміль, дріжджі) доповнюється функціональними складниками, що чинять доведений фізіологічний ефект. Відповідно до класифікації Ramanan et al. (2024), залежно від природи функціонального складника виділяють: пиво з пробіотиками (LAB або *S. cerevisiae* var. *bouardii*); пиво з пребіотиками (β -глюкани, інουλін); пиво з антиоксидантами (поліфеноли хмелю, ресвератрол); пиво збагачене вітамінами або мінералами [11].

Ключовою перевагою функціонального пива є: широке соціальне прийняття напою та розвинена дистрибуція; наявність у суслі поживних субстратів (мальтоза, амінокислоти, мінерали) для підтримки мікробних культур; відносно низький рН (4,0–4,5), що частково пригнічує сторонню мікрофлору при збереженні кислотостійких пробіотичних штамів

Таким чином, функціональне пиво є перспективною категорією сучасних ферментованих напоїв, розвиток якої пов'язаний із використанням широкого спектра біологічно активних компонентів природного походження. Серед різних напрямів функціонального пивоваріння особливий науковий та практичний інтерес становлять продукти, збагачені пробіотичними культурами, що обумовлює доцільність подальшого дослідження даної категорії напоїв [14, 15, 18].

										162.01.04.00 000 ПЗ	Арк.
											16
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата							

1.3 Технологічні підходи до виробництва безалкогольного пива.

Всі промислові методи виробництва безалкогольного пива (< 0,5 % об. алкоголю) поділяються на дві принципові групи: фізичні методи, що передбачають видалення вже утвореного етанолу з готового пива, та біологічні методи, що обмежують утворення алкоголю вже на стадії бродіння. Кожна з груп має свої переваги, обмеження та показання до застосування [13].

Фізичні методи (вакуумна дистиляція, зворотний осмос, осмотична мембранна дистиляція) дозволяють отримати продукт із вмістом алкоголю < 0,05 % об. і є найпоширенішими на великих промислових виробництвах. Їхнім основним недоліком є неминуча часткова втрата летких ароматичних сполук при деалкоголізації, що погіршує сенсорний профіль кінцевого продукту. Крім того, термічні методи (вакуумна дистиляція) несумісні з подальшим введенням термолабільних пробіотичних культур [13].

Біологічні методи (спеціалізовані дріжджові штами, обмежена ферментація, контакт-бродіння при 0 °С) краще зберігають ароматичний профіль пива. Серед них особливий інтерес представляє застосування мальтоза-негативних дріжджів – таких як *Saccharomyces ludwigii*, *Torulaspora delbrueckii* та *Pichia kluyveri* – здатних зброджувати лише прості гексози (глюкозу, фруктозу), але не мальтозу та мальтотріозу, що є основним субстратом у пивному суслі [14].

Згідно з порівняльним дослідженням Dymkowski & Trusek (Beverages, 2023), при зупиненому бродінні *Saccharomyces ludwigii* та *Torulaspora delbrueckii* дають 2,50 та 2,58 % об. алкоголю відповідно – що значно перевищує порогове значення 0,5 %. Для досягнення рівня «безалкогольне» необхідна зупинка бродіння і при використанні нетрадиційних дріжджів [14]. Таким чином, принципова різниця між методами – у ширині технологічного вікна для зупинки, а не у виключній здатності дотримуватись меж 0,5 %.

									Арк.
									17
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата					

Nikulin et al. (2022) у дослідженні виробництва безалкогольного пива за методом кріостат-бродиння з *Torulaspora delbrueckii* (0–1 °C) встановили, що цей штам ефективно видаляє альдегідні оф-флейвори – ацетальдегід та фурфурал – які є основним сенсорним дефектом безалкогольного пива, отриманого іншими методами [15].

Таблиця 1.3 - Порівняння методів виробництва безалкогольного пива ($\leq 0,5$ % об.)

Метод	Принцип	Вміст алкоголю, % об.	Переваги / Недоліки
Вакуумна дистиляція	Видалення EtOH при зниженому тиску ($t < 40$ °C)	$< 0,05$	+ Низький залишковий алкоголь; – Втрата ароматичних сполук, висока вартість
Зворотний осмос	Мембранне відділення EtOH та води	0,05–0,1	+ Збереження поліфенолів; – Дорогі мембрани, часткова втрата смаку
Мальтоза-негативні дріжджі (<i>Saccharomyces ludwigii</i>)	Ферментація без збродження мальтози	0,3–0,5	+ Немає термічних втрат смаку; – Специфічний аромат, необхідна оптимізація
Зупинене бродиння (arrested fermentation)	Контрольована зупинка <i>S. cerevisiae</i> при атенюації 25–30 %	0,3–0,5	+ Доступна культура, добрий смак; – Вузьке аналітичне вікно контролю (обраний метод)
Кріостат-бродиння (0–2 °C)	Ферментація за дуже низьких температур	0,4–0,5	+ Мінімальні смакові дефекти; – Повільний процес, спеціальні штами
Діаліз / спін-мембрана	Вибіркове вилучення EtOH через мембрану без деаерації	$< 0,1$	+ Відносно збереження аромату; – Обмежена промислова доступність

Для виробництва безалкогольного пива з пробіотичними властивостями принципово важливим є вибір методу, що виключає термічну обробку після введення пробіотику. Це унеможливує застосування вакуумної дистиляції, тунельної пастеризації та більшості фізичних методів деалко-

голізації на фінальному етапі. Натомість оптимальним є метод зупиненого бродіння у поєднанні зі стерилізуючою мікрофільтрацією (0,45 мкм) та асептичним введенням пробіотичної культури після фільтрації [11].

Серед новітніх підходів, розглянутих Carvalho et al. (2023), заслуговують на увагу нетермальні технології: ультразвукова обробка (US, thermosonication), надвисокий тиск (НРР) та імпульсні електричні поля (PEF). Ці методи застосовуються для пастеризації та мікробіологічної стабілізації пива без термічного пошкодження ароматичних сполук і потенційно сумісні з наступним введенням пробіотиків. Проте промислова реалізація цих технологій у пивоварній галузі поки обмежена [16].

					162.01.04.00 000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		19

2 ХАРАКТЕРИСТИКА ГОТОВОГО ПРОДУКТУ, СИРОВИНИ, МАТЕРІАЛІВ, НАПІВПРОДУКТІВ

2.1 Характеристика готового продукту

Найменування продукту: Пиво безалкогольне функціональне з пробіотичними властивостями (Functional Non-Alcoholic Beer).

Категорія продукту: безалкогольне пиво з вмістом алкоголю $\leq 0,5$ % об., збагачене живою пробіотичною культурою *Lacticaseibacillus paracasei* LAFTI L26 у кількості $\geq 10^7$ КУО/мл на момент виготовлення.

Діючі нормативно-технічні документи (НТД)

ДСТУ 3888:2015 «Пиво. Загальні технічні умови» – основний стандарт для пивоварної продукції в Україні, що визначає вимоги до якості, безпеки та маркування.

ДСТУ ISO 22000:2019 – Системи управління безпечністю харчових продуктів.

ДСТУ ISO 15214:1998 – Мікробіологія харчових продуктів. Горизонтальний метод підрахунку мезофільних молочнокислих бактерій (метод визначення КУО пробіотику).

Регламент ЄС №1924/2006 про поживні та оздоровчі заяви – застосовується при позиціонуванні продукту як функціонального.

Упаковка: скляні пляшки коричневого скла об'ємом 0,33 або 0,5 л (захист від УФ-опромінення, що критично для збереження КУО пробіотику). Укупорювання – кронен-корком (ізобаричний розлив, залишковий $O_2 \leq 50$ ppb).

Маркування: відповідно до ДСТУ 3888:2015 та вимог законодавства України: найменування, склад, вміст алкоголю ($\leq 0,5$ % об.), енергетична цінність, інформація про пробіотик (назва штаму – *L. paracasei* LAFTI L26, кількість КУО/мл на момент виготовлення), умови зберігання (2–6 °C), термін придатності (30 діб).

									Арк.
									20
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата					

Таблиця 2.1 - Показники якості функціонального безалкогольного пива

Показник	Норма за ДСТУ 3888:2015	Значення для продукту	Метод контролю
Зовнішній вигляд	Прозора рідина	Прозора, золотиста	Візуальна оцінка
Колір, ЕВС	Відповідно до типу	6–10 ЕВС	Спектрофотометрія (430 нм)
Вміст алкоголю, % об.	≤ 0,5	0,3–0,5	ГРХ (ДСТУ EN 1140)
Початкова густина суслу, °Пл	–	10,0–11,0	Ареометр / рефрактометр
Кінцева густина, °Пл	–	7,6–8,4	Ареометр
Гіркота, IBU	–	12–18	Спектрофотометрія (275 нм)
pH	3,5–5,5	4,0–4,4	pH-метрія (ДСТУ EN 10523)
Вміст CO ₂ , г/л	≥ 4,0	4,5–5,5	Манометричний метод
КУО <i>L. paracasei</i> LAFTI L26, КУО/мл	–	≥ 10 ⁷ (вироб.) / ≥ 10 ⁶ (30 діб)	Висів на MRS-агар (ISO 15214)
Зага. бактер. забрудненість, КУО/мл	< 500	< 100	Висів на M17-агар
<i>E. coli</i>	Відсутня в 100 мл	Відсутня в 100 мл	ДСТУ ISO 9308-1
Термін придатності, діб	–	30 (при 2–6 °С)	Прискорений стабілізаційний тест

2.2 Характеристика сировини, матеріалів та напівпродуктів

Вибір сировини та матеріалів для виробництва функціонального безалкогольного пива здійснювався з урахуванням двох ключових технологічних вимог: (1) відповідності вимогам традиційного пивоваріння за якістю та нормативними документами; (2) сумісності з пробіотичним складником – зокрема, обмеження рівня хмелювання (≤ 18 IBU) для збереження КУО *L. paracasei* LAFTI L26. Повна характеристика сировини наведена у табл. 2.2.

									Арк.
									21
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата	162.01.04.00 000 ПЗ				

Таблиця 2.2 - Характеристика сировини та матеріалів

Найменування	НТД	Показники якості	Роль у процесі / норма на серію
Вода питна підготовлена	ДСТУ 7525:2014	Ca ²⁺ 50–80 ppm; Mg ²⁺ 10–20 ppm; рН 5,4–5,6; O ₂ < 0,1 мг/л	Основний розчинник та реакційне середовище; 1325 л/серію
Солод ячмінний пивоварний	ДСТУ 4282:2004	Вологість ≤ 4,5 %; екстрактивність ≥ 78 %; число Кольбаха 38–42 %; колір ≤ 4 ЕВС	Джерело крохмалю та ферментів; 155 кг/серію
Хміль гіркий Magnum (гранули)	ДСТУ 7067:2009	α-кислоти 12–14 %; вологість < 10 %; відсутність пестицидів	Формування гіркоти 12–18 IBU; антимікробна активність; 300 г/серію
Хміль ароматний Saaz (гранули)	ДСТУ 7067:2009	α-кислоти 3–4 %; ефірні олії > 1 %; аромат: трав'яний	Ароматичний хмелеперенос; 200 г/серію
Дріжджі <i>S. cerevisiae</i> S-04 (сухі)	ДСТУ 7344:2022	Життєздатність ≥ 90 %; відсутність дикої мікрофлори; активність бродіння підтверджена	Первинне бродіння (контрольоване); 500 г/серію
<i>L. paracasei</i> LAFTI L26 (ліофілізат)	Специфікація виробника (DSM)	КУО ≥ 10 ¹⁰ /г; ідентифікація 16S рРНК; відсутність патогенів; зберігання –18 °С або 2–8 °С	Пробіотичний складник; постбродильне введення; 50 г/серію
СО ₂ харчовий	ДСТУ EN 13509	Чистота ≥ 99,9 %; вологість < 20 мг/кг; відсутність масел	Карбонізація готового пива; 5,5 кг/серію
Кізелгур (діатоміт) харчовий	ДСТУ ISO 11885	Тип: нейтральний; відсутність важких металів понад ГДК	Груба фільтрація пива; 7,0 кг/серію

Якість усієї сировини підтверджується супровідними документами виробника (сертифікати аналізу – СоА) та вхідним контролем лабораторії підприємства. Особливу увагу приділяють контролю якості ліофілізату

									Арк.
									22
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата	162.01.04.00 000 ПЗ				

пробіотичної культури: перед кожною серією перевіряється КУО-активність (висів на MRS-агар) та відсутність контамінуючої мікрофлори.

2.3 Характеристика біологічних об'єктів

У виробництві функціонального безалкогольного пива задіяні два біологічних об'єкти з різними технологічними функціями: *Saccharomyces cerevisiae* S-04 (пивоварний штам, відповідальний за первинне бродіння сусла) та *Lactocaseibacillus paracasei* LAFTI L26 (пробіотичний штам, що вноситься постбродильно як функціональний складник).

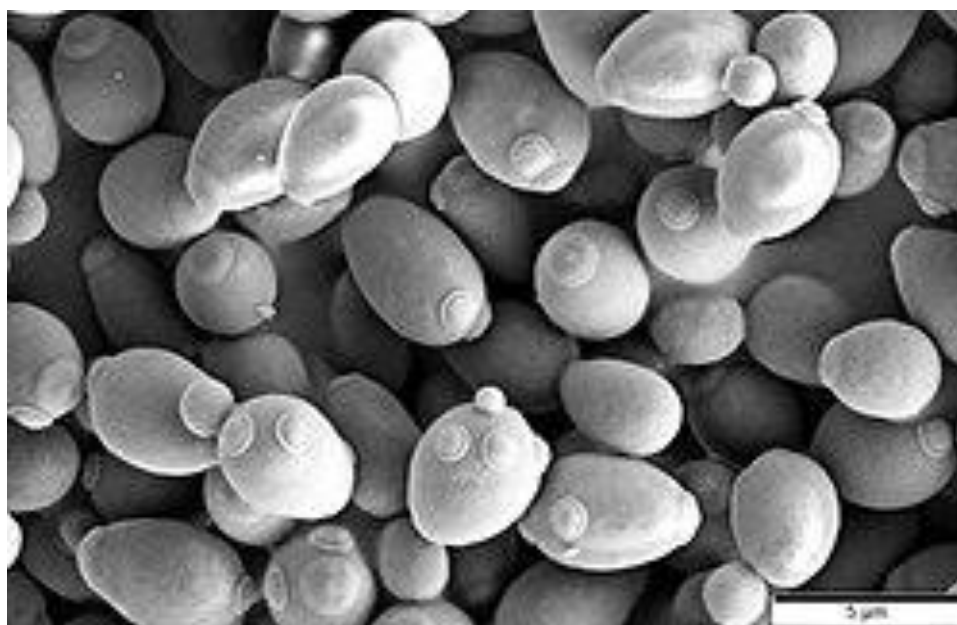


Рис.2.1 *Saccharomyces cerevisiae* S-04

Таблиця 2.3 - Характеристика *Saccharomyces cerevisiae* S-04

Характеристика	Характеристика для <i>S. cerevisiae</i> S-04
1	2
Систематичне положення	Домен: Eukarya; Тип: Ascomycota; Клас: Saccharomycetes; Рід: <i>Saccharomyces</i> ; Вид: <i>S. cerevisiae</i>
Морфологія	Клітини еліпсоїдні або овальні, 5–10 × 4–7 мкм; розмножуються брунькуванням; клітинна стінка містить β-глюкани та манопротеїни; у рідкому суслі утворюють гомогенну суспензію з осадженням на дно ЦКА

Таблиця 2.4 - Характеристика *Lacticaseibacillus paracasei* LAFTI L26

Характеристика	Характеристика для <i>L. paracasei</i> LAFTI L26
1	2
Систематичне положення (ре-номінклатура 2020)	Домен: <i>Bacteria</i> ; Тип: <i>Firmicutes</i> ; Клас: <i>Bacilli</i> ; Рід: <i>Lacticaseibacillus</i> (до 2020: <i>Lactobacillus</i>); Вид: <i>L. paracasei</i> subsp. <i>paracasei</i>
Морфологія	Грам-позитивні факультативно-анаеробні палички, 2–4 × 0,7–1,0 мкм; не утворюють спор; нерухомі; одиночні або в коротких ланцюжках. Фарбування за Грамом – позитивне (фіолетовий колір)
Культуральні ознаки	Колонії на MRS-агарі (37 °С, 48 год, анаеробні умови): білі або сірувато-білі, випуклі, з гладкою поверхнею, діаметр 1–2 мм. В рідкому MRS-бульйоні: рівномірне помутніння. Аромат: кислий (молочнокислий). Ліофілізат: зберігається при –18 °С або 2–8 °С терміном до 24 міс. при активності ≥ 10 ¹⁰ КУО/г
Оптимальні умови	Температура росту: 15–41 °С (оптимум 30–37 °С; у пивній матриці – 2–6 °С зберігання). рН: 4,0–7,5 (толерантність до рН ≥ 3,5). Анаеробні або мікроаерофільні умови. Живильне середовище: MRS; у готовому пиві – залишкові декстрини та олігосахариди як вуглецеве джерело
Основні біохімічні реакції	Гомоферментативний молочнокислий гліколіз: C ₆ H ₁₂ O ₆ → 2 CH ₃ СНОНСООН (молочна кислота) + 2 АТФ (вихід ~98 %). Продукція екзополісахаридів (ЕПС) – мають пребіотичний ефект. Синтез бактеріоцинів (інгібування патогенів). Кислотна продукція знижує рН середовища, що посилює консервуючий ефект
Хмелестійкість	Несе гени стійкості <i>horA</i> та <i>hitA</i> – кодують мультирезистентний АВС-транспортер та мембранну Н ⁺ -АТФазу відповідно. Механізм: активне видалення ізо-α-кислот із клітини за рахунок АТФ-залежного транспорту. Ефективна толерантність при ≤ 18 IBU – саме тому норма хмелювання у даній технології обмежена 12–18 IBU [Chan et al., 2019]

Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата

1	2
Пробіотичні властивості та клінічна база	Підтверджено: адгезія до Caco-2 клітин (ентероцити); конкурентне витіснення патогенів (<i>E. coli</i> , <i>Salmonella</i>); стимуляція IgA-продукції; інгібування ангіотензинперетворюючого ферменту <i>in vitro</i> ; позитивний вплив при синдромі подразненого кишківника (РКД). Клінічно підтверджена доза: $\geq 10^6$ КУО/добу (ISAPP консенсус)
Вживаність у пивній матриці	Chan et al. (<i>Food Microbiology</i> , 2019): при спільному бродінні з <i>S. cerevisiae</i> S-04 в нехмільованому суслі та зберіганні з ізо- α -кислотами при 4 °C – збереження $> 6 \log$ КУО/мл протягом 30 діб. Нехмільований субстрат є критичним: в суслі з IBU > 25 вживаність знижується до $< 10^4$ КУО/мл
Безпека та нормативний статус	Статус GRAS (FDA); QPS (EFSA). Клас безпеки BSL-1. Відсутність плазмід резистентності до клінічно значущих антибіотиків (верифіковано секвенуванням). Дозволений до застосування у харчовій промисловості та дієтичних добавках України та ЄС

2.4 Біосинтез цільового продукту

Цільовим продуктом даного виробництва є не класичний продукт біосинтезу (кисень, антибіотик тощо), а комплексний функціональний напій, що поєднує: (1) пивну матрицю із заданим сенсорним і фізико-хімічним профілем, отриману через контрольовану ферментацію *Saccharomyces cerevisiae* S-04; (2) живі клітини пробіотику *Lactobacillus paracasei* LAFTI L26 у кількості $\geq 10^7$ КУО/мл, що забезпечують функціональну (пробіотичну) цінність продукту.

У схемі біосинтезу беруть участь два паралельні метаболічні шляхи: анаеробний гліколіз дріжджів, що формує матрицю напою, та гомоферментативний молочнокислий гліколіз лактобацил, що реалізується після введення культури у готовий продукт.

									Арк.
									26
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата	162.01.04.00 000 ПЗ				

Метаболічні шляхи *S. cerevisiae* S-04 та формування пивної матриці

S. cerevisiae зброджує мальтозу та інші цукри сусла за класичним шляхом Ембден–Мейєргофа–Парнаса (ЕМП). Після розщеплення мальтози мальтазою до двох молекул глюкози починається власне гліколіз: глюкоза перетворюється на піруват з утворенням 2 молей АТФ та 2 молей NADH. В анаеробних умовах, що переважають у ЦКА після вичерпання початкового O₂, піруват декарбоксилюється піруват-декарбоксилазою (PDC) до ацетальдегіду з виділенням CO₂, після чого алкогольдегідрогеназа (ADH) відновлює ацетальдегід до етанолу, регенеруючи NAD⁺. Загальне рівняння:

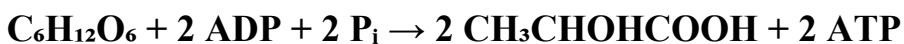


Критичним аспектом технології є зупинка цього процесу на ранній стадії – при атенюації 25–30 %, коли вміст етанолу становить 0,3–0,5 % об. – шляхом швидкого охолодження бродильного апарату до 0–2 °С та видалення осілих дріжджів через конічне дно ЦКА.

Побічні продукти бродіння, що впливають на якість: діацетил (утворюється з α-ацетолактату через оксидативне декарбоксилювання; видаляється при доброджуванні ≤ 0,1 мг/л); ацетальдегід (проміжний продукт АДГ-реакції; нормалізується при дозріванні ≤ 10 мг/л); ізоаміловий спирт та ізоамілацетат (флейвор-компоненти, що формують аромат напою при температурі 14–16 °С).

Метаболічні шляхи *L. paracasei* LAFTI L26 та формування пробіотичного ефекту

Lactocaseibacillus paracasei LAFTI L26 є облігатним гомоферментативним молочнокислим мікроорганізмом: ≥ 95 % молочної кислоти утворюється через гліколіз без виділення CO₂. Рівняння реакції:



Молочна кислота, що утворюється у пивній матриці при 2–6 °С, є у мінімальних концентраціях, що практично не впливає на рН готового продукту (підкислення на 0,05–0,1 одиниці рН протягом 30 діб).

						162.01.04.00 000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата			27

Механізм хмелестійкості. Ізо- α -кислоти хмелю (ізогумулон та ін.) є сильними антибактеріальними агентами: діючи як іонофори, вони руйнують протонний градієнт клітинної мембрани лактобацил. Штам LAFTI L26 несе гени стійкості *horA* та *hitA* – їх продукти (ABC-транспортер та H⁺-АТФаза відповідно) активно видаляють ізо- α -кислоти з клітини та відновлюють протонний градієнт за рахунок АТФ. Однак ця система є АТФ-залежною і може бути перевантажена при надмірному рівні хмелювання – тому IBU > 18 є критичним порогом для даного штаму [Chan et al., 2019].

Пробіотичний ефект реалізується через: (1) адгезію до кишкового епітелію (Caco-2) за рахунок поверхневих адгезинів; (2) конкурентне витіснення патогенних мікроорганізмів (*E. coli*, *Salmonella*) з поверхні слизових; (3) стимуляцію синтезу IgA та модуляцію Th1/Th2-балансу; (4) синтез антимікробних пептидів (бактеріоцинів); (5) продукцію ЕПС, що виконують пребіотичну функцію.

Схему метаболічних шляхів обох біологічних об'єктів та їх взаємодію у виробничому процесі наведено на рис. 2.3.

Примітка до схеми: синя гілка – метаболічний шлях *S. cerevisiae* S-04 (гліколіз, PDC/ADH); бірюзова гілка – метаболічний шлях *L. paracasei* LAFTI L26 (гомоферментативний гліколіз, механізм хмелестійкості, пробіотичний ефект); червоним позначено критичну контрольну точку зупинки бродіння; зеленим – цільовий продукт та пробіотичний ефект.

										162.01.04.00 000 ПЗ	Арк.
											28
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата							

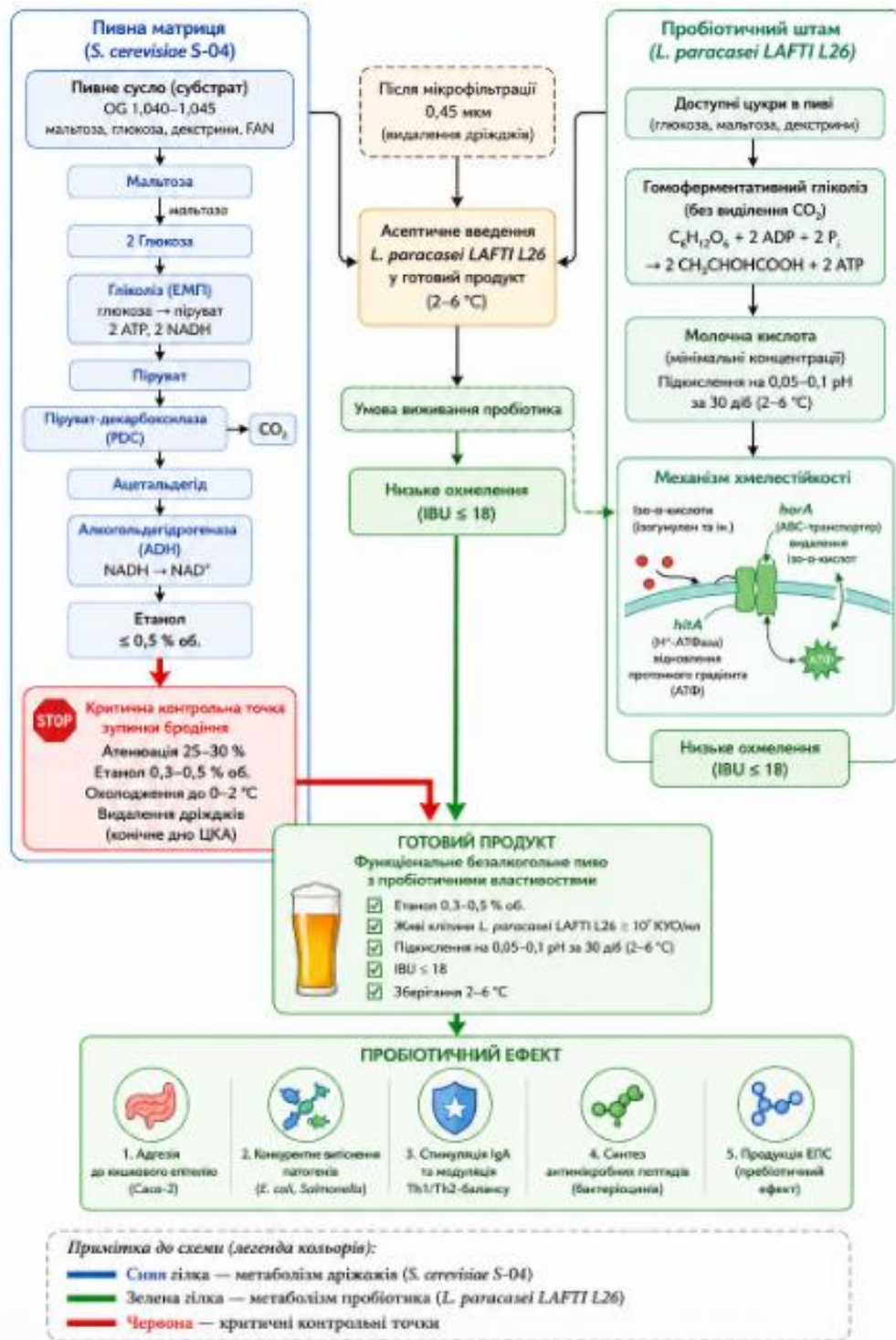


Рис. 2.3 Схема біосинтезу функціонального безалкогольного пива з пробіотичними властивостями

Таблиця 2.5 - Зведена характеристика цільових продуктів біосинтезу

Цільовий продукт / показник	Синтезується мікроорганізмом	Механізм утворення	Контрольне значення в готовому продукті
Етанол (EtOH) – лімітований	<i>S. cerevisiae</i> S-04	Гліколіз → ПДК/АДГ (анаеробне). Зупинка при 25–30 % атенюації	≤ 0,5 % об. (контроль ГРХ кожні 8 год)
CO ₂ (для карбонізації)	<i>S. cerevisiae</i> S-04 + харчовий CO ₂	Декарбоксілювання пірувату + введення харчового CO ₂	4,5–5,5 г/л у готовому пиві
Флейвор-естери / вищі спирти	<i>S. cerevisiae</i> S-04	Синтез ацетил-КоА → реакція з вищими спиртами (ATF1, ATF2). Контроль температурою 14–16 °С	Ізоамілацетат < 2 мг/л; вищі спирти < 100 мг/л
Молочна кислота	<i>L. paracasei</i> LAFTI L26	Гомоферментативний гліколіз (LDH). Підкислення середовища → стабільність рН	Мікропродукція при 4 °С; незначний вплив на рН
Екзополісахариди (ЕПС)	<i>L. paracasei</i> LAFTI L26	Синтез за участю глікозилтрансфераз. ЕПС виконують пребіотичну функцію	Мікроконцентрації; сприяють плівкоутворенню на слизових
Бактеріоцини (пробіотичний ефект)	<i>L. paracasei</i> LAFTI L26	Синтез антимікробних пептидів → конкурентне витіснення патогенів	Функціональний показник – in vitro антагонізм до <i>E. coli</i> та <i>S. aureus</i>
Живі клітини <i>L. paracasei</i> LAFTI L26 (головний цільовий продукт)	<i>L. paracasei</i> LAFTI L26	Клітини у стані анабіозу (ліофілізат) → ресуспендування → постбродильне асептичне введення → підтримання КУО при 2–6 °С	≥ 10 ⁷ КУО/мл (вир.) / ≥ 10 ⁶ КУО/мл (30 діб)

Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата

162.01.04.00 000 ПЗ

Арк.

30

Таким чином, біосинтез цільового продукту у даній технології є дво-компонентним: *S. cerevisiae* S-04 формує пивну матрицю з контрольованим вмістом алкоголю ($\leq 0,5$ % об.), а *L. paracasei* LAFTI L26 вноситься постбро-дильно і виконує функцію пробіотичного складника, забезпечуючи функціо-нальну цінність продукту протягом усього терміну придатності ($\geq 10^6$ КУО/мл, 30 діб, 2–6 °C). Ключовою умовою збереження обох компонентів є: відсутність пастеризації після введення пробіотику, мікрофільтрація (0,45 мкм) замість термічної стерилізації та обмежений рівень хмелювання (12–18 ІВU).

					162.01.04.00 000 ПЗ	Арк.
						31
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

3 ТЕХНОЛОГІЧНА ЧАСТИНА

3.1 Розрахунок матеріального балансу

Матеріальний баланс установлює кількісне співвідношення між сировиною, матеріалами та напівпродуктами, що використовуються у виробничому процесі, та цільовим продуктом, відходами і виробничими втратами. Він є основою для розрахунку необхідних кількостей компонентів, визначення продуктивності апаратури та обґрунтування вибору обладнання.

Матеріальний баланс виробництва функціонального безалкогольного пива з пробіотичними властивостями складено на одну виробничу серію обсягом 1000 л готового продукту у скляних пляшках 0,5 л (2000 пляшок).

В таблиці 3.1 наведено баланс, складений за стадіями технологічного процесу.

Таблиця 3.1 — Постадійний матеріальний баланс виробництва функціонального безалкогольного пива з пробіотичними властивостями

Витрачено				Отримано			
№	Найменування сировини та напівпродуктів	Од. виміру	Кількість	№	Найменування кінцевого продукту, відходів і втрат	Од. виміру	Кількість
1	2	3	4	5	6	7	8
Стадія ДР 2. Підготовка сировини							
Операція ДР 2.1 Подрібнення солоду							
	<i>А Сировина</i>				<i>Б Напівпродукт</i>		
1	Солод ячмінний	кг	155,0	1	Дроблений солод	кг	154,4
					В Втрати		
				1	Пил, втрати при помелі (1 %)	кг	0,60
	Всього:	кг	155,0		Всього:	кг	155,0

1	2	3	4	5	6	7	8
Стадія ТП 3. Затирання							
Операція ТП 3.1. Затирання							
	<i>Б Напівпродукт</i>				<i>Б Напівпродукт</i>		
1	Дроблений солод	кг	154,4	1	Затор	кг	619,4
	<i>А Сировина</i>				<i>В Відходи</i>		
1	Вода	кг	465,0		<i>Г. Втрати</i>		
	Всього:	кг	619,4		Всього:	кг	619,4
Операція ТП 3.2. Фільтрація затору							
	<i>Б Напівпродукт</i>				<i>Б Напівпродукти</i>		
1	Затор	кг	619,4	1	Перше сусло	кг	509,5
	<i>А Сировина</i>			2	Промивні води (вторинне сусло)	кг	859,0
1	Вода (промивання дробини)	кг	860,0		<i>В Відходи</i>		
				1	Пивна дробина волога (43 % СР)	кг	101,0
					<i>Г. Втрати</i>		
				1	Втрати при фільтрації (залишок у трубопроводах)	кг	9,0
				2	Дрібний труб першовару (перша рециркуляція)	кг	0,9
	Всього:	кг	1 479,4		Всього:	кг	1 479,4
Операція ТП 3.3. Кип'ятіння сусла з хмелем							
	<i>Б Напівпродукт</i>				<i>Б Напівпродукт</i>		
1	Сусло перед кип'ятінням	кг	1 368,5	1	Охмелене сусло	кг	1 237,7
	<i>А Сировина</i>				<i>В. Відходи</i>		
2	Хміль гіркий Magnum	кг	0,30		<i>Г. Втрати</i>		

Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата

Продовження таблиці 3.1

1	2	3	4	5	6	7	8
3	Хміль ароматний Saaz	кг	0,20	1	Випаровування при кип'ятінні (10 % від об'єму)	кг	123,3
				2	Гарячий труб (коагульовані білки)	кг	8,0
	Всього:	кг	1 369,0		Всього:	кг	1 369,0
Операція ТП 3.4. Освітлення гарячого сусла							
	<i>Б Напівпродукт</i>				<i>Б Напівпродукт</i>		
1	Охмелене сусло гаряче	кг	1 237,7	1	Освітлене охмелене сусло	кг	1 222,7
					<i>В. Відходи</i>		
				1	Хмільний осад	кг	15,0
					<i>Г. Втрати</i>		
	Всього:	кг	1 237,7		Всього:	кг	1 237,7
Операція ТП 3.5. Охолодження та аерація сусла							
	<i>Б Напівпродукт</i>				<i>Б Напівпродукт</i>		
1	Освітлене сусло гаряче	кг	1 222,7	1	Охолоджене аероване сусло	кг	1 222,7
	Всього:	кг	1 222,7		Всього:	кг	1 222,7
Стадія ТП 4. Бродіння							
Операція ТП 4.1. Контрольоване обмежене бродіння							
	<i>Б Напівпродукт</i>				<i>Б Напівпродукт</i>		
1	Охолоджене сусло	кг	1 222,7	1	Молоде пиво (зелене)	кг	1 178,0
	<i>А Сировина</i>				<i>В. Відходи</i>		
2	Дріжджі <i>S. cerevisiae</i> S-04	кг	0,50	1	Дріжджовий осад (знятий з конуса)	кг	4,0
				2	СО ₂ метаболічний	кг	10,2
					<i>Г. Втрати</i>		
				1	Випаровування при бродінні	кг	2,0

Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата

162.01.04.00 000 ПЗ

Арк.

34

Продовження таблиці 3.1

1	2	3	4	5	6	7	8
				2	Залишковий спирт у дріжджовому осаді та втратах	кг	2,35
	Всього:	кг	1 223,2		Всього:	кг	1 223,2
Операція ТП 4.2. Доброджування та стабілізація							
	<i>Б Напівпродукт</i>				<i>Б Напівпродукт</i>		
1	Молоде пиво (зелене)	кг	1 178,0	1	Дозріле пиво	кг	1 163,0
					<i>В. Відходи</i>		
					<i>Г. Втрати</i>		
				1	Залишковий дріжджовий осад та за- вислі речовини	кг	12,0
				2	Відбори проб на ла- бораторний конт- роль	кг	3,0
	Всього:	кг	1 178,0		Всього:	кг	1 178,0
Стадія ТП 5. Фільтрація пива							
	<i>Б Напівпродукт</i>				<i>Б Напівпродукт</i>		
1	Дозріле пиво	кг	1 163,0	1	Відфільтроване пи- во	кг	1 138,2
	<i>А Сировина</i>				<i>В. Відходи</i>		
1	Діатоміт (кізель- гур, 0,7 кг/гЛ)	кг	7,0		<i>Г. Втрати</i>		
				1	Відпрацьований кі- зельгур з осадом	кг	22,0
				2	Залишки пива у фі- льтрі та тру- бопроводах (2 %)	кг	9,8
	Всього:	кг	1 170,0		Всього:	кг	1 170,0
Стадія ТП 6. Введення пробіотичної культури							
	<i>Б Напівпродукт</i>				<i>Б Напівпродукт</i>		

Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата

162.01.04.00 000 ПЗ

Арк.

35

Продовження таблиці 3.1

1	2	3	4	5	6	7	8
1	Відфільтроване пиво	кг	1 138,2	1	Пиво з пробіотиком	кг	1 138,25
	<i>A Сировина</i>				<i>B. Відходи</i>		
1	Суспензія <i>L. paracasei</i> LAFTI L26	кг	0,05		<i>Г. Втрати</i>		
	Всього:	кг	1 138,25		Всього:	кг	1 138,25
Стадія ТП 7. Карбонізація							
	<i>B Напівпродукт</i>				<i>B Напівпродукт</i>		
1	Пиво з пробіотиком	кг	1138,25	1	Карбонізоване пиво	кг	1 143,75
	<i>A Сировина</i>				<i>B. Відходи</i>		
1	СО ₂ харчовий	кг	5,50		<i>Г. Втрати</i>		
				1	СО ₂ при карбонізації (~8 %)	кг	0,44
				2	Залишки у трубопроводах	кг	0,56
	Всього:	кг	1 143,75		Всього:	кг	1 143,75
Стадія ТП 8. Наповнення та укупорювання							
	<i>B Напівпродукт</i>				<i>Г Готовий продукт</i>		
1	Карбонізоване пиво	кг	1143,75	1	Пиво безалкогольне функціональне у пляшках 0,5 л	л	1 000,0
	<i>A Сировина</i>				<i>B. Відходи</i>		
1	Скляні пляшки 0,5 л	шт	2 000		<i>Г. Втрати</i>		
2	Кронен-корок	шт	2 000	1	Втрати при розливі (мертвий об'єм, піна, залишки)	л	130,0
3	Етикетки	шт	2 000	2	Залишки пива у ВВТ та трубопроводах (~11 %)	кг	127,0
	Всього:	кг	1143,75		Всього:	кг	1 143,75

Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата

162.01.04.00 000 ПЗ

Арк.

36

Розрахунок основних показників матеріального балансу

Зведений матеріальний баланс серії виробництва дозволяє визначити основні техніко-економічні показники процесу. Розрахунок проводиться для сировини та матеріалів без урахування технологічної води, що є стандартним підходом для харчових виробництв.

1. Витратний коефіцієнт сировини (без води), кг на 1 л готового продукту:

$$K_p = G_1 / G_2 = 161,55 / 1012,0 = 0,160 \text{ кг/л}$$

де $G_1 = 161,55$ кг — загальна маса сировини та матеріалів (без технологічної води): солод (155,0) + хміль (0,50) + дріжджі (0,50) + *L. paracasei* LAFTI L26 (0,05) + реагенти для коригування води (0,30) + діатоміт (7,0) + CO_2 (5,5) + регулятори (0,30) $\approx 161,55$ кг; $G_2 = 1012,0$ кг — маса готового продукту (1000 л \times 1,012 кг/л).

2. Витратний коефіцієнт з урахуванням технологічної води:

$$K_{p,\text{заг}} = (G_1 + G_{\text{вода}}) / G_2 = (161,55 + 1325,0) / 1012,0 = 1,467 \text{ кг/л}$$

3. Вихід готової продукції:

$$\eta = G_2 / (G_1 + G_{\text{вода}}) \times 100 \% = 1012,0 / 1486,55 \times 100 \% = 68,2 \%$$

4. Виробничі втрати:

$$\varepsilon = G_5 / (G_1 + G_{\text{вода}}) \times 100 \% = 320,55 / 1486,55 \times 100 \% = 21,7 \%$$

де $G_5 = 320,55$ кг — сумарні виробничі втрати (випаровування при кип'ятінні 123,3 кг + CO_2 при бродінні 10,2 кг + випаровування при бродінні 2,0 кг + фільтраційні втрати 9,8 кг + втрати при розливі 127,0 кг + залишки в трубопроводах та ін. $\approx 48,25$ кг).

Вихід 68,2 % є прийнятним для безалкогольного пива з обмеженим бродінням та двоступеневою фільтрацією для малотоннажного пивоварного виробництва

Зведені показники матеріального балансу представлено у табл. 3.2.

										Арк.
										37
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата						

3.2 Розрахунок і вибір основного та допоміжного обладнання

Вибір та розрахунок технологічного обладнання здійснюється на основі матеріального балансу серії виробництва та опису технологічного процесу. Виробнича потужність підприємства — 1000 л готового функціонального безалкогольного пива за одну серію; планова кількість серій — 2 на тиждень, річна продуктивність — 100 000 л. Режим роботи: 8-годинна зміна, 1 зміна на добу, 5 робочих днів на тиждень, 250 робочих днів на рік.

Вихідні дані для розрахунку

Серія: 1000 л готового пива (2000 пляшок 0,5 л).

- Мзм (маса затору) = 620,0 кг (155,0 кг солоду + 465,0 кг води);
- Об'єм сусла перед кип'ятінням: 1320 л (1368,5 кг);
- Об'єм сусла після кип'ятіння: ~1187 л (1237,7 кг);
- Об'єм охолодженого сусла: ~1173 л (1222,7 кг), $t = 14\text{--}16\text{ }^{\circ}\text{C}$;
- Об'єм молодого пива після бродіння: ~1140 л (1178,0 кг);
- Об'єм зрілого пива після доброджування: ~1127 л (1163,0 кг);
- Об'єм пива після фільтрації: ~1102 л (1138,2 кг);
- Тривалість зміни $T_{зм} = 8$ год; ефективний час $T_{еф.р} = 5$ год; час підготовчо-заготівельний $T_{п.з} = 1,0\text{--}1,5$ год.

Для апаратів безперервної дії кількість одиниць обладнання розраховується за формулою:

$$N = M_{зм} / (T_{еф.р} \times m) \quad (3.1)$$

де N — кількість апаратів, од.; $M_{зм}$ — маса сировини або продукту, що обробляється за зміну, кг; $T_{еф.р}$ — ефективний час роботи апарату за зміну, год (4–6 год при 8-год зміні); m — годинна продуктивність апарату, кг/год.

Для апаратів періодичної дії:

$$N = M_{зм} / (V \times K_{ц} \times T_{ц}) \quad (3.2)$$

де V — робоча ємність апарату, л; $K_{ц}$ — кількість циклів роботи апарату за зміну; $T_{ц}$ — тривалість циклу, год.

									162.01.04.00 000 ПЗ	Арк.
										39
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата						

Коефіцієнт ефективності використання обладнання:

$$K_{\text{эф.вик}} = (T_{\text{ф.р}} + T_{\text{п.з}}) / T_{\text{зм}} \quad (3.3)$$

де $T_{\text{ф.р}}$ — фактичний час роботи, год; $T_{\text{п.з}}$ — час підготовчо-заготівельних операцій, год; $T_{\text{зм}}$ — тривалість зміни (8 год).

Мінімальний об'єм ємнісного апарату:

$$V_{\text{min}} = M_{\text{зм}} / (\rho \times \xi) \quad (3.4)$$

де ρ — щільність продукту або напівпродукту, кг/м³; ξ — коефіцієнт заповнення апарату (0,75–0,85 для ємнісного обладнання).

3.2.1 Розрахунок заторного чану ЗЧ 2.

Заторний чан обробляє суміш подрібненого солоду (154,4 кг) та води (465,0 кг); маса затору $M_{\text{зм}} = 619,4$ кг. Щільність заторної маси $\rho = 1050$ кг/м³, коефіцієнт заповнення $\xi = 0,75$.

Мінімальна робоча ємність:

$$V_{\text{min}} = M_{\text{зм}} / (\rho \times \xi) = 619,4 / (1050 \times 0,75) = 0,787 \text{ м}^3 = 787 \text{ л}$$

Приймаємо стандартний заторний апарат об'ємом 2000 л (заповнення 39 % — з урахуванням промивання дробини водою 860 л).

Конструктивний розрахунок об'єму апарату ($D_1 = 1,4$ м, $H = 2,0$ м, $h_{\text{дно}} = 0,3$ м):

$$V = \pi \times D_1^2 / 4 \times H + \pi \times h / 6 \times (3 \times (D_1 / 2)^2 + h^2)$$

$$V = 3,14 \times 1,96 / 4 \times 2,0 + 3,14 \times 0,3 / 6 \times (3 \times 0,49 + 0,09)$$

$$V = 3,079 + 0,157 \times (1,47 + 0,09) = 3,079 + 0,245 = 3,324 \text{ м}^3 \approx 3325 \text{ л}$$

Кількість апаратів:

$$N = M_{\text{зм}} / (V \times K_{\text{ц}} \times T_{\text{ц}}) = 620 / (2000 \times 1 \times 1) = 0,31 \rightarrow N = 1 \text{ апарат}$$

Прийнятий апарат $V = 2000$ л. Кількість одиниць: $N = 1$.

Потужність мішалки рамного типу ($KN = 0,36$; $n = 40$ об/хв = $0,667 \text{ с}^{-1}$; $D_{\text{м}} = 0,8 \times 1,4 = 1,12$ м):

$$N_{\text{міш}} = KN \times \rho \times n^3 \times D_{\text{м}}^5 \quad (3.5)$$

$$N_{\text{міш}} = 0,36 \times 1050 \times 0,667^3 \times 1,12^5$$

$$N_{\text{міш}} = 0,36 \times 1050 \times 0,2965 \times 1,762 = 197,8 \text{ Вт} \approx 0,20 \text{ кВт}$$

									Арк.
									40
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата					

Необхідна поверхня теплообміну ($K = 3000 \text{ Вт}/(\text{м}^2 \times \text{К})$; $\Delta T_{\text{сер}} = 25 \text{ К}$; $\tau = 0,5 \times 3600 = 1800 \text{ с}$):

$$F = Q_{\text{охол}} \times 10^3 / (K \times \Delta T_{\text{сер}} \times \tau) = 94\,071 \times 10^3 / (3000 \times 25 \times 1800) = 0,70 \text{ м}^2$$

Прийнятий ТО: $F = 3,0 \text{ м}^2$, продуктивність 3000 л/год (запас $\sim 4,3$). $N = 1$ апарат.

3.2.4 Розрахунок лагерних танків Р 15, Р 18.

Об'єм молодого пива для доброджування — 1140 л (1178,0 кг / 1,033). $\xi = 0,85$.

$$V_{\text{min}} = 1140 / 0,85 = 1341 \text{ л.}$$

Приймаємо 1200 л (1 серія / танк з урахуванням запасу)

Кількість одночасно задіяних танків ($\tau_{\text{лагер}} = 10$ діб, 2 серії/тиждень):

$$N = (\tau_{\text{лагер}} \times \Pi_{\text{тижн}}) / 7 = (10 \times 2) / 7 = 2,86$$

Прийнято: 3 лагерних танки \times 1200 л, SUS 304, гліколева сорочка -5°C , Р 0,3 МПа.

3.2.5 Розрахунок фільтрів Ф 17, Ф 20.

Об'єм пива на фільтрацію — 1127 л (1163,0 кг / 1,032). Допустимий час фільтрації $\tau = 1,5$ год.

$$Q_{\text{мін}} = 1127 / 1,5 = 751 \text{ л/год}$$

Діатомітовий фільтр: навантаження діатоміту $0,7 \text{ кг/гЛ} = 7,0 \text{ кг}/1000 \text{ л}$; площа фільтрації $F = Q/(\text{навантаження})$ — вибір стандартного апарату 1000–1500 л/год.

Мембранний картриджний фільтр (0,45 мкм): $Q = 1000 \text{ л/год}$ при тиску $\leq 0,4 \text{ МПа}$.

Прийнято: по 1 одиниці кожного типу; резерв продуктивності $\approx 33 \%$ ($1000/751 = 1,33$).

$$K_{\text{еф.вик}} = (1,5 + 0,5) / 8 = 0,25$$

3.2.6 Розрахунок ВВТ (Bright Beer Tank) Т 23.

Об'єм відфільтрованого пива після введення пробіотику та карбонізації — 1102 л (1138,2 кг / 1,033). $\xi = 0,90$.

$$V_{\text{min}} = 1102 / 0,90 = 1224 \text{ л}$$

									Арк.
									42
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата					

Приймаємо 1200 л × 2 одиниці. Два ВВТ забезпечують безперервність: поки один заповнюється (карбонізація, $\tau = 12\text{--}24$ год), з другого ведеться розлив.

Прийнято: 2 ВВТ × 1200 л, охолодження 2–6 °С, Р 0,3 МПа.

3.2.7 Розрахунок моноблоку наповнення та укупорювання МНУ 24.

Серія: 1000 л = 2000 пляшок 0,5 л. Допустимий час розливу $\tau = 1,0$ год.

$$\text{Продуктивність} = 1000 / 1,0 = 1000 \text{ пляшок/год}$$

Обраний моноблок наповнення та укупорювання включає ізобаричний розливний автомат з протитиском CO₂ (6–8 голівок) продуктивністю 800–1500 пл./год, вбудований DO-meter, та укупорювальний автомат, синхронізований з розливним.

Прийнято: 2 моноблока наповнення та укупорювання.

$$\text{Кеф.вик} = (1,0 + 1,0) / 8 = 0,25$$

Таблиця 3.3 — Коефіцієнти ефективності використання обладнання

Апарат	T _{фр} , год	T _{пз} , год	T _{зм} , год	Кеф.	Оцінка
Заторний чан	1,5	1,0	8	0,31	норма
Суслловарний котел	1,5	1,0	8	0,31	норма
Вірпул	0,5	0,5	8	0,13	норма
Пластинчастий теплообмінник	0,5	0,5	8	0,13	норма
ЦКА (3 шт.) — бро- діння	72 год (3 доби)	Без перервно	Без перервно	$\geq 0,85$	відмінно
Лагерний танк (3 шт.) — 10 діб	240 год	Без перервно	Без перервно	$\geq 0,90$	відмінно
Діатомітовий фільтр	1,5	0,5	8	0,25	норма
Мембранний фільтр (0,45 мкм)	1,5	0,5	8	0,25	норма
ВВТ (2 шт.)	Без- перервно	—	Без перервно	$\geq 0,88$	відмінно
Розливний автомат	1,0	1,0	8	0,25	норма

Розраховано за формулою 3.3; Кеф.вик = (T_{ф.р} + T_{п.з}) / T_{з.м}.

3.2.4 Розрахунок циліндроконічних бродильних апаратів ЦКА 14.

Як основний бродильний апарат у технологічному процесі використовується циліндро-конічний бродильний апарат (ЦКБ) корисним об'ємом 1000 л (повний об'єм 1200 л). Апарат виготовлений з нержавіючої сталі AISI 304, оснащений двозонною гліколевою охолоджувальною сорочкою, що забезпечує точне підтримання температури бродіння 12–16 °С, поліуретановою теплоізоляцією (80–100 мм) та повним набором штуцерів Tri-clamp. Конічне дно (60°) дозволяє ефективно видаляти дріжджовий осад через нижній кран без розкриття апарату, що критично важливо для дотримання санітарних норм.

Об'єм охолодженого суслу на бродіння — 1173 л (1222,7 кг / 1,042). Коефіцієнт заповнення для ЦКА з конічним дном $\xi = 0,80$.

$$V_{\min} = 1173 / 0,80 = 1466 \text{ л}$$

Приймаємо ЦКА ефективним об'ємом 1000 л. Кількість ЦКА:

$$N = V_{\min} / V_{\text{апарату}} = 1466 / 1000 = 1,466. \text{ Необхідно 2 апарати.}$$

Відповідно до матеріального балансу, для проведення серії 1000 л необхідно два паралельно встановлених ЦКА ефективним об'ємом 2000 л кожен (загальний робочий об'єм 1200 л при коефіцієнті заповнення 0,83).

Теплове навантаження при бродінні. Тепло біохімічної реакції (утворення 10,7 кг EtOH):

$$Q_{\text{бр}} = (m_{\text{EtOH}}/M_{\text{EtOH}}) \times \Delta H_{\text{ферм}} = (10\,700 / 46) \times 200\,000 = 46\,522 \text{ кДж / серію}$$

Питоме теплове навантаження на 1 ЦКА (2 апарати паралельно, $\tau_{\text{бр}} = 72$ год):

$$q_{\text{ЦКА}} = Q_{\text{бр}} / (n_{\text{ЦКА}} \times \tau_{\text{бр}} \times 3600) = 46\,522 \times 10^3 / (2 \times 72 \times 3600) = 59,9 \text{ Вт/апарат}$$

Витрата гліколевого холодоносія ($\Delta T = 8 \text{ К}$, $c_{\text{р гліколь}} = 3,5 \text{ кДж/(кг} \times \text{К)}$, $\rho = 1040 \text{ кг/м}^3$):

$$Q_{\text{гліколь}} = q_{\text{ЦКА}} \times \tau_{\text{бр}} \times 3600 = 59,9 \times 72 \times 3600 = 15\,509 \text{ кДж / апарат}$$

$$V_{\text{гліколь}} = 15\,509 \times 10^3 / (3500 \times 1040 \times 8) = 0,532 \text{ м}^3 = 532 \text{ л на апарат}$$

Прийнято: 2 ЦКА \times 1000 л (ефективний), SUS 304, охолоджувальна сорочка, тиск 0,15 МПа.

									Арк.
									44
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата					

Коефіцієнт ефективності ЦКА ($\tau_{бр} = 72 \text{ год} = 9 \text{ змін}$):

$K_{\text{эф.вик}} = 72 / (72 + 0) = 1,0$ (безперервна робота). Середній за місяць $\geq 0,85$.

Технічна характеристика апарату наведена у таблиці 3.3. Апарат виготовлений з нержавіючої сталі SUS 304 (відповідає AISI 304), оснащений гліколевою охолоджувальною сорочкою, термополіуретановою ізоляцією (80 мм) та повним набором штуцерів типу Tri-clamp, що забезпечує сумісність з СІР-системою. Виробник: Wise-Master, Україна.

Таблиця 3.4 — Технічна характеристика циліндроконічного бродильного апарату (ЦКА) з позначенням штуцерів

Параметр	Значення	Параметр	Значення
1	2	3	4
Внутрішній діаметр (S1)	Ø 1100 мм	Робочий об'єм	1000 л
Зовнішній діаметр (S2)	Ø 1200 мм	Повний об'єм	1200 л
Висота циліндричної частини (S3)	H = 1600 мм	Робочий тиск (контейнер / сорочка)	0,3 / 0,3 МПа
Висота опорних ніжок (S4)	H = 400 мм	Розрахунковий тиск (контейнер / сорочка)	0,4 / 0,4 МПа
Загальна висота (S5)	H = 2800 мм	Робоча температура	0 / +80 °С
Матеріал контейнера та сорочки	SUS 304 / SUS 304	Розрахункова температура	-5 / +100 °С
Теплоізоляційний матеріал / товщина	PU / 80 мм	Середовище: контейнер / сорочка	Пиво / гліколева вода
Кут конічного днища	60°	Кількість зон охолодження	2 (циліндр/конус)
Штуцер зливу (a)/ Вихід пива (b)	Ø51, Tri-clamp	Порт карбонізації (e)	Ø32, Tri-clamp
Порт введення гліколю (c/d)	Ø32, Tri-clamp	Штуцер термометра (g)	Ø32, Tri-clamp

1	2	3	4
Порт відбору проб (f)	Ø32, Tri-clamp	Манометр (i) / клапан скидання тиску (j)	Ø38, Tri-clamp
Люк (K)	430 × 330 мм	CIP-арм (L)	Ø38, Tri-clamp

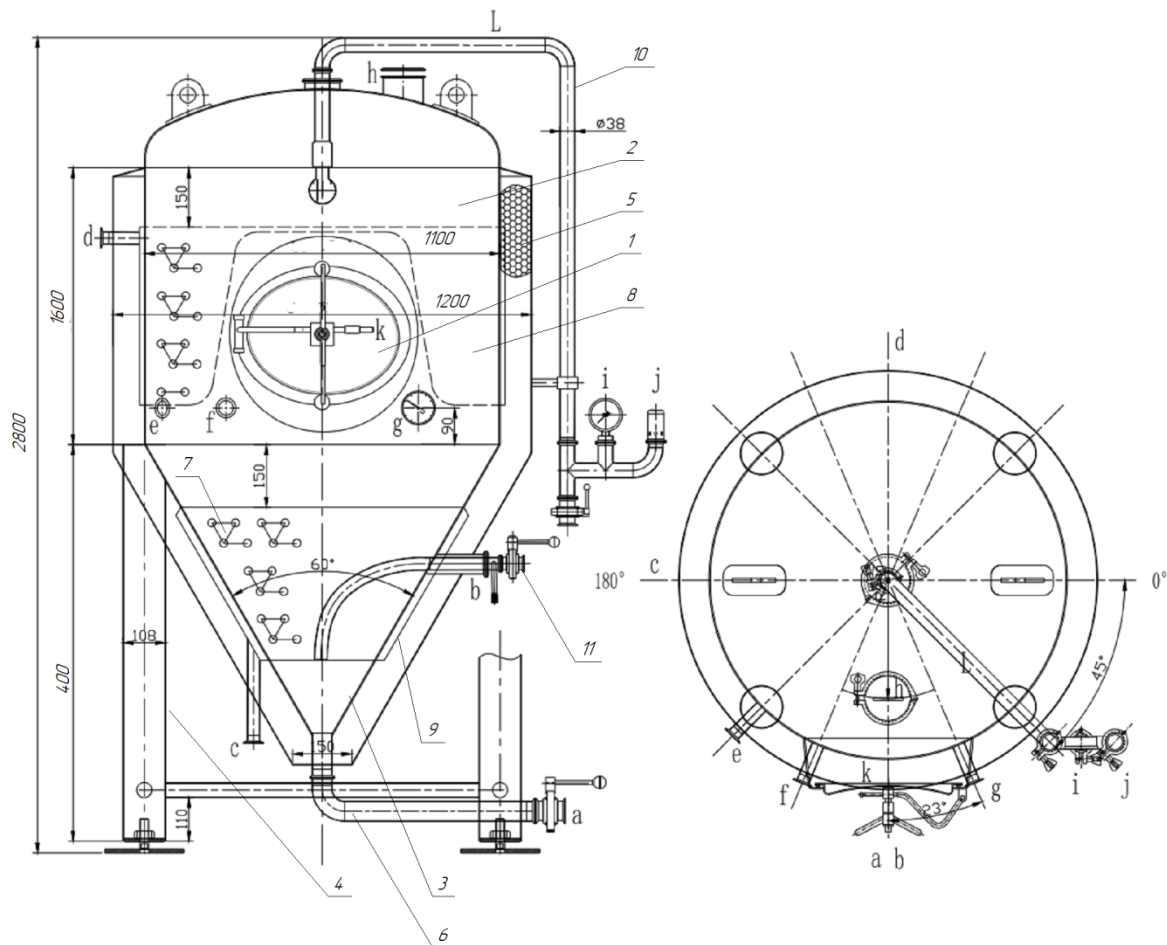


Рис. 3.1 – Загальний вигляд циліндроконічного бродильного апарату ЦКА-1000. 1 – люк, 2 – корпус, 3 – конічне днище, 4 – опорні ніжки, 5 - теплоізоляційний матеріал, 6 – нижній злив, 7 – підйомні вуха, 8 – подвійна сорочка корпусу, 9 – подвійна сорочка днища, 10 - CIP-арм, 12 – вихід пива.

Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата

3.3 Опис технологічного процесу

Технологічний процес виробництва функціонального безалкогольного пива з пробіотичними властивостями базується на методі обмеженого бродиння з наступним асептичним введенням пробіотичного штаму *Lacticaseibacillus paracasei* LAFTI L26. Принципова особливість запропонованої технології — поєднання двох підходів: отримання безалкогольної основи за рахунок контрольованого зупинення ферментації (вміст етанолу $\leq 0,5$ % об.) та постбродильного введення пробіотику для забезпечення рівня життєздатних клітин не менше 10^6 КУО/мл у готовому продукті протягом усього терміну придатності.

Очікувані характеристики готового продукту:

- вміст алкоголю: $\leq 0,5$ % об. (категорія «безалкогольне» згідно з ДСТУ 3888:2015)
- початкова густина суслу (OG): 1,040–1,045
- кінцева густина (FG): 1,030–1,034
- гіркота: 12–18 IBU (знижений рівень для збереження пробіотиків)
- рН готового продукту: 4,0–4,4
- кількість КУО *L. paracasei* LAFTI L26 на момент виготовлення: $\geq 10^7$ КУО/мл
- кількість КУО *L. paracasei* LAFTI L26 на кінець терміну придатності (30 діб): $\geq 10^6$ КУО/мл
- колір: 6–10 ЕВС (світле)
- вуглекислота: 4,5–5,5 г/л

Стадія ДР 1. Підготовка виробництва.

На цій стадії забезпечуються санітарно-гігієнічні умови та готовність обладнання до роботи. Проводиться СІР-мийка усіх резервуарів, трубопроводів і теплообмінників: циркуляція 2 % розчину NaOH при температурі 70 °C протягом 30 хв, промивання водою, циркуляція 1 % розчину азотної кислоти (15 хв), фінальне промивання деіонізованою водою до рН 6,5–7,0. Справність

									Арк.
									47
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата					

162.01.04.00 000 ПЗ

і калібрування засобів вимірювання перевіряються перед кожною варкою. Лабораторія контролює мікробіологічну чистоту обладнання методом змивів. Тривалість стадії: 1,5–2,0 год.

Стадія ДР 2. Підготовка сировини.

Операція ДР 2.1. Підготовка незернової сировини.

Вода. Водопровідна вода очищається на установці зворотного осмосу. Мінеральний склад коригується до профілю світлого пива: Ca^{2+} — 50–80 ppm, Mg^{2+} — 10–20 ppm, SO_4^{2-} — 30–60 ppm, Cl^- — 50–80 ppm. Введення солей: хлористий кальцій (0,1–0,15 г/л), гіпс (0,2–0,3 г/л); рН коригується молочною кислотою до 5,4–5,6. Деаерація: нагрівання до 80 °С, вміст розчиненого O_2 — не більше 0,1 мг/л (К 2.1.1).

Хміль. Гранульований хміль двох сортів: гіркий Magnum (α -кислоти 12–14 %) та ароматний Saaz або Hallertau Mittelfrüh (α -кислоти 3–4 %). Загальна норма хмелювання свідомо знижена до 12–18 IBU, оскільки ізо- α -кислоти хмелю чинять інгібуючий вплив на *L. paracasei* LAFTI L26. Хміль зберігається при температурі 0–4 °С у вакуумній упаковці (К 2.1.2).

Дріжджі. Штам *Saccharomyces cerevisiae* S-04. Сухі дріжджі регідратуються у стерильній воді (25–30 °С, 20 хв), потім вносяться до стартерного суслу 10° Пл у співвідношенні 1:10. Контролюється морфологія клітин і коефіцієнт заброджуваності (К 2.1.3).

Пробіотична культура. *Lacticaseibacillus paracasei* LAFTI L26 зберігається у вигляді ліофілізованого концентрату при температурі –18 °С або 2–8 °С. Перед внесенням суспендується у стерильному ізотонічному розчині (0,9 % NaCl) до концентрації 10^9 – 10^{10} КУО/мл. Тривалість підготовки сировини: 3,0–3,5 год. (К 2.1.4).

Операція ДР 2.2. Подрібнення солоду.

Ячмінний пивоварний солод (ДСТУ 4282:2004), сорти Pilsner або Pale Ale: екстрактивність ≥ 78 %, вологість $\leq 4,5$ %, число Кольбаха 38–42 %. Приймається у силос, очищається від пилу та домішок на сепараторі; воло-

									Арк.
									48
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата					

Поєднання мальтозної та оцукрювальної пауз формує профіль смаку, характерний для сухого світлого пива з м'яким тілом, навіть за умов низького вмісту алкоголю. Контрольні параметри: екстрактивність суслу 10,0–11,0 °Пл, рН затору 5,2–5,6 (К 3.1.2). Тривалість: 1,5–2,0 год.

Операція ТП 3.2. Фільтрація затору.

Затор насосом Н 3 перекачується до фільтраційного чану Ф 4 з перфорованим подвійним дном.

Перше сусло стікає з Ф 4 у підсуловий збірник З 5, який використовується для контролю прозорості, рециркуляції каламутних порцій назад у Ф 4 та подальшого перекачування прозорого суслу на кип'ятіння.

Після стікання першого суслу дробина промивається гарячою водою (75–78 °С) у 2–3 прийоми до концентрації промивних вод $\leq 1,5$ °Пл (К 3.2.1).

Перші каламутні порції повертаються на рециркуляцію насосом Н 6. Контролюються: прозорість першого суслу, екстрактивність, мікробіологічна чистота (К 3.2.2.). Тривалість: 1,0–1,5 год.

Дробину збирають у ємність для збору відпрацьованої дробини З 7.

Операція ТП 3.3. Кип'ятіння суслу з хмелем.

Перше сусло з підсулового збірника насосом Н 6 передають у суслотварний котел Р 8 та підігрівають до 100 °С. Сусло кип'ятиться протягом 60–75 хв. (К 3.3.1). На операції проводять охмелення суслу.

Порядок внесення хмелю (К 3.3.2):

- гіркий хміль Magnum — на початку кип'ятіння. Забезпечується ізомеризація α -кислот, формування гіркоти 12–18 ІВU. Норма задавання знижена для мінімізації антибактеріального впливу на пробіотик;
- ароматний хміль Saaz — за 10–15 хв до кінця кип'ятіння. Забезпечується формування тонкого хмельового аромату.

Кип'ятіння суслу з хмелем забезпечує також стерилізацію суслу, коагуляцію білків («гарячий труб»), видалення ДМС та інших небажаних ароматичних сполук, концентрування.

										162.01.04.00 000 ПЗ	Арк.
											50
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата							

Контролюються: тривалість, ступінь випаровування (8–10 % від об'єму), рН наприкінці (5,0–5,3) (К 3.3.3). Тривалість: 1,0–1,5 год.

Операція ТП 3.4. Освітлення гарячого сусла.

Гаряче охмелене сусло перекачується насосом Н 9 тангенціально (по дотичній) у циліндричний вірпул В 10. Завдяки цьому створюється інтенсивний вихор (принцип дії вірпула), під дією відцентрової сили хмелеві частинки, коагульовані білки та інші важкі домішки (хмелевий та холодний трух) концентруються у центрі ємності, утворюючи щільний осадовий конус.

Після створення вихору проводиться витримка 20–25 хвилин для повного осадження. Потім прозоре сусло обережно відбирається з верхніх та бічних шарів, а осад видаляється через нижній злив у немаркований збірник та передається на утилізацію.

Контролюють температуру сусла на вході (не нижче 90–95 °С) (К 3.4.1), якість формування центрального конуса, прозорість сусла, яке відбирають, відсутність завислих частинок, мікробіологічна чистота (К 3.4.2).

Загальна тривалість операції 0,5 години.

Операція ТП 3.5. Охолодження та аерація сусла.

Гаряче сусло подають насосом Н 9 на пластинчастий теплообмінник Т 11, де воно охолоджується до температури внесення дріжджів 12–16 °С. Одночасно проводиться аерація за допомогою аератора А 12.

Принцип аерації: через стерильний інжектор (аератор) у потік сусла вводиться чистий кисень (O₂) або стерильне повітря. Інжектор працює за принципом Вентурі — кисень дрібними бульбашками рівномірно диспергується в потоці, швидко розчиняючись до рівня 8–10 мг/л. Це забезпечує дріжджі необхідним киснем для синтезу стеринів і здорового початку бродіння.

Контролюють температуру охолодженого сусла (12–16 °С) (К 3.5.1), рівень розчиненого кисню (8–10 мг/л), відсутність переаерації, прозорість, мікробіологічна чистота, рН (К 3.5.2).

Загальна тривалість операції: 0,5–1,0 год.

									162.01.04.00 000 ПЗ	Арк.
										51
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата						

Сусло після теплообмінника збирають у проміжний збірник охолодженого сусла – танк З 13, наявність якого полегшує контролювання точного об'єму і параметрів сусла, дає змогу взяти проби, відкоригувати параметри (рН, екстрактивність), запобігає ризику потрапляння осаду або недотримання температури, збільшує гнучкість процесу при виробництві кількох варок.

Стадія ТП 4. Бродіння.

У сучасній практиці виробництва безалкогольного пива все ширше застосовуються спеціалізовані мальтоза-негативні або мальтоза-нетолерантні дріжджові культури — *Saccharomyces ludwigii*, *Torulasporea delbrueckii*, *Pichia kluyveri* та інші, що за рахунок природного обмеження ферментації дозволяють отримувати продукт з вмістом алкоголю $\leq 0,5$ % об. без зупинки процесу [Dymkowski, Trusek, Beverages 2023]. У даній роботі обрано метод контрольованого обмеженого бродіння зі штамом *S. cerevisiae* S-04 через широку комерційну доступність та стандартизовану якість культури, доведену високу сумісність *S. cerevisiae* S-04 та *L. paracasei* LAFTI L26 (у спільній ферментації пробіотик підтримував концентрацію $> 8 \log$ КУО/мл протягом 10 діб [Chan et al., 2019]), а також через добре передбачуваний і відтворюваний профіль смакоароматичних речовин, що є критичним для нового функціонального продукту.

Операція ТП 4.1. Контрольоване обмежене бродіння.

Охолоджене сусло перекачують насосом Н 9 до циліндроконічного бродильного апарату ЦКА 14 . Бродіння ведеться при температурі 14–16 °С.

Дріжджі вносяться з нормою задавання 5–8 млн клітин/мл (знижена норма для уповільнення ферментації) (К 4.1.1). Ферментацію зупиняють при досягненні атенюації 25–30 %, коли вміст алкоголю становить 0,3–0,5 % об. Зупинка здійснюється швидким охолодженням до 0–2 °С та видаленням дріжджів через конічне дно.

Для своєчасної зупинки бродіння контроль густини проводиться рефрактометром або ареометром кожні 4 год, вміст етанолу — ГРХ-методом кожні 8 год. (К 4.1.2).

									Арк.
									52
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата					

Жорсткий контроль є обов'язковим, оскільки *S. cerevisiae* S-04 є активним штамом і ризик перевищення 0,5 % об. алкоголю при запізненні зупинки є реальним.

Тривалість бродіння: 48–72 год.

Операція ТП 4.2. Доброджування та стабілізація.

Після видалення основної маси дріжджів молоде пиво перекачується насосом Н 9 до лагерного танку Р 15. Параметри доброджування: температура: 0–2 °С, тривалість: 7–10 діб (К 4.2.1). Під час доброджування відбувається осадження залишкових дріжджів та завислих речовин, зниження вмісту діацетилу ($\leq 0,1$ мг/л) та ацетальдегіду (≤ 10 мг/л), природна насиченість CO₂, формування колоїдної стабільності. Контролюють рН (4,0–4,4), вміст алкоголю ($\leq 0,5$ % об.), органолептичні показники (К 4.2.2).

Стадія ТП 5. Фільтрація пива.

Дозріле пиво фільтрується у два ступені: груба та тонка фільтрація.

Операція ТП 5.1. Груба фільтрація.

Дозріле пиво після холодного доброджування з лагерного танку Р 15 подається насосом Н 16 на діатомітовий (кизельгуровий) фільтр Ф 17 для грубої фільтрації. Фільтрація відбувається через шар діатоміту, нанесений на вертикальні свічки-фільтроелементи. Діатомітова земля (навантаження 0,5–1,0 кг/гл) уловлює дріжджі, білкові частинки та каламуть, забезпечуючи прозорість пива.

Різниця тиску (до 0,5 МПа) забезпечує проходження рідини при затримці твердих частинок.

Контрольні точки: тиск на вході/виході, витрата діатоміту, температура пива (0–10 °С) (К 5.1.1), прозорість (ЕВС), мікробіологічні показники (К 5.1.2).

Тривалість 0,5–1,5 год.

Профільтроване пиво збирають в проміжний танк Р 18.

									Арк.
									53
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата					

Операція ТП 5.2. Тонка фільтрація.

В технологічному процесі відсутня пастеризація, тому що термічна обробка після введення пробіотику несумісна зі збереженням КУО. Мікробіологічна безпека забезпечується мембранною мікрофільтрацією (0,45 мкм) в поєднанні з асептичними умовами розливу.

З проміжного танку Р 18 пиво за допомогою насоса Н 19 подають на тонку фільтрацію через мембранний картриджний фільтр Ф 20 (розмір пор 0,45 мкм). Мембрана затримує практично всі дріжджові клітини і більшість бактерій, забезпечуючи необхідну мікробіологічну стабільність.

Цілісність фільтрувальних елементів перевіряється тестом «точки бульбашки» перед кожною фільтрацією (К 5.2.1). Робочий тиск на вході: 0,15–0,35 МПа. Максимально допустимий перепад тиску (ΔP): 0,4 МПа. Фільтрація проводиться при постійному контролі росту тиску. При досягненні ΔP 0,35–0,4 МПа фільтр зупиняють для заміни картриджів (К 5.2.2).

Вміст розчиненого кисню після фільтрації має бути не більше 0,05 мг/л, прозорість / каламутність: $\leq 0,5$ –1,0 ЕВС (або < 1 NTU), мікробіологічна чистота - відсутність дріжджів та бактерій після фільтра) (К 5.2.3)

Тривалість: 1,0–1,5 год.

Стадія ТП 6. Введення пробіотичної культури.

Операція ТП 6.1. Введення пробіотичної культури.

Після мікрофільтрації охолоджене пиво (2–10 °С) подається насосом по основній лінії. Одночасно через асептичний інжектор НІ 21 у потік пива дозується концентрована суспензія пробіотичної культури *Lacticaseibacillus paracasei* LAFTI L26.

Перистальтичний насос-дозатор з точністю ± 1 % подає живу пробіотичну суспензію по окремій стерильній лінії безпосередньо в асептичний інжектор. Суспензія пробіотиків не проходить через стерилізуючий фільтр 0,2 мкм — цей фільтр захищає систему від зовнішнього забруднення (на лінії повітря або продувки). Інжектор забезпечує рівномірне та асептичне змішу-

									Арк.
									54
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата					

вання пробіотиків з пивом безпосередньо перед розливом, що максимально зберігає їх життєздатність.

Введення пробіотичної культури є критичною стадією процесу. Порушення асептики на цьому етапі може призвести до контамінації сторонньою мікрофлорою та скисання всієї партії. Обов'язкові заходи – це СІР-мийка та хімічна дезінфекція лінії введення перед кожним виробничим циклом, перевірка цілісності фільтра 0,2 мкм за перепадом тиску, мікробіологічний моніторинг змивів з усіх Tri-Clamp з'єднань (К 6.1.1).

Розрахунок норми внесення та очікувана динаміка КУО. Початкова концентрація культури після введення: $\geq 10^7$ КУО/мл. Запас у 1 log (90 % клітин) відносно цільового мінімуму обрано на підставі літературних даних про виживаність *L. paracasei* LAFTI L26 у пивних матрицях: Chan et al. (2019) підтвердили підтримання життєздатності на рівні ≥ 6 log КУО/мл протягом усього терміну холодного зберігання для даного штаму. Цільовий показник на кінець терміну придатності (30 діб при 2–6 °С): $\geq 10^6$ КУО/мл — відповідно до міжнародних вимог до пробіотичних продуктів (ISAPP).

Умови, що забезпечують виживаність *L. paracasei* LAFTI L26 у готовому продукті (К 6.1.2):

- рН продукту 4,0–4,4 (штам толерантний при рН $\geq 3,5$);
- концентрація ізо- α -кислот ≤ 18 IBU (знижений рівень хмелювання);
- відсутність пастеризації після введення культури;
- температура зберігання 2–6 °С;
- вміст $O_2 \leq 0,05$ мг/л (анаеробні умови, захист від окислення).

Схема мікробіологічного контролю КУО. Висів на MRS-агар (анаеробні умови, 37 °С, 48 год) у таких контрольних точках: одразу після введення культури (день 0) — підтвердження початкової концентрації $\geq 10^7$ КУО/мл; на 7-й день зберігання; на 15-й день зберігання; на 30-й день зберігання (кінець терміну придатності) — підтвердження $\geq 10^6$ КУО/мл. Результати заносяться до паспорту партії та є підставою для підтвердження або відхилення партії готового продукту (К 6.1.3).

									162.01.04.00 000 ПЗ	Арк.
										55
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата						

Контролюють також точність дозування, температура пива 1–4 °С, рівномірність розподілу (К 6.1.4), мікробіологічна чистота (К 6.1.5).

Стадія ТП 7. Карбонізація.

Операція ТП 7.1. Карбонізація.

Після асептичного введення *L. paracasei* LAFTI L26 пиво передається до ВВТ-танку Т 23, де відбувається карбонізація вуглекислотою при 1–4 °С. Така послідовність операцій — спочатку введення пробіотику, потім карбонізація — виключає термічний та механічний стрес для пробіотичних клітин і забезпечує цілісність асептичного ланцюга до моменту укупорювання. Інжекційний карбонізатор працює за принципом Вентурі. CO₂ подається через мікропористий інжектор у турбулентний потік пива. Це забезпечує швидке та рівномірне розчинення газу без великих бульбашок.

У ВВТ-танку Т 23 за допомогою карбонізатора інжекційного КІ 22 пиво карбонізується харчовим CO₂ під тиском до рівня 4,5–5,5 г/л при температурі 1–4 °С. Контролюється тиск у танку та рівень карбонізації (К 7.1.1). Тривалість: 12–24 год.

Стадія ТП 8. Наповнення та укупорювання.

Операція ТП 8.1. Наповнення та укупорювання.

Готове пиво з ВВТ-танку Т 23 після інжекційної карбонізації та внесення пробіотиків подається на моноблок наповнення та укупорювання МНУ 24. На наповнення подаються попередньо підготовані стерильні скляні пляшки 0,5 л та стерильні кронен-пробки.

Наповнення відбувається в умовах противотиску CO₂ (ізобаричний метод), що мінімізує поглинання кисню та втрату карбонізації. Після вакуумування та продувки CO₂ пляшка наповнюється, проводиться вирівнювання тиску. Наповнені пляшки укупорюються.

Весь ланцюг від введення пробіотику до укупорювання функціонує в режимі захисту від зовнішнього мікробного забруднення та кисню (асептичні з'єднання, інертна атмосфера CO₂/N₂).

									162.01.04.00 000 ПЗ	Арк.
										56
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата						

Контролюють противотиск, залишковий O_2 у тарі після розливу: ≤ 50 ppb, температуру пива (2–6 °C) (К 8.1.1).

Після укупорювання проводиться 100% інспекція пляшок на світлово-му столі ГФ 25. Перевіряється рівень наповнення, герметичність укупорювання, відсутність сторонніх включень, каламуті, осаду та механічних пошкоджень пляшок, чистоту зовнішньої поверхні пляшки (К 8.1.2).

Контролюють також мікробіологічну чистоту (К 8.1.3).

Тривалість розливу серії 1000 л: 1,0–1,5 год.

Стадія ПМВ 9. Маркування та пакування.

Операція ПМВ 9.1. Маркування та пакування.

Укупорені пляшки конвеєром подаються на автоматичний етикетувальний апарат ЕА 26. На кожен пляшку наноситься самоклейна етикетка відповідно до вимог законодавства України.

Етикетка містить: найменування продукту («Пиво безалкогольне функціональне»), склад, вміст алкоголю ($\leq 0,5$ % об.), енергетичну цінність, інформацію про пробіотик (*Lacticaseibacillus paracasei* LAFTI L26 з зазначенням кількості КУО/мл на момент виготовлення), умови зберігання (2–6 °C), термін придатності (не більше 30 діб) та відповідність ДСТУ 3888:2015.

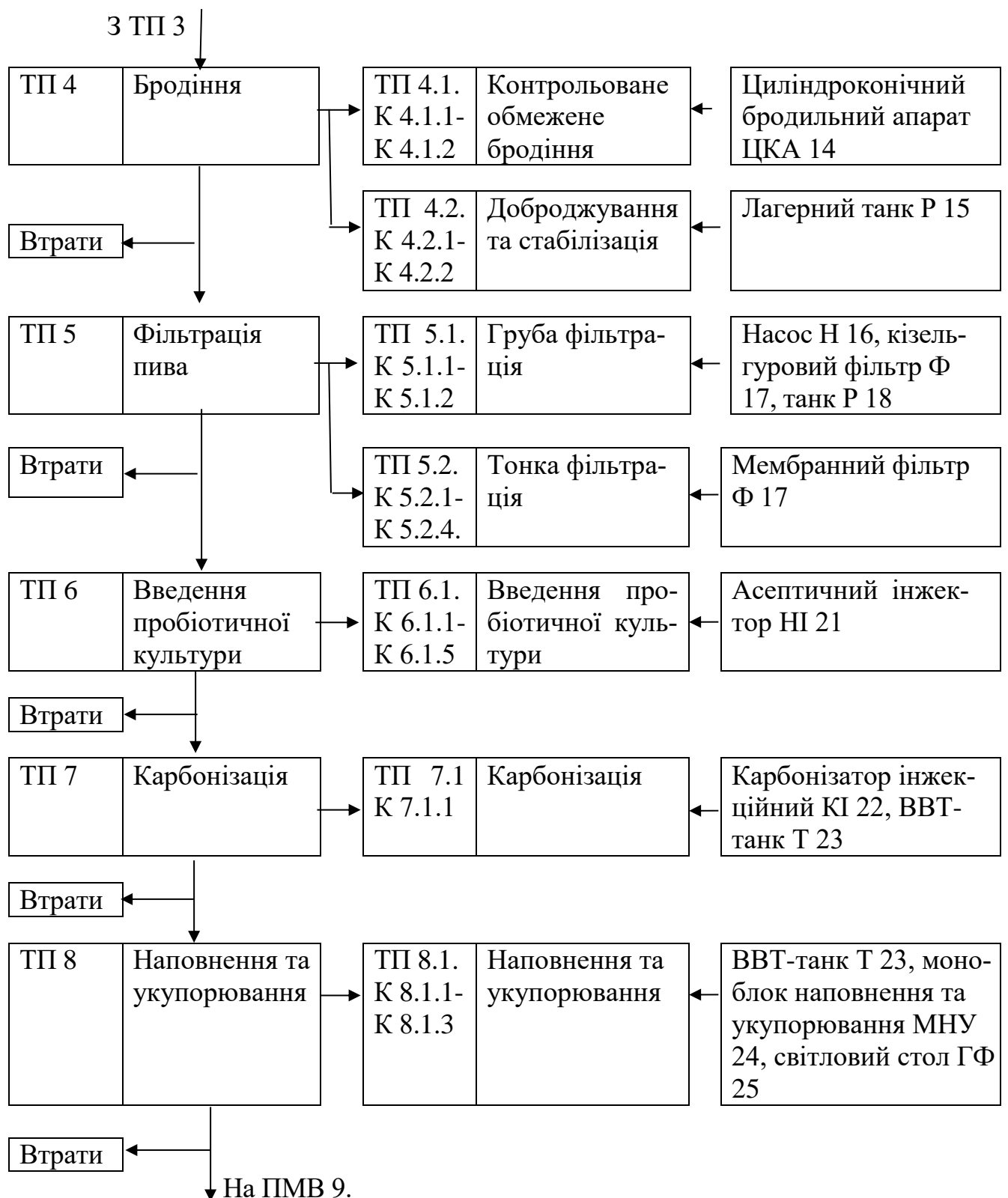
Після етикетування пляшки вручну групуються на столі ГФ 27 у картонні кейси (зазвичай по 12 або 20 пляшок). Кейси маркуються датою виробництва, номером партії та штрих-кодом.

Контрольні точки: якість наклеювання етикетки, правильність маркування (К 9.1.1), цілісність та комплектність упаковки, відповідність інформації на етикетці (К 9.1.2).

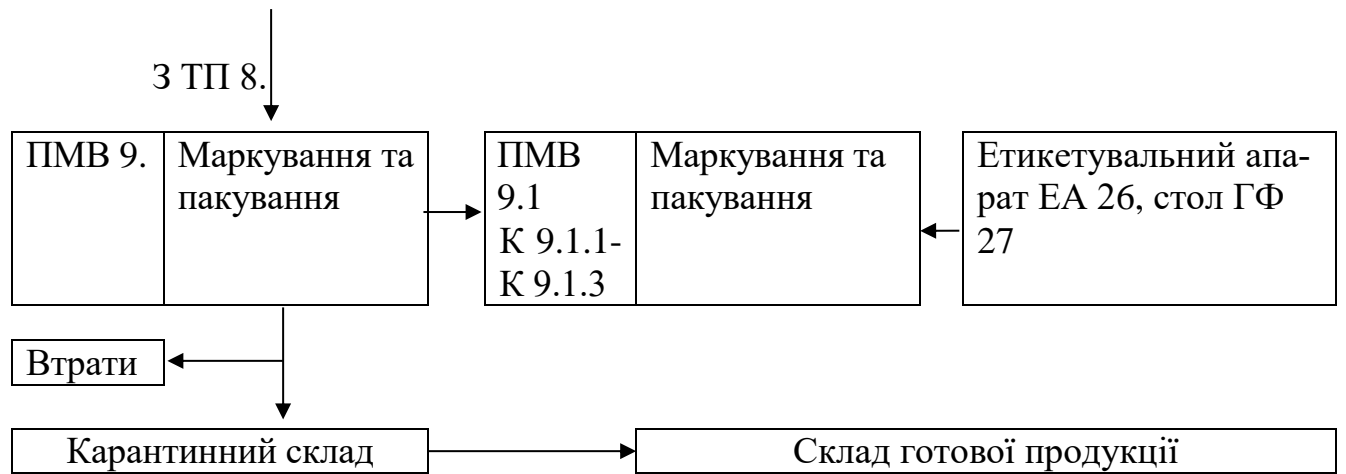
Відбирають пробу готової продукції на контроль за всіма вимогами ДСТУ 3888:2015 (К 9.1.3).

Упакована продукція транспортується на склад охолодженої продукції, де зберігається при температурі 2–6 °C.

					162.01.04.00 000 ПЗ	Арк.
						57
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		



Продовження рис. 3.2 - Технологічна схема виробництва функціонального безалкогольного пива з пробіотичними властивостями по 0,5 л в скляній пляшці.



Продовження рис. 3.2 - Технологічна схема виробництва функціонального безалкогольного пива з пробіотичними властивостями по 0,5 л в скляній пляшці.

Апаратурну схему виробництва функціонального безалкогольного пива з пробіотичними властивостями по 0,5 л в скляній пляшці представлена на рис. 3.3.

					162.01.04.00 000 ПЗ	Арк.
						60
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Специфікація обладнання виробництва функціонального безалкогольного пива з пробіотичними властивостями по 0,5 л в скляній пляшці представлена у табл. 3.5.

Таблиця 3.5 – Специфікація обладнання дільниці з виробництва функціонального безалкогольного пива з пробіотичними властивостями по 0,5 л в скляній пляшці.

Поз.	Позначення	Найменування	Кільк.	Маса, кг	Примітка (матеріал)
1	2	3	4	5	6
ВМ 1	МВ2-300	Вальцевий млин. Тип двовальцевий. Продуктивність: 300–500 кг/год; зазор між вальцями: 0,5–1,0 мм (регульований); потужність: 2,2 кВт; вальці Ø 200×400 мм	1		AISI 304, вальці — загартована сталь
ЗЧ 2		Заторний чан. З паровим підігрівом. Об'єм: 2000 л; парова сорочка (P = 0,3 МПа, F = 2,5 м ²); мішалка рамного типу (1,5 кВт, 40 об/хв); рН-метр, термометр; ізоляція 50 мм. Габаритні розміри, мм: D = 1400, H = 2000 м.	1	835	AISI 304
Н 3	МР-15RM	Насос заторної маси. Продуктивність: 15–16 л/хв (≈ 900–960 л/год). Напір: 2,4–2,7 м. Потужність: 10–20 Вт. Витримує до 120°C. Виробник: Україна	1	20	Нержавіюча сталь AISI 304 (корпус)
Ф 4		Фільтраційний чан. З перфорованим подвійним дном. Об'єм: 2000 л; площа фільтраційного дна: 1,5 м ² ; пристрій зрізання дробини; продуктивність: 1000 л/год; D = 1,4 м, H = 1,8 м	1	280	AISI 304
З 5	ЗВК-1000	Підсушений збірник. Корисний об'єм: 700–1000 літрів (з урахуванням запасу 15–30% на піну та промивні води). Конічне днище з ухилом до зливу. Верхній люк (DN 400–500 мм) для огляду та чистки. Нижній зливний	1	230	Нержавіюча сталь AISI 304

										Арк.
										62
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата	162.01.04.00 000 ПЗ					

Продовження таблиці 3.5

1	2	3	4	5	6
		патрубок (DN 40–50 мм) + додатковий патрубок для рециркуляції. Рівнемір, подвійна сорочка, СІР-мійка. Продуктивність підключення: потік 500–1500 л/год.			
Н 6, Н 9	НЦХ- 2	Насос для перекачування прозорого сусла — харчовий центробіжний або лопастний, 1000–2000 л/год, витримує 80–95°C.	2	30	Нержавіюча сталь AISI 304
3 7		Ємність для збору відпрацьованої дробини. Корисний об'єм: 300–500 літрів. На колесах, з конусним дном (60° ухил) та нижнім вивантажувальним люком/шнеком.	1	240	Харчовий пластик
Р 8	СКВ М-2	Сушварний котел. Об'єм: 2000 л. Потужність нагріву: 30 кВт (паровий). Парова сорочка та внутрішній нагрівач. Таймер. Габаритні розміри, мм: діаметр 1400, висота 2000.	1	630	Нержавіюча сталь AISI 304
В 10		Вірпул (гідроциклонний відстійник). Об'єм: 1500 л; тангенціальний ввід сусла; кут дна: 5°; час відстоювання: 20–30 хв. Габаритні розміри, мм: діаметр 1200, висота 1500.	1	310	Нержавіюча сталь AISI 304
Т 11		Пластинчастий теплообмінник. Продуктивність: 1500 л/год; охолодження від 95 °С до 12–16 °С; холодоносій — льодяна вода або гліколь; $F \geq 3 \text{ м}^2$; кількість пластин: 40–60	1	150	Нержавіюча сталь AISI 304
А 12		Аератор (стерильний інжектор O ₂). Продуктивність: 1500 л/год; стерильний фільтр повітря 0,2 мкм; насичення O ₂ : 8–10 мг/л	1	32	Нержавіюча сталь AISI 304
З 13	ТЦ- 60М	Танк. Об'єм: 700–900 л (корисний), 1100 (повний). Циліндричний з конічним дном (15–60°). Охолодження: сорочка тризона для підтримання 12–16 °С.	1	220	нержавіюча сталь AISI 304/316

Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата

162.01.04.00 000 ПЗ

Арк.

63

Продовження таблиці 3.5

1	2	3	4	5	6
		Обв'язка: верхній і нижній зливи, люк DN 400–500 мм, СІР-мійка, термометр, рівнімір, відбірний кран. Габаритні розміри, мм: діаметр 1050, висота 2500. Виробник: Wise-Master, Україна.			
ЦКА 14	ЦКА-1000	Циліндроконічний бродильний апарат. Об'єм: 1200 л (робочий 1000 л); конічне дно (60°) з краном відводу дріжджів; люк: верхній овал 320×450 мм, охолоджувальні сорочки (2 зони); Робочий тиск до 0,3 МПа; PRV-клапан; термометр, манометр, пробовідбірний кран, СІР-мійка (ротаційна миюча головка), нижній зливний патрубок. Габаритні розміри, мм: діаметр 1100, висота 2800. Виробник: Wise-Master, Україна.	2	290	нержавіюча сталь харчового класу AISI 304
Р 15, Р 18	ВВТ/ ЛТ- 1000	Лагерний танк. Об'єм: 1200 л; охолоджувальна сорочка (гліколь, до –5 °С); Р до 0,3 МПа; PRV-клапан; манометр, термометр, пробовідбірник, СІР, нижній злив. Габаритні розміри, мм: діаметр 1100, висота 2600. Виробник: Wise-Master, Україна.	4	280	нержавіюча сталь харчового класу AISI 304
Н 16	ЕВАР А CD 120/2 0	Циркуляційний відцентровий насос. Продуктивність: 1000–1600 л/год. Робочий тиск: до 0,6 МПа. Потужність двигуна: 1,1–2,2 кВт. Температура: 0–80 °С. З'єднання: DN 25–32. Габаритні розміри, мм: 450 × 250 × 350. Виробник: EBARA, Італія / Японія.	1	32	Н/сталь AISI 316
Ф 17	DAF- 2	Діатомітовий (кізельгуровий) фільтр. Продуктивність: 1000–1500 л/год; навантаження діатоміту: 0,5–1,0 кг/гЛ; Р до 0,5	1	250	Н/сталь AISI 304

Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата

162.01.04.00 000 ПЗ

Арк.

64

Продовження таблиці 3.5

1	2	3	4	5	6
		МПа; площа фільтрації: 1,0 м ² . Габаритні розміри, мм: 1450 × 900 × 2850. Виробник: Czech Brewery System, Чехія.			
Н 19	ЕВАРА А CD 120/2 0	Відцентровий насос. Продуктивність: 1000–1800 л/год. Робочий тиск: 0,6–0,8 МПа. Потужність: 1,1–2,2 кВт. Температура: 0–40 °С. З'єднання: DN 32–40 Tri-clamp. Габаритні розміри, мм: 480 × 280 × 380. Виробник: EBARA (Італія)	1	35	Н/сталь AISI 316L
Ф 20	BEVPRO R PS	Мембранний картриджний фільтр. Розмір пор: 0,45 мкм; продуктивність: 800–1200 л/год. Заміна — 1 раз на 40-60 варок. Робочий тиск: 0,4–0,6 МПа. Габаритні розміри, мм: 1200 × 600 × 1600. Виробник: Parker Domnick Hunter, Великобританія	1	92	Картриджі : Поліетерсульфон (PES), гідрофільний
НІ 21	FlexD ose Mini / Asepti c Perista Itic Doser	Асептичний інжектор пробіотичної культури. Продуктивність: до 1000 л/год (по пиву), дозування пробіотиків — 0,5–10 л/год Точність дозування (перистальтичний насос-дозатор): ±1 %. Стерилізація: вхідний фільтр 0,2 мкм + асептичні Tri-Clamp з'єднання. Температурний діапазон: 2–10 °С. Габаритні розміри: 650 × 350 × 450. Виробник: Etatron D.S., Італія.	1	25	Н/сталь AISI 316L, медичні силіконові/фторопластові шланги
КІ 22	IC- 1500	Карбонізатор інжекційний. Продуктивність: 1500 л/год; Робочий тиск CO ₂ до 0,6 МПа; регулятор тиску, ротаметр; статичний змішувач, манометри, асептичні Tri-Clamp з'єднання. Габаритні розміри, мм: 1200 × 400 × 1400. Виробник: Pentair, США	1	72	Н/сталь AISI 316L

Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата

162.01.04.00 000 ПЗ

Арк.

65

Продовження таблиці 3.5

1	2	3	4	5	6
Т 23	ВВТ-1000	ВВТ-танк. Вертикальний циліндро-конічний танк з конічним дном (кут 60–70°). Корисний об'єм: 1000 л. Повний об'єм: 1200 л. Двостонна сорочка, робоча температура 2–6 °С. Робочий тиск: до 0,3 МПа. PRV-клапан, манометр, термометр / датчик, пробовідбірний кран, ижній зливний патрубок DN 40–50, SIP-мійка, верхній люк DN 400–500 мм. З'єднання Tri-Clamp. Габаритні розміри, мм: діаметр 1150, висота 2800. Виробник: Wise-Master, Україна	2	410	Н/сталь AISI 316L
МНУ 24	Rizzolio RLV-ISO 6-1	Моноблок наповнення та укупорювання. Ізобаричний. Продуктивність: 800–1500 пл/год (0,33–0,5 л); противотиск CO ₂ ; кількість розливних голівок 6–8. Габаритні розміри, мм: 1800 × 1300 × 2200. Виробник: Rizzolio, Італія	2	720	Н/сталь AISI 316L
ГФ 25	VIS-1200	Світловий інспекційний стіл. Стационарний з підсвіткою ззаду та знизу. Освітлення: LED-панелі 5000–6500 К (денне світло), регулювання яскравості. Продуктивність: до 1500–2000 пляшок/год (1–2 оператори). Габаритні розміри, мм: 1200 × 600 × 1800. Виробник: Термораб, Україна	1	55	нержавіюча сталь AISI 304, біле матове скло або акрил
ЕА 26	ЕТ-1500S	Етикетувальний автомат. Автоматичний роторний для самоклеючих етикеток. Продуктивність: 1000–1500 пляшок/год (0,33–0,5 л). Кількість етикетувальних станцій: 1–2 (можливість нанесення передньої та задньої етикетки). Потужність: 1,5–2,5 кВт Нанесення маркування: інтегрований термо-	1	480	нержавіюча сталь AISI 304

Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата

162.01.04.00 000 ПЗ

Арк.

66

1	2	3	4	5	6
		трансферний або струменевий принтер (дата виробництва, номер партії, штрих-код, термін придатності). Система подачі: автоматична з накопичувальним столом Габаритні розміри, мм: 2000 × 1200 × 1800. Виробник: Czech Brewery System, Чехія			
ГФ 27		Стіл для упаковки. Габаритні розміри, мм: 2300x1000x800. Нестандартне обладнання.	3	15	збірний

3.5 Критичні параметри виробництва

Відповідно до вимог ДСТУ ISO 22000:2019 «Системи керування безпеністю харчових продуктів» та принципів НАССР (Hazard Analysis and Critical Control Points), для виробництва функціонального безалкогольного пива з пробіотичними властивостями проведено аналіз потенційних небезпек та ідентифіковано критичні контрольні точки (ССР). Метою є гарантування безпеки, відповідності вимогам нормативних документів та збереження функціональних (пробіотичних) властивостей готового продукту протягом усього терміну придатності.

Особливістю системи НАССР для даного виробництва є наявність двох специфічних груп ССР, яких не існує у традиційному пивоварінні:

- ССР, пов'язані зі збереженням безалкогольного статусу продукту ($\text{EtOH} \leq 0,5\% \text{ об.}$) — зупинка бродіння є вузьким технологічним вікном, що вимагає безперервного аналітичного контролю;
- ССР, пов'язані зі збереженням КУО пробіотику (*L. paracasei* LAFTI L26 $\geq 10^6$ КУО/мл на кінець терміну придатності) — асептичне введення, мінімальний рівень кисню та температура зберігання є критично важливими.

Основні категорії небезпек, що розглядаються:

									Арк.
									67
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата	162.01.04.00 000 ПЗ				

- мікробіологічні (М) — контамінація патогенами (*E. coli*, *Salmonella*), ди- кою мікрофлорою, небажаними бактеріями у пробіотичній суспензії;
- хімічні (Х) — перевищення вмісту спирту, надмірна гіркота ІВU (веде до пригнічення пробіотику), залишковий кисень (окислення і загибель *L. paracasei*);
- фізичні (Ф) — порушення цілісності фільтруючих елементів, негерметич- на укупорка.

Ідентифіковано 4 Критичні контрольні точки (ССР) та 2 технологічні контрольні точки (ТК). Аналіз небезпек та повний перелік ССР для кожної стадії наведено у табл. 3.6.

Таблиця 3.6 — Аналіз небезпек та критичні контрольні точки виробництва функціонального безалкогольного пива

№	Стадія процесу	Потенційна небезпека	Ти п	ССР?	Кри- тична межа	Моні- торинг	Коригу- вальна дія	Верифі- кація
1	2	3	4	5	6	7	8	9
1	ДР 2.2. Подріб- нення солоду	Невідповід- ний грану- лометрич- ний склад	Фі з.	ні	Круп- на крупка 40– 50%; лущ- пиння $\geq 20\%$ цілого; пил $< 20\%$	Сито- аналіз — кож- на варка	Регулю- вання за- зору ва- льців	Щоміся- чна пе- ревірка вальців
3	ТП 3.1 Зати- рання	Неповне оцукрення крохмалю	Хі м.	ні	Йодна проба — не- гатив- на; t 70– 72°C \times 20–25 хв	Йодна проба — кож- на вар- ка; тер- мометр online	Подов- ження оцукрю- вальної паузи	Каліб- рування термо- метрів 1×/місяц ь

Продовження таблиці 3.6

1	2	3	4	5	6	7	8	9
		Відхилення рН затору	Хім .	ні	рН 5,2–5,6	рН-метр — кожна варка	Коригування молочною кислотою	Атестація рН-метра щомісяця
4	ТП 3.3 Кип'ятіння сусла з хмелем	Недостатня стерилізація / ДМС	Мікр./хім.	ні	t = 100°C; τ ≥ 60 хв; випаров. 8–10%	Термометр + таймер online — кожна варка	Кип'ятіння продовжити до норми	Мікробіол. аналіз охоложеного сусла
		Надлишкова гіркота (IBU > 18) — ризик для <i>L. paracase i</i>	Хім .	ТК	IBU 12–18 (норма за давання хмелю суворо за рецептом)	Зважування хмелю ±0,01 кг — кожна варка; IBU-розрахунок	Перерахунок дози. При IBU > 20 — збільшити буферний обсяг або зменшити хміль наступної варки	Спектрофотометрія IBU (275 нм) — кожна варка
5	ТП 4. Бродиння	Перевищення вмісту алкоголю (EtOH > 0,5% об.)	Хім .	СС Р 1	EtOH ≤ 0,5% об. (підтверджено ГРХ); атенюація 25–30%; FG 1,030–1,034	ГРХ-аналіз EtOH кожні 8 год; рефрактометрія густини кожні 4 год	Термінове охолодження до 0–2°C; видалення дріжджів; лабораторне підтвердження; зупинка партії при EtOH > 0,55%	Щоквартальна валідація ГРХ-методу; зовнішній аудит

Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата

162.01.04.00 000 ПЗ

Арк.

69

Продовження таблиці 3.6

1	2	3	4	5	6	7	8	9
		Контамінація сторонньою мікрофлорою під час бродіння	Мікр.	ні	Відсутність дикої мікрофлори; рН 4,0–4,4	Мікроскопія дріжджів; мікробіол. посів на 3-й день	Партія включається; ЦКА — позачергова СІР	Перевірка СІР-протоколів після кожної санації
6	ТП 5. Фільтрація (0,45 мкм)	Порушення цілісності мембрани	Мікр.	ні	Тест «bubble point» — відповідає нормі виробника	Bubble point тест — перед кожною фільтрацією	Заміна картриджу; повторна фільтрація	Контроль журналу заміни картриджів
		Надмірний вміст O ₂ після фільтрації — ризик для <i>L. paracasei</i>	Хім.	ТК	Розчинений O ₂ ≤ 0,05 мг/л	DO-meter — після кожної фільтрації	Додаткова деаерація; промивання CO ₂	Атестація DO-meter щомісяця
7	ТП 6. Введення пробіотичної культури	Недостатня початкова концентрація КУО	Мікр.	СС Р 2	КУО ≥ 10 ⁷ /мл після введення (день 0)	Висів на MRS-агар день 0 — кожна серія	Повторна суспензія / збільшення дози. Партія на карантин до підтвердження КУО	Валідація методу висіву; перевірка термостату

Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата

162.01.04.00 000 ПЗ

Арк.

70

1	2	3	4	5	6	7	8	9
		Контамінація сторонньою мікрофлорою при введенні	Мікр.	СС Р 2	Відсутність сторонньої мікрофлори (висів на загальний агар); цілісність фільтра 0,2 мкм	Перепад тиску на фільтрі 0,2 мкм — до та після введення; мікробіол. змив з Tri-Clamp	Зупинка. Заміна фільтра. СІР лінії введення. Утилізація партії при підтвердженні контамінації	Щотижневий аудит асептичних з'єднань; перевірка СІР-протоколу
8	ТП 8. Наповнення та укупорювання	Надмірний вміст O ₂ у пляшці (DO > 50 ppb) — загибель <i>L. paracasei</i>	Хім.	СС Р 3	DO у тарі ≤ 50 ppb після укупорювання	DO-meter в лінії розливу — кожна серія (перші 5 пляшок + вибірково)	Регулювання протитиску CO ₂ ; повернення на карантин; аналіз причини	Щоквартальна валідація розливного автомату
		Негерметична укупорка	Фіз.	ні	100% герметичність (тест занурення)	Вибірковий тест 1% партії — кожна серія	Перенастройка укупорювача; відбракування	Щомісячний техогляд укупорювального автомату
9	Зберігання готового продукту	t > 8°C — швидка загибель <i>L. paracasei</i> ; КУО < 10 ⁶ /мл до кінця терміну	Мікр.	СС Р 4	Температура зберігання 2–6°C протягом усього терміну придатності (30 діб)	Термологери в холодильних камерах — безперервно; протокол темпе-	При t > 8°C понад 2 год — партія на додаткові мікробіол. тести (КУО). При КУО < 10 ⁶ /мл	Мікробіол. контроль зберігання: день 0, 7, 15, 30 (висів на MRS-агар)

Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата

1	2	3	4	5	6	7	8	9
						ратурно-го журналу	— утилізація	

Примітка: ССР — Критична контрольна точка; ТК — Технологічна контрольна точка; «ні» — небезпека контролюється операційними передумовними програмами (PRPs).

Детальна характеристика кожної ССР із зазначенням контрольованих параметрів, критичних меж та методів контролю наведена у таблиці 3.7.

Таблиця 3.7 — Детальна характеристика критичних контрольних точок виробництва

Номер	Критичні точки (критичні стадії, операції)	Критичні параметри і критичні характеристики якості	Одиниця виміру	Критерій прийнятності
1	2	3	4	5
ССР 1	ТП 4. Бродіння	Вміст етанолу	% об.	$\leq 0,5$ % об. — абсолютна межа (ДСТУ 3888:2015, категорія «безалкогольне»)
		Атенюація дійсна	%	25–30 % (зупинка при досягненні верхньої межі)
		Температура бродіння	°С	14–16 °С \pm 0,5 °С (відхилення $>$ +2 °С прискорює ферментацію)
ССР 2	ТП 6. Введення пробіотичної культури	КУО <i>L. paracasei</i> LAFTI L26 (день 0)	КУО/мл	$\geq 10^7$ КУО/мл безпосередньо після введення
		Цілісність стерилізуючого фільтра 0,2 мкм	бар	Перепад тиску відповідає специфікації виробника фільтра (bubble point тест)

1	2	3	4	5
		Мікробіологічна чистота лінії введення	КУО/мл	Стороння мікрофлора: відсутня (змиви з Tri-Clamp перед введенням)
		Температура продукту при введенні	°C	1–4 °C (вища t прискорює загибель клітин)
ССР 3	ТП 8. Наповнення та укупорювання	Залишковий O ₂ у тарі (DO)	ppb	DO ≤ 50 ppb після укупорювання (критично для виживаності <i>L. paracasei</i>)
		Тиск CO ₂ протитиску при розливі	бар	Противотиск ≥ тиск насичення CO ₂ при t розливу (0,6–0,8 бар при 1–4°C)
ССР 4	Зберігання готового продукту	Температура зберігання	°C	2–6 °C протягом усього терміну придатності (30 діб). Перевищення t прискорює загибель <i>L. paracasei</i>
	КУО <i>L. paracasei</i> LAFTI L26 протягом зберігання	Динаміка КУО	КУО/мл	≥ 10 ⁷ КУО/мл (день 0); ≥ 10 ⁶ КУО/мл (день 30) — мінімальна ефективна доза ISAPP
	Зберігання	pH готового продукту	—	4,0–4,4 (нижчий pH прискорює загибель пробіотику; вищий — ризик мікробного росту)

Примітка: ССР 1 — зупинка бродіння; ССР 2 — введення пробіотику; ССР 3 — розлив (DO); ССР 4 — зберігання (КУО).

Опис критичних контрольних точок

ССР 1 — Зупинка бродіння (контроль EtOH ≤ 0,5 % об.). Це найбільш специфічна та найважча у реалізації ССР даної технології. *S. cerevisiae* S-04 є активним штамом, здатним зброджувати сусло до 5–6 % об. алкоголю в нормальних умовах. Вікно зупинки (атенюація 25–30 %) надзвичайно вузьке:

									Арк.
									73
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата	162.01.04.00 000 ПЗ				

відставання рішення про зупинку навіть на 4–6 год може призвести до перевищення 0,5 % об. алкоголю і технологічного браку. Тому контроль проводиться двома паралельними методами: рефрактометрія (швидкий скринінг кожні 4 год) та ГРХ-аналіз (абсолютний метод, кожні 8 год). Коригувальна дія — термінове охолодження до 0–2 °С та видалення дріжджів через кінцеве дно ЦКА.

ССР 2 — Асептичне введення *L. paracasei* LAFTI L26. Ця ССР є принципово новою відносно традиційного пивоварства і включає контроль трьох параметрів одночасно: початкова концентрація КУО ($\geq 10^7$ /мл), цілісність стерилізуючого фільтра 0,2 мкм та мікробіологічна чистота асептичних з'єднань. Порушення будь-якого з них може призвести або до недостатнього вмісту пробіотику (невідповідність заявленому функціональному ефекту), або до контамінації партії сторонньою мікрофлорою. Критично важливо, що перевірка КУО проводиться після введення (день 0), а не після зберігання — що дозволяє виявити брак на ранньому етапі.

ССР 3 — Контроль DO при розливі (≤ 50 ppb). Молекулярний кисень є одним із головних факторів загибелі *L. paracasei* у готовому продукті: навіть при 4 °С концентрація DO > 100 ppb спричиняє зниження КУО на 1–2 log протягом 7 діб. Ізобаричний розлив з противотиском CO₂ є основним технологічним заходом мінімізації поглинання кисню. Норма ≤ 50 ppb встановлена на основі даних Chan et al. (2019) про виживаність LAFTI L26 у закритій тарі.

ССР 4 — Температура та КУО при зберіганні (2–6 °С; $\geq 10^6$ КУО/мл). Підвищення температури навіть до 8–10 °С знижує термін виживаності *L. paracasei* у пиві з 30 до 7–10 діб. Безперервна реєстрація температури термолігером з аварійним сигналом при $t > 8$ °С є обов'язковою. Моніторинг КУО у 4 контрольних точках (день 0, 7, 15, 30) дозволяє підтвердити функціональну придатність кожної партії протягом усього терміну придатності.

Таким чином, система НАССР для виробництва функціонального безалкогольного пива з пробіотичними властивостями включає 4 ССР та 2 ТК, що охоплюють усі критичні стадії від бродіння до кінця терміну придатності.

									Арк.
									74
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата					

Ключовою особливістю є інтеграція контролю EtOH (ССР 1) та контролю КУО пробіотику (ССР 2, 4) в єдину систему, що не має аналогів у стандартному пивоварстві та вимагає відповідного технічного оснащення (ГРХ, DO-meter, MRS-агар, термолігери) та кваліфікованого мікробіологічного персоналу.

3.6 Екологічні аспекти виробництва

У рамках кваліфікаційної роботи проведено аналіз екологічних аспектів технологічного процесу виробництва функціонального безалкогольного пива з пробіотичними властивостями. Аналіз охоплює ідентифікацію відходів виробництва, технологічних викидів і стічних вод, а також рекомендації щодо їх утилізації, знешкодження та використання як вторинної сировини. Екологічні заходи відповідають вимогам ДСТУ ISO 14001:2015 «Системи екологічного управління», Закону України «Про охорону навколишнього природного середовища» та ДСанПіН 2.2.4-171-10.

Виробництво пива належить до харчової галузі з відносно низьким рівнем промислового навантаження на довкілля, однак генерує специфічні органічні відходи з високим вмістом вологи та поживних речовин (дробина, дріжджовий осад), а також значний об'єм стічних вод від СІР-мийки. Розраховані нижче показники базуються на матеріальному балансі серії 1000 л та річній продуктивності 100 серій (100 000 л/рік).

3.6.1 Перелік та характеристика відходів виробництва

Виробництво функціонального безалкогольного пива генерує тверді відходи, стічні води та газові викиди, що утворюються на різних стадіях технологічного процесу. Детальна характеристика кожного виду відходу, клас небезпеки, кількість та метод утилізації наведені у табл. 3.8.

									162.01.04.00 000 ПЗ	Арк.
										75
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата						

Таблиця 3.8 — Характеристика відходів, стічних вод та газових викидів виробництва

№	Вид відходу / викиду	Клас небезпеки	Кількість на серію	Кількість на рік (100 серій)	Стадія утворення	Метод утилізації / знешкодження
1	2	3	4	5	6	7
ТВЕРДІ ВІДХОДИ						
1	Пивна дробина волога (43 % СР)	IV	101 кг	10 100 кг	ТП 3. Фільтрація затору	Передача фермерам як кормова добавка (ВРХ, свині) або компостування; альтернатива — біогаз (~100 м ³ /т)
2	Гарячий труб (хмельовий осад + коагульовані білки)	IV	8 кг	800 кг	ТП 4–5. Кип'ятіння, вірпул	Компостування разом з дробиною; органічне добриво
3	Дріжджовий осад (слурі)	IV	4 кг	400 кг	ТП 7. Бродіння (конус ЦКА)	Повторне використання (1–2 цикли після мікробіол. перевірки); надлишок — корм або біогаз
4	Відпрацьований кізельгур з осадом	IV	22 кг	2 200 кг	ТП 9. Фільтрація (кізельгур)	Утилізація на полігоні (IV клас); розгляд заміни на картриджну систему для виключення кізельгуру

Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата

1	2	3	4	5	6	7
5	Відпрацьовані мембранні картриджі (0,45 мкм)	IV	~0,5 кг / 50 серій	~1 кг	ТП 9. Мікрофільтрація	Утилізація як побутове сміття (IV клас); за можливості — переробка PES-пластику
6	Відходи упаковки (браковані пляшки, кришки, етикетки)	IV	~2 кг	~200 кг	ТП 12. Розлив	Роздільний збір: скло — склобій, метал — вторсировина, папір — макулатура
РІДКІ ВІДХОДИ (СТІЧНІ ВОДИ)						
7	СІР-стічні води (луг, кислота, промивні води)	III	~1000 л	~100 м ³	ДР 1, всі стадії СІР	Нейтралізація кислоти та луку в змішувальному баку до рН 6,5–8,5; скид у міську каналізацію (ДСанПіН)
8	Виробничі стічні води (промивання обладнання, залишки пива)	IV	~200 л	~20 м ³	ТП 3, 9, 12 (втрати при розливі)	БСК ₅ ≤ 500 мг/л → скид у каналізацію; при перевищенні — аеробний біологічний доочищувач
9	Гліколевий розсол (відпрацьований або при аварії)	III	≤ 5 л/рік (аварія)	≤ 5 л	Холодильний контур	Збір у герметичну ємність; передача спеціалізованому підприємству-утилізатору
ГАЗОВІ ВИКИДИ						
10	СО ₂ метаболічний (від бродиння)	IV (не токс.)	10,2 кг	1 020 кг	ТП 7. Бродиння	Вентиляція бродильного відділення; перспектива — система рекуперації СО ₂ (стиснення, очищення, зберігання)

Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата

1	2	3	4	5	6	7
11	Водяна пара (випаровування при кип'ятінні)	—	123,3 кг	12 330 кг	ТП 4. Кип'ятіння	Конденсатор парів над котлом; рекуперація теплоти конденсату для підігріву промивної води
12	Аромати (ефіри, альдегіди при кип'ятінні)	IV	слідові	слідові	ТП 4. Кип'ятіння	Вентиляція з витяжним коробом; вугільний фільтр-адсорбер при необхідності

Класи небезпеки відходів — згідно з ДК 005-96 «Класифікатор відходів»; кількості — розраховані з матеріального балансу.

3.6.2 Водний баланс виробництва

Пивоварне виробництво є водосємним: питоме водоспоживання визначає екологічне навантаження на систему водопостачання та каналізацію. Для даного виробництва водний баланс розраховано на основі матеріального балансу та технологічних норм.

Таблиця 3.9 — Водний баланс виробництва функціонального безалкогольного пива

№	Стаття водного балансу	Об'єм на серію, л	Об'єм на рік (100 серій), м ³	Примітка
1	2	3	4	5
СПОЖИВАННЯ				
1	Вода для затирання (машвода)	465	46,5	Підготовлена (зворотний осмос)
2	Вода для промивання дробини (спаржування)	860	86,0	Підготовлена (зворотний осмос)
3	Вода для СІР-мийки (сумарно)	1000	100,0	Водопровідна; СІР-цикл ~500 л/апарат × 2
4	Вода на підготовку дріжджів (регидратація)	5	0,5	Стерильна

1	2	3	4	5
5	Вода на охолодження (через ТО, поповнення контуру)	1685	168,5	Гліколевий контур замкнений; доповнення ~5 %
6	Вода господарська (санітарія приміщень, персонал)	200	20,0	Побутова
	Разом споживання:	4 215 л	421,5 м³	
СКИДИ / ПОВЕРНЕННЯ				
7	СІР-стічні води (після нейтралізації)	~1000	~100,0	pH 6,5–8,5; БСК ₅ < 500; скид у каналізацію
8	Виробничі стічні води (залишки пива, промивка)	~200	~20,0	БСК ₅ < 500; скид у каналізацію
9	Водяна пара (випаровування при кип'ятінні)	123,3 кг	12,3 т	Безповоротні втрати
10	Конденсат пари (рекуперація)	~80 л	~8,0 м³	Повернення для підігріву машводи
	Питоме водоспоживання (на 1 л пива):	4,22 л/л	<i>(норма для малих броварень: 4–6 л/л)</i>	

Розраховано на основі матеріального балансу та норм водоспоживання для пивоварень.

Питоме водоспоживання для даного виробництва становить 4,22 л води на 1 л готового пива, що знаходиться у нижній межі норми для малотоннажних пивоварень (4–6 л/л). Це досягається за рахунок: 1). застосування зворотного осмосу лише для варильної води, а не для СІР (економія ~20 % споживання); 2). замкненого гліколевого контуру охолодження без втрат холодоносія; 3). рекуперації конденсату пари над котлом.

3.6.3 Газові викиди та заходи зниження

Основними газовими викидами є: CO₂ метаболічного походження (від бродіння), водяна пара (випаровування при кип'ятінні) та слідові кількості летких органічних сполук (ефіри, альдегіди) від кип'ятіння та бродіння.

					162.01.04.00 000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		79

CO₂ від бродіння: 10,2 кг на серію = 1020 кг/рік (1,02 т/рік). Метаболічний CO₂ є чистим харчовим продуктом і може бути рекуперований для повторного використання при карбонізації пива. Стислий CO₂ після стиснення та очищення через активоване вугілля відповідає вимогам ДСТУ EN ISO 13509. Рекуперація ~80 % метаболічного CO₂ дозволить знизити закупівлі харчового CO₂ із 5,5 кг/серію до ~1,1 кг/серію.

Водяна пара: 123,3 кг/серію (12 330 кг/рік) — безповоротні втрати при кип'ятінні. Тепловміст пари при 100 °С: $r = 2261$ кДж/кг. Загальний тепловміст парів: $123,3 \times 2261 = 278\,791$ кДж/серію = 27,9 ГДж/рік. Рекуперація конденсату над котлом дозволяє утилізувати ~30 % теплоти та підігрівати воду спаржування з 20 °С до 40–50 °С.

Усі газові викиди виводяться через систему вентиляції бродильного та варильного відділень. Рівень летких органічних сполук (ЛОС) від пивоварного виробництва є незначним і не перевищує гранично допустимих концентрацій (ГДК) у робочій зоні за ДСТУ EN 689.

3.6.4 Порівняльний аналіз екологічних переваг безалкогольного пива.

Виробництво безалкогольного пива має ряд додаткових екологічних переваг порівняно зі стандартним алкогольним пивом:

– Менший об'єм органічних відходів: зупинка бродіння при атенюації 25–30 % означає менше зброджених цукрів, меншу біомасу дріжджів і менше CO₂ метаболічного — порівняно з повним бродінням, дріжджового осаду утворюється ~40 % від стандартного.

– Відсутність термічної деалкоголізації: не застосовується вакуумна дистиляція (висока енергоємність, ~200 кВт·год/м³ пива), що знижує споживання електроенергії та відповідні викиди CO₂.

– Менший термін зберігання (30 діб при 2–6 °С): скорочення логістичного ланцюга та транспортних викидів; виключення консервантів та стабілізаторів.

									162.01.04.00 000 ПЗ	Арк.
										80
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата						

– Пробиотична культура *L. paracasei* LAFTI L26 (ліофілізат): 50 г/серію — мінімальна кількість, не генерує значних відходів; упаковка ліофілізату піддається переробці.

3.6.5 Рекомендації щодо управління відходами та поводження з продукцією.

З метою мінімізації негативного впливу виробництва на навколишнє середовище та відповідності принципам сталого розвитку і циркулярної економіки пропонується комплекс першочергових заходів, наведених у табл. 3.10.

Таблиця 3.10 — Пріоритетні екологічні заходи та їх очікуваний ефект

№	Напрямок	Захід	Очікуваний ефект	Нормативна база
1	2	3	4	5
1	Дробина (10 100 кг/рік)	Укласти договір з фермерськими господарствами на реалізацію вологої дробини як кормової добавки (ВРХ, свині); при надлишку — компостування	Зменшення відходів на ~100 %; дохід від реалізації; відповідність принципам циркулярної економіки	Закон України «Про відходи» (2022); ДСТУ ISO 14001:2015
2	CO₂ ферментації (1 020 кг/рік)	Встановити систему рекуперації CO ₂ : компресор + стиснення + зберігання у балонах → повторне використання для карбонізації пива	Зменшення закупівель CO ₂ на ~80 %; зниження парникових викидів; економія ~4000–6000 грн/рік	ДСТУ EN ISO 13509; «Зелений курс» для малих підприємств
3	Стічні води СІР (100 м³/рік)	Встановити нейтралізаційний бак (500 л) для змішування кислотних та лужних потоків до рН 6,5–8,5 перед скидом у міську каналізацію	Відповідність ДСанПіН 2.2.4-171-10; уникнення штрафів; нейтралізація ~100 % СІР-потоків	ДСанПіН 2.2.4-171-10; ВКЗ 3.1.4-01-95 (скиди у каналізацію)

1	2	3	4	5
4	Водяна пара (12 330 кг/рік)	Встановити теплообмінник-рекуператор над сушварним котлом для утилізації теплоти пари та підігріву промивної води спаржування	Зниження споживання пари на ~15–20 %; економія теплоносія ~30 кДж/кг; скорочення викидів	"Зелений курс"; ДСТУ ISO 50001:2014 (енергоменеджмент)
5	Кіпельгур (2 200 кг/рік)	Розглянути перехід на кіпельгур-free фільтрацію (мультикартриджна система або тангенціальна мікрофільтрація) у перспективі	Виключення твердого нефільтрованого відходу; покращення санітарних умов; зменшення витрат на утилізацію	Директива ЄС 2008/98/ЄС; ДСТУ ISO 14001
6	Загальна екологічна стратегія	Отримати сертифікат ДСТУ ISO 14001:2015 (СЕМ); впровадити облік і звітність щодо відходів, стічних вод та викидів; навчання персоналу з екологічних норм	Підтвердження екологічної відповідальності; доступ до «зелених» ринків ЄС; зменшення регуляторних ризиків	ДСТУ ISO 14001:2015; Закон України «Про охорону навколишнього природного середовища»

Складено відповідно до ДСТУ ISO 14001:2015, Закону України «Про відходи» та принципів циркулярної економіки.

3.6.6 Розрахунок питомого утворення відходів.

Для оцінки екологічного навантаження розраховано питомі показники утворення відходів на одиницю готового продукту:

$$q_{\text{дробина}} = 101 \text{ кг} / 1000 \text{ л} = 0,101 \text{ кг/л} \quad (\text{або } 101 \text{ кг/гЛ})$$

$$q_{\text{СІР}} = 1000 \text{ л} / 1000 \text{ л} = 1,00 \text{ л/л} \quad (\text{стічні СІР-води})$$

$$q_{\text{CO}_2} = 10,2 \text{ кг} / 1000 \text{ л} = 0,0102 \text{ кг/л} \quad (\text{потенціал рекуперації: } 8,16 \text{ кг/л})$$

Питоме водоспоживання 4,22 л/л та питомі відходи 0,101 кг/л дробини відповідають кращим практикам малих крафтових пивоварень Європи (дро-

бина 0,09–0,12 кг/л; вода 4–6 л/л). Ці показники можуть бути покращені за провадженням системи рекуперації CO₂ та рекуперації тепла від котла.

Отже, виробництво функціонального безалкогольного пива з пробіотичними властивостями характеризується помірним екологічним навантаженням, притаманним малотоннажному пивоварінню. Основними джерелами впливу є органічні тверді відходи (дробина 10 100 кг/рік, кізельгур 2 200 кг/рік), СІР-стічні води (100 м³/рік) та метаболічний CO₂ (1 020 кг/рік). Пріоритетними заходами є: 1). реалізація дробини фермерам; 2). рекуперація CO₂ від бродіння; 3). нейтралізація СІР-стоків; 4). рекуперація теплоти конденсату котла. Впровадження цих заходів у поєднанні з сертифікацією за ДСТУ ISO 14001:2015 забезпечить відповідність підприємства принципам сталого розвитку та вимогам ринків ЄС.

					162.01.04.00 000 ПЗ	Арк.
						83
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

ВИСНОВКИ

1. Проведено аналітичний огляд ринку безалкогольного пива, концепції функціональних харчових продуктів та сучасних технологічних підходів до виробництва безалкогольного пива. Обґрунтовано перспективність поєднання методу контрольованого обмеженого бродіння з постбродильним асептичним внесенням пробіотиків.
2. Охарактеризовано готовий продукт, сировину, матеріали та біологічні об'єкти виробництва (*Saccharomyces cerevisiae* S-04 і *Lactocaseibacillus paracasei* LAFTI L26). Розроблено схему біосинтезу функціонального безалкогольного пива з пробіотичними властивостями.
3. Виконано розрахунок матеріального балансу на серію 1000 л готового продукту, визначено витратні коефіцієнти та виробничі втрати.
4. Розроблено технологічну схему виробництва, обґрунтовано вибір і розраховано основне та допоміжне обладнання, зокрема два циліндро-конічних бродильних апарати по 1000 л.
5. Визначено критичні контрольні точки виробництва (НАССР), з акцентом на контроль вмісту етанолу ($\leq 0,5$ % об.), збереження КУО пробіотику ($\geq 10^6$ КУО/мл) та асептичні умови.
6. Проаналізовано екологічні аспекти виробництва, розраховано водний баланс, кількість відходів та запропоновано заходи щодо їх мінімізації та утилізації.
7. Розроблена технологія є інноваційною, економічно доцільною для малотоннажного виробництва та відповідає сучасним вимогам функціонального харчування.

					162.01.04.00 000 ПЗ	Арк.
						84
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

- 10.Improvement strategies cost effective production and potential applications of fungal glucose oxidase (GOD): Current Updates / M. K. Dubey et al. *Current updates Frontiers in Microbiology*. 2017. Vol. 8. P. 1032. DOI: 10.3389/fmicb.2017.01032.
- 11.Jackowski M., Trusek A. Non-alcoholic beer production an overview. *Polish Journal of Chemical Technology*. 2018. Vol. 20(4). P. 32–38. DOI: 10.2478/pjct-2018-0051.
- 12.Klimczak K., Cioch-Skoneczny M. Changes in beer bitterness level during the beer production process. *European Food Research and Technology*. 2023. Vol. 249(1). P. 13–22. DOI: 10.1007/s00217-022-04154-0.
- 13.Sour Beer with Lacticaseibacillus paracasei subsp. Paracasei F19: Feasibility and Influence of Supplementation with Spondias mombin L. Juice and/or By-Product / A. B. Praia et al. *Foods*. 2022. Vol. 11(24). P. 4068. DOI: 10.3390/foods11244068.
- 14.Beer for live microbe delivery: Challenges and opportunities / M. Ramanan et al. *Journal of Functional Foods*. 2024. Vol. 112. P. 105987. DOI: 10.1016/j.jff.2023.105987.
- 15.Beer with Probiotics: Benefits and Challenges of Their Incorporation / D. Santos et al. *Beverages*. 2024. Vol. 10(4). P. 109. DOI: 10.3390/beverages10040109.
- 16.Walker G. M., Stewart G. G. Saccharomyces cerevisiae in the Production of Fermented Beverages. *Beverages* 2016. Vol. 2(4). P. 30–42. DOI: 10.3390/beverages2040034.
- 17.Бліщ Р. О., Петришин Н. З. Енергозберігаючі технології приготування пивного сусла. *Вісник ЛТЕУ. Технічні науки*. 2021. № 28. С. 13–17. DOI: 10.36477/2522-1221-2021-28-02.
- 18.Бліщ Р. О. Технологічні аспекти одержання функціонального пива. *Вісник ЛТЕУ. Технічні науки*. 2023. № 33. С. 33–39. DOI: 10.36477/2522-1221-2023-33-05.

- 19.Бліщ Р. О. Аналіз ризиків та критичних контрольних точок (НАССР) при виробництві пива нефільтрованого. *Вісник ЛТЕУ. Технічні науки*. 2024. № 39. С. 31–37. DOI: 10.32782/2522-1221-2024-39-04.
- 20.Домарецький В. А. Технологія солоду та пива : підручник. Київ : Інкос, 2004. 426 с.
- 21.ДСТУ 3769-98. Ячмінь. Технічні умови. З Поправкою (ПС № 6-99). Чинний від 01.12.98. Київ : Держстандарт України, 1998. 17 с.
- 22.ДСТУ 3888:2015. Пиво. Загальні технічні умови. Введ. 2015–5–28. Київ : УкрНДНЦ, 2015. 13 с.
- 23.ДСТУ 4282:2004. Солод пивоварний ячмінний. Загальні технічні умови. Чинний від 01.12.04. Київ : Державний стандарт України, 2007. 7 с.
- 24.ДСТУ 7067:2009. Хміль. Технічні умови. Чинний від 01-07-2011. Київ : Держспоживстандарт України, 2010. 16 с.
- 25.ДСТУ ГОСТ 2.612:2014. Єдина система конструкторської документації. Електронний формуляр. Загальні вимоги. (ГОСТ 2.612-2011, IDT). Офіц. вид. Вперше ; чинний від 2014-11-01. Київ : Мінекономрозвитку України, 2014. 47 с.
- 26.Методичні рекомендації до виконання кваліфікаційної роботи бакалавра для здобувачів вищої освіти спеціальності 162 «Біотехнології та біоінженерія» ОП «Біотехнологія» / О. С. Калюжная та ін. Харків : НФаУ, 2024. 128 с.
- 27.Пивна та хмелева галузі України: кон'юнктура та інтеграція / Т. Ю. Приймачук та ін. *Вісник аграрної науки*. 2018. № 4(781). С. 61–67.
- 28.ДСТУ 4658-2019. Солод пивоварний пшеничний. Загальні технічні умови. Чинний від 12-08-2019. Київ : Держспоживстандарт України, 2019. 35 с.
- 29.Піваров О. А., Ковальова О. С., Кошулько В. С. Інноваційні технології та обладнання бродильних виробництв : навч. посіб. Дніпро : ФОП Обдимко О. С., 2025. 396 с. URL:

										162.01.04.00 000 ПЗ	Арк.
											87
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата							

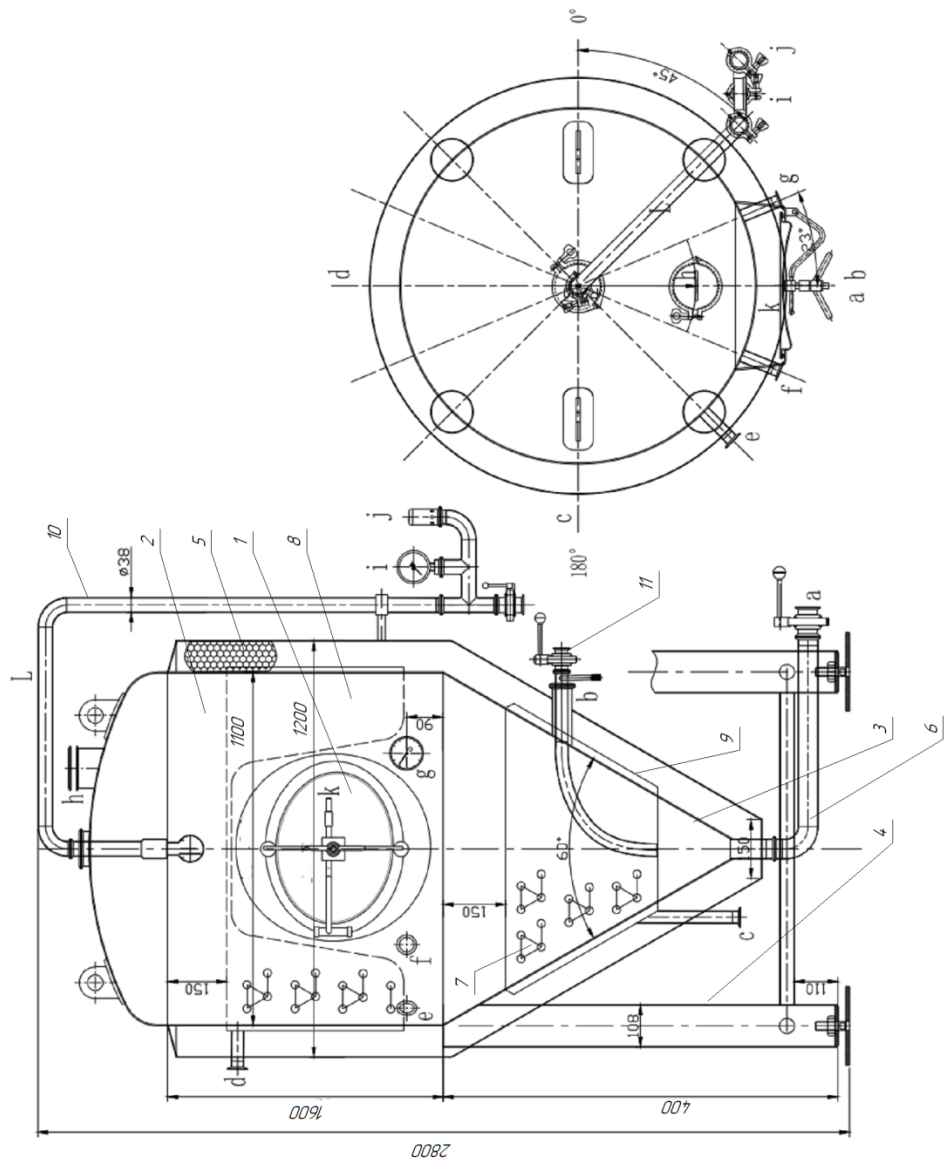
<https://dspace.dsau.dp.ua/handle/123456789/11832> (дата звернення:
15.01.2026).

30. Чорний В. В., Хом'як С. В. Технології виробництва, сучасні дослідження український ринок кислого пива та пива спонтанного бродіння. *Хімія, технологія речовин та їх застосування*. 2024. Т. 7, № 2. С. 146–152.

					162.01.04.00 000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		88

ДОДАТКИ

162.0104.00 000 B3



Таблиця шпигерів

Позн.	Найменування	Кільк.	Прокл. умови	Пок. умови
а	Шпигер з лупою	1	ДЦ, мм	Пок. МПа
б	Фланець для під'єднання лупи	1	51	
в	Порт вхідний лупи	1	32	
г	Порт вхідний лупи	1	32	
д	Порт вхідний лупи	1	32	
е	Порт вхідний лупи	1	32	
ж	Шпигер перемішувача	1	32	
з	Шпигер для під'єдн. меху	1	422	
и	Шпигер	1	38	
к	Квадратний вихідний патрубок	1	4.30x330	
л	ДР-орн	1	120	

Характеристика приладу

Загальна висота, мм	1200
Радіус лупи, мм	1200
Радіус патр. концентр./сиромки, МПа	0,3
Радіус перемішувача, мм	0,4-0,7
Матеріал концентр./сиромки	Нерж. сталь АІСІ 304
Матеріал концентр./сиромки	60
Кут концентр. фланца, град.	2 (шпигер концентр.)
Квадрат зовн. вихідн. патр.	4,30 x 330
Радіус лупи (об'єкт), мм	4,30 x 330
Габаритні розміри, мм	Діам. 1200, вис. 2800
Маса, кг	290
Виробник	Міке-Містер, Україна

Перелік складових частин

Знак	Познач.	Найменування	Кільк.	Примітка
1	А/к	Концентр.	1	
2	Концентр.	Концентр. вхідн.	1	
3	Концентр.	Концентр. вхідн.	4	
4	Концентр.	Концентр. вхідн.	1	
5	Концентр.	Концентр. вхідн.	1	
6	Концентр.	Концентр. вхідн.	1	
7	Концентр.	Концентр. вхідн.	1	
8	Концентр.	Концентр. вхідн.	1	
9	Концентр.	Концентр. вхідн.	1	
10	Концентр.	Концентр. вхідн.	1	
11	Концентр.	Концентр. вхідн.	1	

162.0104.00 000 B3	
Штукатурка	110
Кераміка	110
Метал	110
Дерево	110
Пластик	110
Інше	110
Всього	110

162.0104.00 000 B3

МІНІСТЕРСТВО ОХОРОНИ ЗДОРОВ'Я УКРАЇНИ
НАЦІОНАЛЬНИЙ ФАРМАЦЕВТИЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ

**АКТУАЛЬНІ ПИТАННЯ СТВОРЕННЯ
НОВИХ ЛІКАРСЬКИХ ЗАСОБІВ**

МАТЕРІАЛИ
XXXII МІЖНАРОДНОЇ НАУКОВО-ПРАКТИЧНОЇ
КОНФЕРЕНЦІЇ МОЛОДИХ ВЧЕНИХ ТА СТУДЕНТІВ

15–17 квітня 2026 року
м. Харків

Харків
НФаУ
2026

надавалася стандартним поживним середовищам із відносно дорогими компонентами, то сьогодні все частіше використовують доступні джерела вуглецю та азоту, зокрема відходи агропромислового виробництва. Серед них найчастіше згадуються пшеничні висівки, кукурудзяні качани, картопляні лушпайки, яблучні вичавки та інші подібні субстрати.

Окремо варто відзначити зміни у підходах до оптимізації процесу. Замість поступової зміни окремих факторів дедалі частіше застосовують математичні методи, які дозволяють оцінити вплив одразу кількох параметрів. Це дає змогу швидше отримати більш обґрунтовані результати. Крім того, у ряді робіт описано використання режимів культивування з поетапним внесенням поживних речовин, що також позитивно впливає на вихід ферменту.

Цікавим є і напрям досліджень, пов'язаний із ферментами, активність яких не залежить від іонів кальцію. Наприклад, α -амілаза штаму *Bacillus sp.* ВКЛ40 зберігає активність після нагрівання при 60–70 °С і залишається стабільною у широкому діапазоні рН. Такі властивості роблять її зручною для використання в різних технологічних процесах.

Паралельно розвиваються дослідження, спрямовані на отримання штамів із покращеними характеристиками. Йдеться, зокрема, про підвищення термостійкості та ефективності ферментів, що досягається за рахунок генетичних змін продуцентів.

Сфера застосування бактеріальної α -амілази залишається досить широкою. Вона використовується у харчовій промисловості (виробництво сиропів, хлібопекарство, пивоваріння), а також у текстильній, паперовій галузях, при виробництві мийних засобів, біопалива та очищенні стічних вод.

Висновки. Таким чином, можна відзначити, що за останні роки підходи до отримання бактеріальної α -амілази зазнали помітних змін. Сучасні технології орієнтовані на використання доступної сировини, підвищення ефективності процесу та зменшення його впливу на довкілля. При цьому штами роду *Bacillus* і надалі залишаються основними продуцентами, а дослідження у цьому напрямі мають цілком практичне значення для розвитку біотехнології.

ОБґРУНТУВАННЯ ВИБОРУ ПРОБІОТИЧНОГО ШТАМУ ДЛЯ ВИРОБНИЦТВА ФУНКЦІОНАЛЬНОГО ПИВА

Муратов Д.В.

Науковий керівник: Хохленкова Н.В.

Національний фармацевтичний університет, Харків, Україна

hohnatal@gmail.com

Вступ. Розширення асортименту функціональних харчових продуктів є одним із пріоритетних напрямів сучасної харчової біотехнології. Пиво, як традиційний продукт мікробної ферментації, становить перспективну основу для збагачення пробіотичними культурами завдяки наявності поживних речовин, необхідних для підтримки їх життєздатності. Водночас введення молочнокислих бактерій у пивне середовище пов'язане з низкою технологічних труднощів: інгібувальна дія ізомеризованих α -кислот хмелю на грампозитивні мікроорганізми, кисле середовище (рН 3,8–4,5), підвищений вміст CO₂ та обмежений рівень засвоюваного азоту суттєво знижують виживаність пробіотичних культур. У зв'язку з цим вибір штаму, стійкого до зазначених умов і здатного зберігати терапевтично значущу кількість клітин ($\geq 10^6$ КУО/мл) у готовому продукті, є принциповим завданням при розробленні технології функціонального пива.

Мета дослідження. Провести порівняльний аналіз пробіотичних культур молочнокислих бактерій та обґрунтувати вибір штаму як основного пробіотичного компонента для розроблення технології функціонального пива.

Матеріали та методи. Проведено систематичний аналіз наукової літератури в базах даних PubMed, Web of Science та Scopus за публікаціями 2017–2025 років. Порівняльний аналіз штамів здійснювався за критеріями: стійкість до ізо- α -кислот хмелю, толерантність до етанолу, кількість життєздатних клітин у готовому продукті та наявність клінічно підтверджених пробіотичних властивостей.

Результати дослідження. У ході аналізу розглянуто пробіотичні культури *Lactiplantibacillus plantarum* 299v, *Lacticaseibacillus rhamnosus* GG, *Lactobacillus acidophilus* LA-5, *Pediococcus acidilactici* та *Saccharomyces boulardii* CNCM I-745. Встановлено, що зазначені мікроорганізми мають суттєві обмеження в умовах пивоваріння: недостатня хмелестійкість, чутливість до етанолу або продукція небажаних метаболітів (наприклад, діацетилю), що знижує їх придатність як пробіотичних компонентів пива.

На підставі проведеного аналізу як пробіотичний компонент обрано *Lacticaseibacillus paracasei* LAFTI L26. Штам виділено з кишечника людини, що обумовлює його природну адаптованість до умов шлунково-кишкового тракту. В умовах спільного культивування з *Saccharomyces cerevisiae* S-04 у неохмеленому суслі протягом 10 діб кількість життєздатних клітин перевищувала $8 \log$ КУО/мл, що є найвищим показником серед задокументованих для МКБ у пивному середовищі (Chan et al., 2019). Для штаму підтверджено імуномодулювальну активність: стимуляцію продукції секреторного IgA, підвищення рівня цитокінів IL-10 та IFN- γ , а також посилення фагоцитарної активності макрофагів. Рандомізоване контрольоване клінічне дослідження 2024 року засвідчило позитивний вплив пива, ферментованого спорідненим штамом *L. paracasei* Lpc-37, на склад мікробіому та імунний профіль здорових добровольців.

Висновки. За результатами порівняльного аналізу встановлено, що *Lacticaseibacillus paracasei* LAFTI L26 є найбільш обґрунтованим вибором пробіотичного компонента для функціонального пива. Підтверджена виживаність у пивному середовищі при спільній ферментації з пивними дріжджами, людське походження штаму та клінічно задокументована імуномодулювальна активність визначають його як науково і технологічно виправдане рішення для створення функціонального ферментованого напою з низьким вмістом алкоголю.

ОЦІНКА ФІТОСТИМУЛЮВАЛЬНОЇ АКТИВНОСТІ ШТАМІВ МЕТИЛОТРОФНИХ БАКТЕРІЙ *IN VIVO*

Пронін І.В.

Науковий керівник: Калюжная О.С.

Національний фармацевтичний університет, Харків, Україна
proninigor49@gmail.com

Вступ. Метилотрофні бактерії, зокрема представники роду *Methylobacterium*, є перспективними фітосимбіонтами завдяки їхній здатності колонізувати філоферу та ризосферу рослин, використовувати метанол, що виділяється рослинами в рамках «метанольного циклу», та синтезувати фітогормони (ауксини та цитокініни). Ці мікроорганізми також проявляють азотфіксувальну активність, продукують сидерофори та осмопротектори, що сприяє підвищенню стресостійкості культур і стимуляції їхнього росту.

