

**МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ ХАРЧОВИХ ТЕХНОЛОГІЙ**

**Навчально-науковий інститут харчових технологій
Кафедра біотехнологій продуктів бродіння і виноробства**

«До захисту в ЕК»

Директор ННІХТ

_____ Оксана КОЧУБЕЙ-ЛИТВИНЕНКО
(підпис)

« » червня 2025 р.

«До захисту допущено»

Завідувач кафедри БПБВ

_____ Анатолій КУЦ
(підпис)

« » червня 2025 р.

**КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА
НА ЗДОБУТТЯ ОСВІТНЬОГО СТУПЕНЯ БАКАЛАВРА
із спеціальності 181 «Харчові технології»**

(шифр та назва спеціальності)

освітньо-професійної програми «Харчові технології та інженерія»

на тему: **Проект варильного відділення пивоварного заводу потужністю
8 млн дал на рік з інтенсифікацією технологічних процесів приготування
сусла**

Виконав: здобувач 4 курсу групи ТБ-4-8

ДЯЧЕНКО Микита ВІКТОРОВИЧ _____
(підпис)

**Керівник: доцент,
кандидат технічних наук Анатолій КУЦ**

(підпис)

Рецензент: доцент, кандидат

технічних наук, доцент Олена СУПРУН-КРЕСТОВА _____
(підпис)

Я, як здобувач Національного університету харчових технологій, розумію і підтримую політику університету з академічної доброчесності. Я не надавав і не одержувала недозволеної допомоги під час підготовки цієї роботи. Використання ідей, результатів і текстів інших авторів мають посилання на відповідне джерело.

_____ **Микита ДЯЧЕНКО**
(підпис)

Київ – 2025 р.

НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ ХАРЧОВИХ ТЕХНОЛОГІЙ

Навально-науковий інститут харчових технологій

Кафедра біотехнологій продуктів бродіння і виноробства

Освітній ступінь – «бакалавр»

Спеціальність – 181 «Харчові технології»

Освітня програма – «Харчові технології та інженерія»

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри біотехнології
продуктів бродіння та виноробства
Анатолій КУЦ

30 березня 2025 року

З А В Д А Н Н Я

НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ ЗДОБУВАЧА

Микити ДЯЧЕНКА

1. Тема роботи: Проект варильного відділення пивоварного заводу потужністю 8 млн дал на рік з інтенсифікацією технологічних процесів приготування сусла
Керівник роботи Анатолій КУЦ, к.т.н., доцент

(ім'я, прізвище, науковий ступінь, вчене звання)

затверджені наказом по Університету від 07 квітня 2025 року № 212-КС

2. Строк подання здобувачем роботи 01 червня 2025 р.

3. Вихідні дані до роботи _____

1. Норми технологічного проектування.

2. Матеріали, зібрані під час переддипломної практики.

3. Сировина для виробництва спирту: солод світлий, солод карамельний, солод палений, ячмінь.

4. Передбачити виробництво трьох сортів пива «Класичний Лагер», «Льовенброй Світле» та «Преміум Дарк Брю» з масовими частками сухих у початковому суслі – 12,0%, 11,0% та 10,5% відповідно

4. Зміст пояснювальної записки (перелік питань, які потрібно розробити) Титульний аркуш. Завдання на проектування. Анотація (двома мовами). Зміст. Вступ. 1. Характеристика підприємства та режими його роботи. 2. Обґрунтування асортименту проектованої продукції. 3. Техніко-економічне обґрунтування вибору технології пивного сусла та опис апаратурно-технологічної схеми. 4. Характеристика проектованої продукції, сировини, основних і допоміжних матеріалів. 5. Технологічні розрахунки. 6. Розрахунки площ виробничих та складських приміщень. 7. Розрахунки та підбір технологічного обладнання. 8. Контроль якості та безпеки готової продукції. 9. Система екологічного управління та енерго- і ресурсозбереження. 10. Заходи щодо організації безпечних умов виробництва. Загальні висновки. Список використаної літератури.

5. Перелік графічного матеріалу (з точним значенням обов'язкових креслень)

Апаратурно-технологічна схема – 1 аркуш

План – 1 аркуш

Демонстраційний плакат – 1 аркуш

6. Консультанти розділів роботи

| Розділ | Прізвище, ініціали та посада консультанта | Підпис, дата | |
|--------|---|----------------|------------------|
| | | завдання видав | завдання прийняв |
| | | | |

7. Дата видачі завдання – 08 жовтня 2024 року

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

| № з/п | Назва етапів виконання кваліфікаційної роботи | Строки виконання етапів роботи | Примітка |
|-------|---|--------------------------------|----------|
| 1 | Характеристика підприємства та режими його роботи | 14.04.25-28.04.25 | Виконано |
| 1.1 | Структура підприємства | | |
| 1.2 | Режими його роботи | | |
| 2 | Обґрунтування асортименту проектованої продукції | 29.04.25-13.05.25 | Виконано |
| 3 | Техніко-економічне обґрунтування вибору технології інтенсифікації приготування сусла та опис апаратурно-технологічної схеми | | |
| 3.1 | Принципова технологічна схема | | |
| 3.2 | Техніко-економічний аналіз і вибір технологічних способів та режимів інтенсифікації технологічних процесів приготування сусла | | |
| 3.3 | Опис апаратурно-технологічної схеми | | |
| | 1-а атестація | 14.05.25 | Виконано |
| 4 | Характеристика проектованої продукції, сировини, основних і допоміжних матеріалів | 17.05.25-20.05.25 | Виконано |
| 4.1 | Характеристика проектованої продукції | | |
| 4.2 | Характеристика сировини | | |
| 4.3 | Характеристика основних і допоміжних матеріалів | | |
| 5 | Технологічні розрахунки | 21.05.25-23.05.25 | Виконано |
| 6 | Розрахунки площ виробничих і складських приміщень | | |
| 7 | Розрахунок та підбір технологічного обладнання | | |
| 8 | Викреслювання апаратурно-технологічної схеми | 24.05.25-26.05.25 | Виконано |
| 9 | Оформлення креслення і погодження з керівником | | |
| 10 | Контроль якості та безпечності готової продукції. | 27.05.25-30.05.25 | Виконано |
| 11 | Система екологічного управління та енерго- і ресурсозбереження | | |
| 12 | Заходи щодо організації безпечних умов праці на виробництві | | |
| 13 | Оформлення пояснювальної записки | 11.06.25 – 13.06.25 | Виконано |
| | 2-а атестація | | |
| 13 | Подання роботи в комісію по перевірці на антиплагіат | 13.06.25 | Виконано |
| 14 | Попередній розгляд проекту на кафедрі | 16.06.25 | Виконано |
| 15 | Отримання зовнішньої рецензії і підготовка до захисту в ЕК | | Виконано |
| 16 | Захист роботи в ЕК | Згідно графіку | |

Здобувач

Микита ДЯЧЕНКО

**Керівник роботи, зав. кафедри БПБВ,
кандидат технічних наук, доцент**

Анатолій КУЦ

АННОТАЦІЯ

У кваліфікаційній роботі розроблено проєкт варильного відділення пивоварного заводу потужністю 8 млн дал на рік, спрямований на інтенсифікацію технологічних процесів приготування сусла.

Метою роботи є підвищення ефективності виробництва сусла шляхом впровадження сучасних енерго- та ресурсозберігальних технологій. Для досягнення цієї мети запропоновано комплекс технічних рішень. У роботі розглянуто сучасні способи інтенсифікації: інтенсивне затирання солодового затору, використання фільтр-апарата GEA LAUTERSTAR 2.0, а також система рекуперації тепла EquiTherm. Додатково, для ефективної переробки несоложеної сировини застосовано мультиензимний комплекс Ceremix 2XL, який прискорює оцукрювання та знижує в'язкість затору. Внесення карагану у вірпул забезпечує швидке освітлення гарячого сусла та колоїдної стабільності продукту.

Запропоновані технології дозволили суттєво скоротити час приготування сусла і об'єм промивної води. Енергоефективність варіння підвищено завдяки поверненню значної частини тепла пари на технологічні потреби за системою EquiTherm. Вибір сучасного автоматизованого обладнання та впровадження системи контролю якості з використанням NIR-аналітики в реальному часі забезпечує стабільні фізико-хімічні й органолептичні показники пива.

Запропоновані рішення дозволяють підвищити продуктивність варильного відділення, забезпечують швидку окупність і дотримання суворих екологічних норм. Робота підтверджує практичну доцільність впровадження інтенсивних технологій у пивоварному виробництві та їхню ефективність для енергозбереження й підвищення конкурентоспроможності в сучасних умовах.

Ключові слова: інтенсифікація приготування сусла, затирання солоду, фільтр-апарат, зональні теплообмінники, освітлення з караганом, забезпечення якості, NIR-аналітика, EquiTherm, екологічне управління

| | | | | | | |
|-------|------|----------|--|------|-----------------|------|
| | | | | | Анотація | Арк. |
| Змін. | Лист | № докум. | | Дата | | 4 |

ANOTATION

The qualification work developed a project for the brewing department of a brewery with a capacity of 8 million dal per year, aimed at intensifying the technological processes of wort production.

The aim of the work is to increase the efficiency of wort production by introducing modern energy and resource-saving technologies. To achieve this goal, a set of technical solutions is proposed. The paper describes modern methods of intensification: intensive mashing of malt mash, use of the GEA LAUTERSTAR 2.0 filter apparatus, and the EquiTherm heat recovery system. Additionally, the Ceremix 2XL multi-enzyme complex is used for efficient processing of unmalted raw materials, which accelerates saccharification and reduces mash viscosity. The addition of carrageenan to the wort pulp ensures rapid clarification of the hot wort and colloidal stability of the product.

The proposed technologies allowed to significantly reduce the wort brewing time and the volume of rinsing water. The energy efficiency of the brewing process has been improved by returning a significant part of the steam heat to the process needs using the EquiTherm system. The choice of modern automated equipment and the implementation of a quality control system using real-time NIR analytics ensures stable physicochemical and organoleptic characteristics of beer.

The proposed solutions allow to increase the productivity of the brewing department, provide a quick payback and compliance with strict environmental standards. The work confirms the practical feasibility of introducing intensive technologies in brewing and their effectiveness for energy saving and increasing competitiveness in modern conditions.

Keywords: intensification of wort preparation, mashing of malt, filter apparatus, zone heat exchangers, carrageenan clarification, quality assurance, NIR analytics, EquiTherm, environmental management

| | | | | | | |
|-------|------|----------|--|------|------------------|------|
| | | | | | Anotation | Арк. |
| | | | | | | 5 |
| Змін. | Лист | № докум. | | Дата | | |

ЗМІСТ

| | |
|---|----|
| ВСТУП..... | 7 |
| 1 ХАРАКТЕРИСТИКА ПІДПРИЄМСТВА ТА РЕЖИМИ ЙОГО РОБОТИ... .. | 8 |
| 1.1. Структура підприємства | 9 |
| 1.2. Режими роботи..... | 9 |
| 2 ОБҐРУНТУВАННЯ АСОРТИМЕНТУ ПРОЄКТОВАНОЇ ПРОДУКЦІЇ..... | 10 |
| 3 ТЕХНІКО-ЕКОНОМІЧНЕ ОБҐРУНТУВАННЯ ВИБОРУ ТЕХНОЛОГІЇ ІНТЕНСИФІКАЦІЇ ПРИГОТУВАННЯ СУСЛА ТА ОПИС АПАРАТУРНО-ТЕХНОЛОГІЧНОЇ СХЕМИ | 11 |
| 3.1. Принципова технологічна схема приготування пивного сусла..... | 11 |
| 3.2. Техніко-економічний аналіз і вибір технологічних способів та режимів інтенсифікації технологічних процесів приготування сусла..... | 12 |
| 3.3. Опис апаратурно-технологічної схеми..... | 35 |
| 4 ХАРАКТЕРИСТИКА ПРОЄКТОВАНОЇ ПРОДУКЦІЇ, СИРОВИНИ, ОСНОВНИХ ТА ДОПОМІЖНИХ МАТЕРІАЛІВ..... | 37 |
| 4.1. Характеристика проєктованої продукції..... | 37 |
| 4.2. Характеристика сировини..... | 40 |
| 4.3. Характеристика основних і допоміжних матеріалів..... | 44 |
| 5 ТЕХНОЛОГІЧНІ РОЗРАХУНКИ..... | 46 |
| 5.1. Вихідні дані до розрахунків | 46 |
| 5.2. Продуктові розрахунки..... | 47 |
| 5.3. Розрахунки витрат основних і допоміжних матеріалів | 53 |
| 6 РОЗРАХУНКИ ПЛОЩ ВИРОБНИЧИХ І СКЛАДСЬКИХ ПРИМІЩЕНЬ | 55 |
| 7 РОЗРАХУНКИ ТА ПІДБІР ТЕХНОЛОГІЧНОГО ОБЛАДНАННЯ..... | 56 |
| 8 КОНТРОЛЬ ЯКОСТІ ТА БЕЗПЕЧНОСТІ ГОТОВОЇ ПРОДУКЦІЇ | 60 |
| 8.1. Основи системи управління якості та безпеки харчової продукції... .. | 60 |
| 8.2. Технохімічний і мікробіологічний контроль виробництва та його метрологічне забезпечення | 63 |
| 9 СИСТЕМА ЕКОЛОГІЧНОГО УПРАВЛІННЯ ТА ЕНЕРГО- І РЕСУРСОЗБЕРЕЖЕННЯ..... | 69 |
| 10 ЗАХОДИ ЩОДО ОРГАНІЗАЦІЇ БЕЗПЕЧНИХ УМОВ ПРАЦІ НА ВИРОБНИЦТВІ..... | 75 |
| ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ | 85 |
| СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ | 87 |

| | | | | | | | | | | | | | | | |
|----------|--------------|----------|--------|------|---|--|--|--|--|---------------------------|------|---|--|--|--|
| | | | | | Проект варильного відділення пивоварного заводу потужністю 8 млн дал на рік з інтенсифікацією технологічних процесів приготування сусла | | | | | | | | | | |
| Зм. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата | ПОЯСНЮВАЛЬНА ЗАПИСКА | | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | | | | | | | |
| Розроб | Дяченко М.В. | | | | | | | | | Літ. | Арк. | | | | |
| Перевір. | Куц А.М. | | | | | | | | | Кв | Р | 6 | | | |
| Реценз. | | | | | | | | | | Кафедра БПБВ, 2025 | | | | | |
| Затверд. | Куц А.М. | | | | | | | | | | | | | | |

ВСТУП

Пивоварне виробництво є складним багатостадійним технологічним процесом, від ефективності якого залежать економічні показники підприємства та якість готового пива. У сучасних умовах зростання масштабів виробництва актуальним є питання вдосконалення роботи варильного відділення, зокрема шляхом інтенсифікації процесів приготування сусла. Варильне відділення споживає значну частку ресурсів пивоварні. Відтак упровадження енергоощадних і інтенсивних технологій на цій стадії є надзвичайно важливим як з точки зору зниження витрат та екологічного навантаження, так і для забезпечення стабільно високої якості продукції. Метою роботи є проектування варильного відділення пивоварного заводу з використанням сучасних підходів до інтенсифікації технологічних процесів приготування сусла – з тим, щоб підвищити продуктивність і ресурсоефективність виробництва, мінімізувати втрати і негативний вплив на довкілля, забезпечивши отримання сусла необхідної якості для заданого асортименту пива.

Інтенсифікація полягає в оптимізації режимів і застосуванні прогресивного обладнання на ключових стадіях – затиранні, фільтрації та кип'ятінні сусла. Запропоновані підходи до інтенсифікації варильного відділення – оптимізація режимів затирання, використання сучасного фільтр-апарата при фільтрації затору та впровадження автоматизованого контролю на всіх стадіях – дозволяють комплексно покращити техніко-економічні, енергетичні, екологічні та якісні показники процесу. У результаті очікується підвищення продуктивності виробництва і зниження собівартості пива завдяки економії ресурсів, скорочення тривалості циклу варки та збільшення виходу готового продукту. Запропоновані рішення базуються на сучасних науково-технічних розробках і передовому досвіді світових пивоварень. Багато провідних пивоварних компаній впроваджують подібні заходи інтенсифікації – від автоматизованих фільтр-апаратів до систем рекуперації енергії при варці – з метою підвищення ефективності виробництва. Це підтверджує актуальність обраної теми і практичну значемість проведеного літературного аналізу. Таким чином, реалізація проекту варильного відділення на 8 млн дал/рік з інтенсифікацією процесів приготування сусла сприятиме прогресивному розвитку підприємства, забезпечуючи конкурентоспроможність продукції на ринку за рахунок поєднання економічної вигоди, екологічної безпечності та відмінної якості пива.

Пояснювальна записка викладена на 92 сторінках формату А4 друкованого тексту.

Графічний матеріал оформлено на 3 аркушах формату А1, на яких подані апаратурно-технологічну схему, плани відділення і демонстраційний плакат.

| | | | | | | |
|-------|------|----------|--|------|-------|------|
| | | | | | Вступ | Арк. |
| | | | | | | 7 |
| Змін. | Лист | № докум. | | Дата | | |

1 ХАРАКТЕРИСТИКА ПІДПРИЄМСТВА ТА РЕЖИМИ ЙОГО РОБОТИ

1.1 Структура підприємства

Організаційна структура пивоварного заводу формується з урахуванням технологічної специфіки основного виробництва, підтримуючих процесів і вимог до якості, екологічної безпеки та ефективності управління. Для підприємства середньої потужності характерна матрично-лінійна структура, що поєднує чітку вертикаль підпорядкування з функціональною взаємодією між відділами.

Основу структури складає виробничий кластер, який включає варильне, зброджувальне, доброджувальне, фільтраційне та розливне відділення. Підрозділи взаємодіють з відділами постачання, контролю якості, охорони праці, маркетингу та екології — що дозволяє досягати високих стандартів безперервної якості та сталого розвитку.

На відміну від класичної організації, сучасні пивоварні структури інтегрують енергоменеджмент, екологічний контроль і цифрову логістику безпосередньо у виробничі цикли. Подібний підхід запроваджено, зокрема, на пивоварнях Carlsberg та Heineken. Зведену характеристику структури підприємства наведено в таблиці 1.1.

Таблиця 1.1 – Організаційна структура виробництва

| Відділ / Підрозділ | Посада / Група | Основні функції |
|--|----------------------------------|--|
| Керівництво підприємства | Директор | Загальне управління, стратегія, інвестиції |
| | Головний інженер | Технічний стан, енергоефективність, модернізація |
| | Головний технолог | Контроль рецептур, якість продукції, технологічні оновлення |
| | Головний бухгалтер | Облік, бюджетування, фінансовий аналіз |
| Виробничий кластер | Головний технолог | Координація виробництва, затвердження змін |
| Варильне відділення | Старший оператор, енергоменеджер | Варка суслу, рекуперація тепла, контроль SCADA-систем |
| Цех підготовки сировини | Оператор, лаборант | Подрібнення, підготовка води, контроль якості сировини |
| Бродильно-лагерне відділення | Мікробіолог, бродильник | Збродження, доброджування, контроль температур та тиску |
| Відділення фільтрації та стабілізації | Фахівець із фільтрації | Освітлення пива, стабілізація, холодна фільтрація |
| Цех розливу та пакування | Оператор розливу | Розлив, пакування, маркування, контроль герметичності |
| Відділ якості | Лабораторія контролю якості | Фізико-хімічний, мікробіологічний та сенсорний аналіз |
| Відділ екологічного менеджменту | Еколог, фахівець з біоутилізації | Контроль викидів, переробка побічних продуктів (дробини, осаду), робота з біогазом |
| Відділ охорони праці та безпеки | Інженер з охорони праці | Навчання персоналу, перевірки, техніка безпеки, оцінка ризиків |
| Відділ логістики та постачання | Менеджер із закупівель, логіст | Сировина, запаси, транспортування продукції |
| Відділ маркетингу та збуту | Маркетолог, менеджер зі збуту | Аналіз ринку, бренд-менеджмент, дистрибуція |

2.1 Режим роботи

Раціональна організація режимів роботи пивоварного заводу забезпечує безперервність основного технологічного процесу, стабільну якість продукції та ефективне використання ресурсів і персоналу. З огляду на характер пивоваріння – багатостадійний, тривалий та енергозалежний процес – підприємства середньої потужності (8 млн дал/рік) реалізують змішану модель організації роботи, що поєднує безперервні виробничі цикли із змінами на допоміжних та адміністративних ділянках. Основне технологічне виробництво, зокрема варильне відділення, функціонують у двозмінному безперервному режимі — з метою максимального використання обладнання та уникнення перерв у виробництві. Організація режимів роботи враховує вимоги законодавства про працю, положення щодо змінності, обов'язкові гігієнічні перерви, а також принципи НАССР щодо незмінності критичних контрольних точок. Режим роботи основних відділів підприємства наведено в таблиці 1.2.

Таблиця 1.2 – Тривалість і режими роботи цехів і відділів виробництва

| № | Відділ / Цех | Зміна / режим | Початок, год | Кінець, год | Перерва | Тривалість |
|---|--------------------------------|----------------------------------|--------------|-------------|---------------|-----------------------|
| 1 | Керівництво заводу | Денна, 5 днів/тиждень | 08:00 | 17:00 | 13:00 – 13:45 | 8 год 15 хв |
| 2 | Варильне відділення | 1 зміна | 08:00 | 20:00 | По можливості | 12 годин |
| | | 2 зміна | 20:00 | 08:00 | По можливості | 12 годин |
| 3 | Бродильно-лагерний цех | Безперервний, черговий | – | – | – | 24/7 |
| 4 | Цех фільтрації та стабілізації | 1 зміна | 08:00 | 20:00 | По можливості | 12 годин |
| | | 2 зміна | 20:00 | 08:00 | По можливості | 12 годин |
| 5 | Цех розливу | 1 зміна | 07:00 | 15:00 | 12:00 – 12:30 | 8 годин |
| | | 2 зміна | 15:00 | 23:00 | 19:00 – 19:30 | 8 годин |
| 6 | Відділ логістики та склади | Денна, чергова при відвантаженні | 08:00 | 17:00 | 13:00 – 13:45 | 8 год 15 хв |
| 7 | Лабораторія контролю якості | Денна з чергуванням | 08:00 | 20:00 | За графіком | 12 годин |
| 8 | Відділ енергетики та охорони | Черговий | 08:00 | 08:00 | – | 24-годинне чергування |

3 ТЕХНІКО-ЕКОНОМІЧНЕ ОБҐРУНТУВАННЯ ВИБОРУ ТЕХНОЛОГІЙ ІНТЕНСИФІКАЦІЙ ПРОЦЕСІВ ПРИГОТУВАННЯ СУСЛА ТА ОПИС АПАРАТУРНО- ТЕХНОЛОГІЧНОЇ СХЕМИ

3.1 Принципова технологічна схема

Принципова технологічна схема приготування пивного сусла наведена на рис. 3.1.

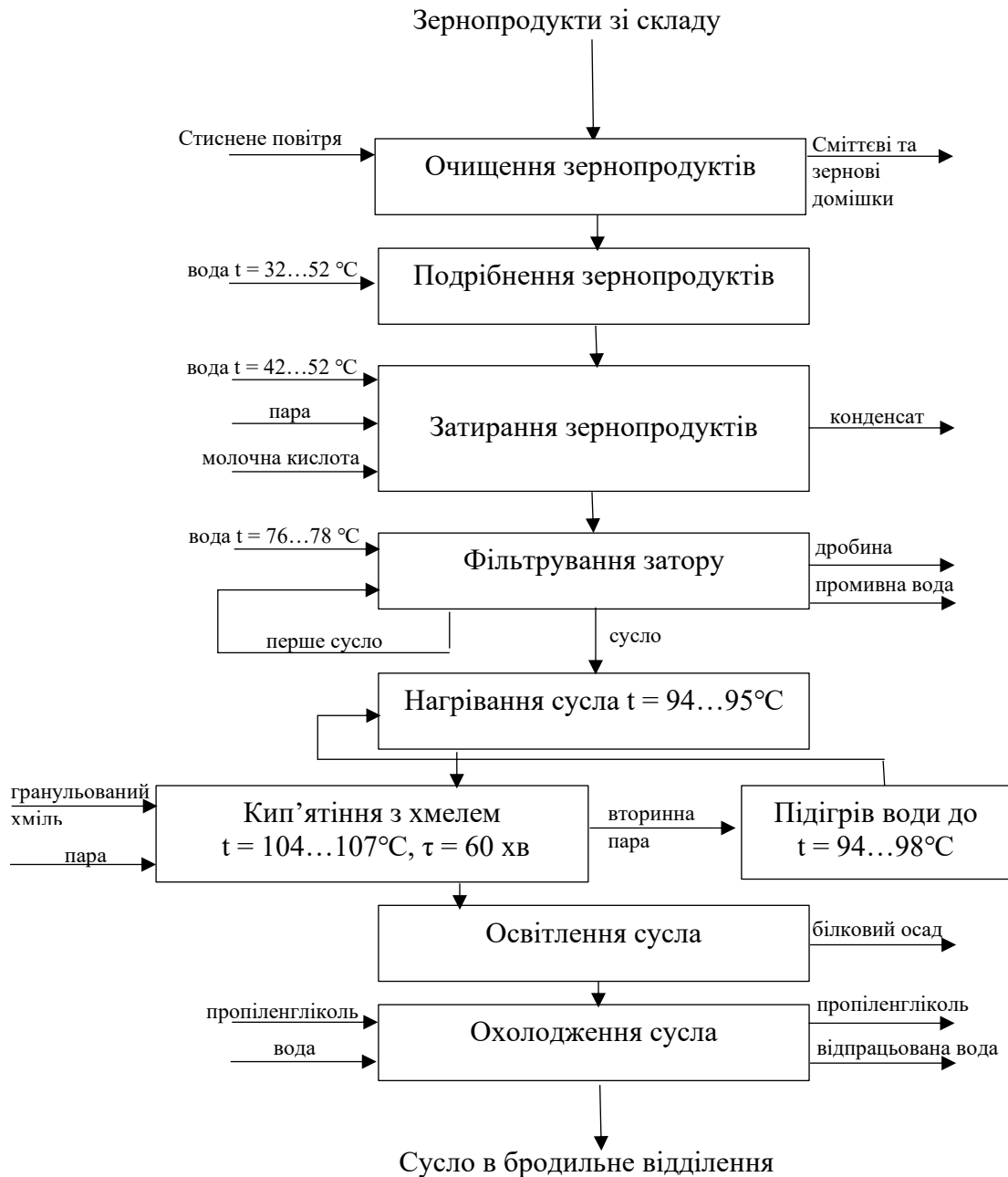


Рис. 3.1 – Принципова технологічна схема приготування пивного сусла

| | | | | | | |
|-------|------|----------|------|--|---|------|
| | | | | | Техніко-економічне обґрунтування вибору технології інтенсифікації приготування сусла та опис апаратурно-технологічної схеми | Арк. |
| Змін. | Лист | № докум. | Дата | | | 11 |

3.2 Техніко-економічний аналіз і вибір технологічних способів та режимів інтенсифікації технологічних процесів приготування сусла

Загальна характеристика варильного відділення пивоварного виробництва

Варильне відділення пивоварного заводу – це комплекс апаратів і процесів, призначених для отримання пивного сусла із зернової сировини, хмелю і води. Саме тут відбуваються основні стадії пивоваріння до початку бродіння. До ключових операцій варильного відділення належать помел солоду, затирання дробленого солоду з водою, оцукрювання крохмалю зерна ферментами солоду, фільтрація затору (відокремлення рідкого сусла від нерозчинних залишків – дробини), кип'ятіння сусла з хмелем, видалення грубих часток та охолодження сусла до температури бродіння [3]. В результаті цих процесів отримують освітлене охмелене сусло – поживне середовище, готове до зброджування дріжджами.

Типова апаратурно-технологічна схема варильного відділення включає: дробарку для солоду: вальцьову або молоткову, заторний апарат для приготування затору при різних температурних паузах, фільтраційний апарат для відділення сусла від дробини, суловарильний апарат для кип'ятіння сусла з внесенням хмелю, апарат для видалення осаду та теплообмінник для охолодження сусла. За рахунок поєднання теплових, механічних і масообмінних процесів у цих апаратах із зернової сировини екстрагуються і переходять в сусло екстрактивні речовини солоду і хмелю, до яких входять: цукри, азотисті сполуки, гіркі і ароматичні речовини хмелю, тощо. Кип'ятіння сусла з хмелем виконує кілька важливих функцій: стерилізація сусла, інактивація ферментів, ізомеризація α -кислот хмелю для надання гіркоти пиву, коагуляція білків, утворення і осадження гарячого хмеле-протеїнового осаду, випаровування надлишку води та летких сполук, зокрема диметилсульфіду. Після кип'ятіння відокремлюють осад і направляють сусло на охолодження.

Варильне відділення є енергоємною частиною виробництва пива. Значна кількість теплової енергії витрачається на нагрівання затору та особливо на кип'ятіння сусла. За даними промислових досліджень, лише процес кип'ятіння сусла може споживати 25–40% загальних енерговитрат пивоварні. Тому підвищення ефективності роботи варильного відділення має велике значення для економіки та екологічності пивзаводу. Традиційний цикл приготування сусла від затирання до варки і охолодження вимагає кількох годин; у великому промисловому виробництві одна варка пива зазвичай триває 6–8 годин, що обмежує кількість варок на добу. Крім того, процеси варіння сусла супроводжуються значними втратами тепла з парою, конвекцією від поверхонь апаратів, та води, наприклад, при промиванні дробини, а також впливають на якість майбутнього пива, неповне оцукрювання крохмалю чи неякісне

| | | | | | | |
|-------|------|----------|--|------|---|------|
| | | | | | Техніко-економічне обґрунтування вибору технології інтенсифікації приготування сусла та опис апаратурно-технологічної схеми | Арк. |
| | | | | | | 12 |
| Змін. | Лист | № докум. | | Дата | | |

відокремлення осаду можуть призвести до помутніння або нестабільності пива. Все це зумовлює актуальність пошуку шляхів інтенсифікації технологічних процесів варильного відділення [4].

Важливість інтенсифікації процесів приготування сусла

Інтенсифікація процесів приготування сусла – це впровадження таких технологічних рішень, умов та способів, які дозволяють прискорити процеси, підвищити їх ефективність, зменшити витрати енергії і ресурсів, одночасно забезпечивши або покращивши якість сусла та пива. В умовах сучасного ринку пива інтенсифікація є одним з головних напрямів розвитку пивоварної галузі. Вона дозволяє нарощувати обсяги випуску продукції без пропорційного розширення виробничих площ і кількості обладнання, тобто за рахунок науково-технічного прогресу і вдосконалення технологій [5]. Основні аргументи на користь інтенсифікації процесів приготування сусла такі:

- *Підвищення продуктивності і економічної ефективності.* Прискорення стадій затирання, фільтрації і кип'ятіння без втрати їх повноти дозволяє скоротити тривалість варки. Це дає змогу збільшити пропускну здатність варильного відділення або зменшити експлуатаційні витрати на одиницю продукції. Інтенсифікація також часто підвищує вихід екстракту з сировини, що прямо впливає на економію сировини або збільшення обсягів пива з тієї ж кількості солоду. За рахунок, наприклад, тоншого помелу солоду чи використання ферментів можна вилучити більше екстрактивних речовин у сусло, зменшивши втрати у дробині.

- *Покращення якості сусла і пива.* Правильно реалізоване прискорення процесів нерідко веде до підвищення якості продукту. Скорочення часу теплової обробки сусла сприяє збереженню світлого кольору та смакової стабільності пива, зменшує утворення побічних присмаків від перегріву. Раціональне перемішування затору забезпечує рівномірність оцукрювання і попереджає пригоряння, що позитивно впливає на смак. Використання ферментних препаратів знижує вміст високомолекулярних білків і поліфенолів, підвищуючи колоїдну стабільність пива [6]. Енергозберігаючі способи нагріву наприклад, м'яке кип'ятіння при пониженому тиску або в тонкому шарі дають більш "м'яке" сусло, покращують піностійкість та смакову повноту пива. Отже, інтенсифікація важлива не лише для кількості, а й для якості продукції.

- *Енерго- та ресурсоощадність, екологічні вигоди.* Сучасні тенденції пивоваріння зосереджені на зниженні споживання енергії та води, зменшенні викидів вуглецю. Інтенсифікуючи процеси, зазвичай прагнуть мінімізувати непотрібні втрати тепла, так, наприклад, впроваджуючи рекуперацію тепла пари, оптимізувати використання води, скорочуючи об'єми промивної води чи використовуючи її повторно та сировини. Наприклад, впровадження системи утилізації тепла пари від кип'ятіння

| | | | | | | |
|-------|------|----------|--|------|---|------|
| | | | | | Техніко-економічне обґрунтування вибору технології інтенсифікації приготування сусла та опис апаратурно-технологічної схеми | Арк. |
| | | | | | | 13 |
| Змін. | Лист | № докум. | | Дата | | |

сусла дозволяє зменшити споживання первинного палива і відповідно викиди CO₂.

Економія гарячої води при промиванні дробини чи відмова від зайвих стадій знижує водоспоживання. Крім того, скорочення тривалості процесів означає менші втрати випаровування води. Всі ці фактори не лише знижують витрати, а й покращують екологічні показники виробництва – що є важливим з огляду на суворі екологічні норми та суспільний запит на сталий розвиток. Отже, інтенсифікація технологічних процесів варильного відділення є актуальним завданням, що дозволяє одночасно підвищити конкурентоспроможність підприємства через ефективність і якість продукції та забезпечити дотримання принципів сталого виробництва. Нижче розглянуто сучасні підходи до інтенсифікації окремих стадій приготування сусла.

Сучасні підходи до інтенсифікації процесів приготування сусла

Механічні та технологічні методи інтенсифікації: тонкий помел солоду та комбінування з прес-фільтром

Повнота екстракції крохмалю та білків у заторі прямо залежить від площі контакту між твердою й рідкою фазами. Найкраще її забезпечує тонкий, борошністий помел, що досягається молотковими млинами. На відміну від вальцьових дробарок, молоткові руйнують ендосперм на мікрочастинки й дають однорідний гранулометричний склад, що підвищує доступність субстрату для ферментів [7].

GEA LAUTERSTAR 2.0 є результатом багаторічної інженерної оптимізації системи фільтрації затору та є ключовою ланкою у варильному відділенні, орієнтованою на ефективну екстракцію та високу гнучкість процесу. Апарат розроблено для середніх і великих пивоварень, які прагнуть підвищити ефективність фільтрації, зменшити витрати на обслуговування та стабілізувати якість пивного сусла незалежно від змін сировинного складу.

Конструктивною особливістю є центрована система відведення сусла, яка мінімізує гідравлічний опір та забезпечує однорідність витоку сусла по всьому шару. Це сприяє підвищенню ефективності фільтрації та зменшує ймовірність утворення зон нерівномірного проходження рідини. Дно чану обладнане високоточними перфорованими або щілинними елементами, що забезпечують відмінне співвідношення між утриманням дробини та пропускнуою здатністю сусла, зводячи до мінімуму забивання.

Апарат оснащено подвійними фільтраційними ножами, які швидко адаптуються до щільності зернового шару й зменшують опір фільтрації, запобігаючи його надмірному ущільненню. Розумне управління цим механізмом дозволяє ефективно контролювати в'язкість та вологість дробини протягом фільтрації.

| | | | | | | |
|-------|------|----------|--|------|---|------|
| | | | | | Техніко-економічне обґрунтування вибору технології інтенсифікації приготування сусла та опис апаратурно-технологічної схеми | Арк. |
| | | | | | | 14 |
| Змін. | Лист | № докум. | | Дата | | |

Коефіцієнт вилучення екстракту: до 98,7 %, що є одним із найвищих показників серед аналогів. GEA LAUTERSTAR 2.0 оснащено інтелектуальною системою управління MLM (Modular Lautering Management), яка автоматично регулює швидкість фільтрації та ступінь перемішування; коригує параметри в реальному часі залежно від поточного опору фільтрації; оптимізує витрати води на промивання зернової маси; забезпечує відтворюваність процесу навіть при зміні сировини.

Використання інтенсивних режимів затирань на великих виробництвах

Традиційні способи затирання сусла – настійний і відварний – передбачають певні паузи для ферментативних процесів і відносно тривалий час фільтрації сусла через дробину. Інтенсивне затирання – це сукупність сучасних підходів, що дозволяють прискорити отримання сусла і підвищити продуктивність варильного відділення за рахунок інтенсивного механічного та технологічного впливу. До них відносяться: дрібний помел солоду з утворенням суспензії, активне перемішування та перекачування затору, використання високопродуктивних систем для відділення сусла, наприклад, сучасні фільтр-апарати, а також безперервне приготування сусла. На великих пивзаводах ці рішення дозволяють збільшити кількість варок на добу та ефективніше використовувати обладнання.

У традиційній варці усі стадії – затирання, оцукрювання, фільтрація, кип'ятіння – виконуються послідовно у періодичному режимі. Це накладає обмеження на кількість варок за добу. Інженери компанії Meura запропонували концепцію Meurabrew – безперервного варильного відділення, де процес затирання-фільтрації сусла іде постійно: затор невеликими порціями безперервно завантажується в серію апаратів, де відбувається оцукрення, і так само неперервно фільтрується через кілька паралельних фільтр-апаратів [11]. Отримане сусло накопичується для наступного етапу кип'ятіння. Така схема дозволяє ще більше підвищити продуктивність, хоча вимагає складного узгодження потоків. Головна ідея – перейти від циклічного процесу до безперервного, щоб усунути час простою між операціями. За наявності достатньої кількості заторних апаратів і фільтрів потенційно можна вести процес варки практично безперервно, досягаючи рекордної продуктивності. Втім, більшість пивоварень вже зараз задовольняють свої потреби, використовуючи інтенсивне режими затирання – з дрібним помелом та високошвидкісною фільтрацією. Це дозволяє суттєво скоротити тривалість одного циклу варки і отримати економію на енергоресурсах.

Узагальнюючи, інтенсивне затирання на великих пивзаводах проявляється в застосуванні інтенсивних технологій, які забезпечують:

- Більш швидке оцукрення – за рахунок оптимізації температурного профілю, активного перемішування та використання

| | | | | | | |
|-------|------|----------|------|--|---|------|
| | | | | | Техніко-економічне обґрунтування вибору технології інтенсифікації приготування сусла та опис апаратурно-технологічної схеми | Арк. |
| Змін. | Лист | № докум. | Дата | | | 15 |

ферментних добавок процес затирання проходить ефективніше та скорочується у часі.

- Швидку фільтрацію сусла – завдяки сучасним фільтруючим системам сусло відділяється від дробини значно швидше, ніж у традиційних апаратах, до того ж з меншими втратами та більшою продуктивністю [11].

- Зростання кількості циклів варки на добу – сумарно, комбінуючи ці технології, завод може варити більше сусла за одиницю часу.

- Зменшення споживання води та енергії – інтенсивні режими затирання потребують менше промивної води і дають змогу ефективно повернути тепло, наприклад, гарячу воду, отриману після фільтрації, використовують для наступного замісу, що економить пару і паливо. Відсутність простоїв між циклами також означає менші тепловтрати.

Таким чином, інтенсифікація процесу затирання є одним з ключових напрямків модернізації варильного відділення. Вона вже реалізована на багатьох великих європейських і американських пивоварнях, що підтверджується успішними прикладами АВ InBev, Heineken тощо та науковими публікаціями, які відзначають збільшення продуктивності та стійкості процесу при впровадженні технологій на кшталт Meura Mash Filter

Скорочене кип'ятіння сусла та варильні апарати з внутрішніми/зовнішніми кип'ятильниками

Тривале кип'ятіння сусла з додаванням хмелю виконує кілька важливих функцій: екстракція і ізомеризація альфа-кислот хмелю для гіркоти, стерилізація сусла, випадання білків у вигляді гарячого осаду, випаровування небажаних летких сполук, насамперед диметилсульфіду, та концентрування сусла до необхідної початкової щільності. Класичний режим – кип'ятіння протягом ~60–90 хв при атмосферному тиску – забезпечує ці цілі, але водночас споживає дуже багато енергії [12]. Тому сучасні тенденції спрямовані на скорочення часу та інтенсивності кип'ятіння без шкоди для якості пива. Цього досягають як конструктивними рішеннями у варильних апаратах, вбудовані або зовнішні теплообмінники, системи рекуперації пару, так і альтернативними режимами кип'ятіння, наприклад, підвищення тиску або використання методів інтенсифікації масообміну.

Внутрішні та зовнішні теплообмінники. Сучасні варильні котли часто обладнуються теплообмінними системами нагріву сусла. Внутрішні теплообмінники – це трубчастий теплообмінник усередині котла традиційно мідний або зараз нержавіючий, через який проходить пара; кипіння відбувається навколо труб всередині сусла. Зовнішні теплообмінники – аналогічний теплообмінник, встановлений поза котлом: сусло насосом відкачується з нижньої частини ємності, пропускається через систему нагрівних труб і під тиском повертається назад. Обидва типи забезпечують інтенсивне точкове нагрівання і бурхливе кипіння сусла.

| | | | | | | |
|-------|------|----------|--|------|---|------|
| | | | | | Техніко-економічне обґрунтування вибору технології інтенсифікації приготування сусла та опис апаратурно-технологічної схеми | Арк. |
| Змін. | Лист | № докум. | | Дата | | 16 |

Однак зовнішні нагрівачі нині переважають на середніх і великих пивоварнях, оскільки мають низку технологічних переваг. По-перше, зовнішній кип'ятильник має більшу площу теплообміну і менше накипу, бо його труби довші та легше очищаються. По-друге, він дозволяє почати активний нагрів ще до повного заповнення котла сушлом – достатньо ~15% об'єму, після чого можна вмикати насос і теплообмінник. Це скорочує загальний час циклу варки, адже нагрів і наповнення котла йдуть паралельно, на відміну від старих внутрішніх систем, де треба було чекати поки ємність наповниться перед кип'ятінням. По-третє, механічне перекачування сусла через зовнішній контур створює високий ступінь хаотичного потоку, що підвищує ефективність теплообміну. За рахунок цього можна працювати з меншими параметрами кип'ятіння наприклад, нижчим коефіцієнтом випаровування без втрати функцій кипіння. Додатково, повернення сусла в апарат часто здійснюється по дотичній, завдяки чому в ємності виникає циркуляційний рух – ефект вірпулу, достатній для відокремлення осаду без окремого вирпул-апарата, або зниження навантаження на нього. У деяких установках це дозволило поєднати стадії кип'ятіння і освітлення сусла, відмовившись від окремого резервуара-вірпулу, що також інтенсифікує процес [12]. Скорочення часу кип'ятіння. Завдяки наведеним технологічним заходам багато пивоварень вже перейшли з 60...90 хв кип'ятіння на 40...50 хв без погіршення показників якості. У промислових дослідах встановлено, що зменшення тривалості кип'ятіння та випаровування за рахунок покращення теплообміну дещо збільшує залишковий вміст диметилсульфіду у готовому суслі, але при грамотному налаштуванні він залишається нижче смакового порогу ~100 мкг/дм³ і не впливає на аромат. Одночасно, менш агресивне термічне навантаження може навіть покращити колоїдну стабільність: в експериментальних варках зі скороченим кип'ятінням відзначали вищий вміст коагульованого азоту у кінцевому суслі, що означає більш ефективне осадження білків, порівняно з класичним варінням [13].

Серед новітніх підходів до інтенсифікації кип'ятіння – способи, що підсилюють масо- та теплообмін. Наприклад, досліджено застосування гідродинамічної кавітації: пропускання сусла через кавітатор перед коротким кипінням. Цей метод створює локальні зони високого тиску і температури, сприяє швидкій екстракції хмільних речовин та руйнуванню попередників ДМС. Результати показали, що достатньо прокип'ятити сусло лише 10 хв після обробки кавітатором, щоб досягти необхідної якості – при цьому загальні енерговитрати знижуються на ~33% [14]. Хоча така технологія поки експериментальна, вона демонструє потенціал радикального скорочення часу кип'ятіння. Інший підхід – кип'ятіння під підвищеним тиском, наприклад, при 0,02...0,1 МПа надлишкового тиску. В цьому випадку температура кипіння підвищується до ~105...110°C, завдяки чому потрібний ступінь випаровування ДМС досягається швидше. Деякі

| | | | | | | |
|-------|------|----------|--|------|---|------|
| | | | | | Техніко-економічне обґрунтування вибору технології інтенсифікації приготування сусла та опис апаратурно-технологічної схеми | Арк. |
| | | | | | | 17 |
| Змін. | Лист | № докум. | | Дата | | |

заводи використовують варіння під тиском у поєднанні з рекуперацією тепла пароконденсату, що дозволяє економити енергію. За даними досліджень, при кип'ятінні під тиском можна скоротити загальний час варки і зменшити енергоспоживання на ~20...30%, хоча потрібен ретельний контроль смако-ароматичних показників сусла, оскільки хімічні реакції при вищій температурі йдуть інтенсивніше [13].

Енергозбереження та рекуперація тепла. Інтенсифікація варильного процесу тісно пов'язана з впровадженням систем утилізації тепла. Сучасні варильні апарати оснащують конденсаторами пари: гаряча пара від киплячого сусла не викидається в атмосферу, а конденсується у спеціальному апараті, нагріваючи воду. Ця гаряча вода (90...100°C) збирається в бак і використовується потім для наступного замішування солоду або для миття обладнання, отже частина енергії повертається в цикл. Наприклад, технологія EquiTherm від компанії Steinecker передбачає, що надлишкове тепло гарячого сусла, яке виділяється при його охолодженні, повністю використовується для нагріву наступного затору. Це дозволяє скоротити витрати теплоти у варильному відділенні до 55% у порівнянні зі стандартною схемою [15]. Отже, навіть якщо час кип'ятіння не зменшується кардинально, загальна енергоефективність процесу різко зростає – фактично, те саме тепло служить двічі. Коротке кип'ятіння нерозривно пов'язане з такими системами рекуперації: коли випаровування невелике, більша частина енергії залишається в суслі і її треба забрати при охолодженні – тож доцільно цю енергію використовувати повторно. У 2023 р. було презентовано нову систему GEA QBOIL, яка об'єднує кілька зазначених принципів: фракційне дозування сусла в котел, покрокове кип'ятіння партіями та повну утилізацію пари. Пілотні випробування показали, що вона дає до 60% економії енергії на стадії кип'ятіння порівняно зі звичайною атмосферною варкою. При цьому параметри сусла: вміст ДМС, ступінь осаду білків залишаються в межах норми [13]. Таким чином, інженерні та технологічні рішення дозволяють значно інтенсифікувати процес кип'ятіння – скоротивши його тривалість, зменшивши енерговитрати, або й те й інше – без втрати якості сусла і пива.

Інтенсифікація освітлення сусла у вирпулі та прискорене охолодження в зональних теплообмінниках

Освітлення сусла у вирпулі – стадія, де після кип'ятіння гаряче сусло обертовим рухом очищується від зважених часток: коагульованих білків, поліфенолів, залишків хмелю - гарячого осаду. Інтенсифікація цього процесу досягається додаванням спеціальних добавок, які сприяють швидкому згурпуванню дрібних часток в більші флокули, що легше осаджуються. Найпоширенішим є каррагінан – полісахарид, виділений із червоних водоростей. Каррагінан має сильний негативний заряд і тому притягує позитивно заряджені білкові колоїди в суслі. Додають його

| | | | | | | |
|-------|------|----------|--|------|---|------|
| | | | | | Техніко-економічне обґрунтування вибору технології інтенсифікації приготування сусла та опис апаратурно-технологічної схеми | Арк. |
| | | | | | | 18 |
| Змін. | Лист | № докум. | | Дата | | |

зазвичай у вигляді порошку або таблеток приблизно за 10–15 хв до закінчення кипіння сусла. Під дією високої температури каррагінан розчиняється і швидко зв'язує білки та інші каламутні частки, утворюючи пластівці, які інтенсивно випадають в осад. Таким чином, до моменту переливу сусла у вірпул значна частина зважених часток уже агломерована. У самому вірпулі, коли сусло обертається, великі пластівці осаду осідають в центрі ємності у вигляді щільного конуса. Завдяки застосуванню каррагінану цей осад стає більш об'ємним і щільним, а сусло очищається швидше і ефективніше [16]. Фактично, каррагінан усуває надлишкові білки ще на гарячій стадії, перетворюючи їх на холодний осад, що випаде пізніше при холодному дозріванні. Це дозволяє скоротити час освітлення пива. Окрім каррагінану, у світовій практиці використовуються й інші подібні добавки – наприклад, продукти на основі альгінату, похідні хітозану, полімерні сорбенти. Але саме каррагінанові препарати є стандартом для прискорення осадження у вирпулі завдяки своїй ефективності та натуральному походженню [16,17].

Для інтенсифікації осадження інколи застосовують двошвидкісний вірпул: спочатку сусло закручується дуже швидко для максимального збирання осаду в центр, а потім обертання сповільнюється, щоб осад встиг осісти і не захоплювався потоком. Це економить час, бо усуває окрему операцію перекачування в вірпул-апарат – весь осад залишається у тій самій ємності або спеціальному відстійнику після зупинки насоса [12]. Подібні поєднані системи набувають поширення на великих заводах. В цілому ж, завдяки каррагінану та оптимізації гідродинаміки, стадія освітлення гарячого сусла сьогодні займає мінімум часу близько 30–40 хв на середніх пивоварнях. Сусло швидко стає прозорим і готовим до охолодження, що підвищує пропускну здатність варильного відділення.

Прискорене охолодження сусла – наступний критично важливий етап. Після вирпулу прозоре гаряче сусло (~95 °С) потрібно якнайшвидше охолодити до температури бродіння. Швидке охолодження необхідне, щоб запобігти мікробному зараженню та мінімізувати утворення побічних продуктів окиснення, що можуть впливати на смак. Інтенсифікація цього процесу досягається застосуванням високоефективних багатозонних теплообмінників – зазвичай, пластинчастих охолоджувачів у 2 або 3 стадії.

Стандартна схема на сучасних заводах – двоступеневий пластинчастий теплообмінник: в першому ступені гаряче сусло охолоджується водопровідною чи підготовленою водою, а в другому – охолоджуючим розчином наприклад, гліколем. Завдяки цьому теплова енергія сусла використовується двічі. На першому етапі сусло охолоджується з ~98 °С до ~40...50 °С за рахунок нагрівання звичайної води (10...15 °С) до ~75...80 °С [18]. Цю гарячу воду потім збирають у проміжний збірник – вона стає гарячою технологічною водою для наступного варильного циклу, вона застосовується як вода для промивки

| | | | | | | |
|-------|------|----------|--|------|---|------|
| | | | | | Техніко-економічне обґрунтування вибору технології інтенсифікації приготування сусла та опис апаратурно-технологічної схеми | Арк. |
| | | | | | | 19 |
| Змін. | Лист | № докум. | | Дата | | |

солоду або на інші потреби. Таким чином, перший етап не тільки охолоджує сусло, а й повертає тепло в процес. Другий етап: попередньо охолоджене до ~ 40 °C сусло далі проходить через секцію, де протитечею йде холодоагент – зазвичай водно-гліколева суміш температурою близько $-4\dots 0$ °C. На цьому етапі сусло доводиться до потрібної температури задання дріжджів. Охолоджуюча суміш при цьому нагрівається і відправляється назад в холодильну установку. Така двозонна схема дозволяє дуже швидко охолодити сусло з майже киплячого до холодного стану. Сусло і охолоджуючі рідини рухаються назустріч одна одній вузькими каналами у турбулентному режимі, що забезпечує високий коефіцієнт теплопередачі. У результаті, час контакту суслу з температурним діапазоном $+60\dots +20$ °C, що є сприятливим для бактерій мінімізується – інфікування практично унеможливується. Швидкість охолодження настільки висока, що ризик розвитку побічної мікрофлори зводиться до нуля [19].

Також швидке охолодження сприяє додатковому випадінню холодного осаду: при $\sim 0-5$ °C залишкові білково-поліфенольні комплекси агрегуються, цей процес відбувається вже у форфасі чи бродильній ємності. В цілому, сучасні пластинчасті охолоджувачі дозволяють досягти показника >1 °C охолодження в секунду, менш ніж 1,5 хв и можна охолодити сусло на 80 °C при достатній площі теплообміну.

Зональні (багатоступеневі) теплообмінники мають ще одну перевагу: вони є гнучкими в управлінні енергетичними потоками. Регулюючи витрати води та охолоджуючої рідини, пивовар може максимально використовувати тепловий потенціал суслу. Наприклад, якщо потрібно більше гарячої води, можна збільшити подачу води в перший контур – тоді сусло охолоне більше на першому етапі і нагріє більший об'єм води. Якщо ж вода вже досить нагріта, система автоматично перенаправить тепло у другий контур з гліколем. За даними компанії Krones, що встановлює подібні системи, EquiTherm, повна інтеграція охолодження суслу з підігрівом води та затору дозволяє економити до 40% електроенергії у варильному відділенні та пропорційно зменшити споживання пари. Адже практично вся енергія, вкладена в кип'ятіння суслу, повертається у вигляді гарячої води для наступної варки, і додаткового нагріву майже не потрібно [15].

З точки зору інтенсифікації часу, сучасні охолоджувачі теж ефективніші за старі. Раніше, за відсутності достатньо холодної води, могли застосовувати проміжне охолодження або залишати сусло охолоджуватися довше. Нині ж навіть у теплу пору року двоступеневі схеми справляються без проблем, застосовуючи холодильні апарати для другого контуру. Одноступеневі охолоджувачі, де використовується тільки крижана вода $+3\dots +4$ °C без гліколю поступово відходять у минуле, через меншу гнучкість. Вони потребують приблизно на 45 % більшу площу теплообміну для досягнення того ж ефекту, що й двоступеневі [19]. Тому майже всі

| | | | | | | |
|-------|------|----------|--|------|---|------|
| | | | | | Техніко-економічне обґрунтування вибору технології інтенсифікації приготування суслу та опис апаратурно-технологічної схеми | Арк. |
| | | | | | | 20 |
| Змін. | Лист | № докум. | | Дата | | |

промислові пивоварні перейшли на дво- чи триступеневі пластинчасті охолоджувачі сусла, які забезпечують максимально швидке і енергоефективне охолодження.

Отже, використання каррагінану значно прискорює освітлення сусла у вирпулі, дозволяючи видалити більшість каламутних домішок швидко і підготувати сусло до охолодження. Далі, інтенсивне двоступеневе охолодження в пластинчастому теплообміннику з рекуперацією тепла гарантує швидке зниження температури сусла до рівня бродіння і одночасно повертає тепло в процес, підвищуючи загальну енергоефективність. Ці заходи – невід’ємна частина інтенсифікації варильного відділення, що дозволяє збільшити пропускну спроможність і знизити витрати енергії, не жертвуючи якістю майбутнього пива.

Спосіб пивоваріння з концентрованим суслom

Високогустинне пивоваріння – це технологія, за якою зброджують сусло з підвищеною початковою густиною, а готове молоде пиво при необхідності розбавляють водою до цільної міцності перед фільтрацією або розливом. Цей метод став дуже популярним у світі, оскільки дозволяє підвищити продуктивність та ефективність виробництва: з однієї варки сусла виходить більше кінцевого пива потрібної міцності. Застосовується як помірне підвищення густини, наприклад 16–18°P для отримання 11–12°P пива, так і високе (20–25°P і вище).

Переваги високогустинного режиму з точки зору інтенсифікації процесів:

- Збільшення виходу пива без розширення обладнання. При тій самій кількості варок і об’ємі варильного апарата можна виробити більші об’єми пива, просто розбавивши концентрат водою. Це означає підвищення пропускну здатності заводу без встановлення додаткових варильних або бродильних ємностей. Протягом останніх десятиліть саме прагнення підвищити випуск пива підштовхнуло багато компаній до впровадження високощільного пивоваріння [24].

Енерго- та ресурсозбереження. Високогустинне пивоваріння дозволяє зменшити витрати води в процесі варки та бродіння, адже менший об’єм рідини нагрівається, охолоджується і перекачується. Розрахунки показують, що перехід на високі густини дає непропорційне зниження затрат енергії на одиницю продукції, тобто зростання виходу спирту відбувається з меншим приростом енерговитрат. Крім того, менші об’єми означають менше мийних вод, миючих засобів, стоків – отже, і екологічний вплив зменшується [25].

- Скорочення витрат праці і часу. Обробляючи концентроване пиво, пивоварня може рідше проводити цикли варки/бродіння для отримання заданого об’єму продукції. Зменшується кількість циклів СІР та допоміжних операцій, легше планувати виробництво. Як зазначає проф.

| | | | | | | |
|-------|------|----------|--|------|---|------|
| | | | | | Техніко-економічне обґрунтування вибору технології інтенсифікації приготування сусла та опис апаратурно-технологічної схеми | Арк. |
| Змін. | Лист | № докум. | | Дата | | 21 |

Г. Стюарт, обробка меншого об'єму сусла і пива при збереженні виходу продукції призводить до економії праці, скорочення тривалості виробничих циклів та зниження експлуатаційних витрат. У підсумку завод працює більш раціонально.

Високогустинне пивоваріння було вперше застосоване ще в 1960-х (США) і з тих пір поширилося по всьому світу [8]. У США, Канаді, Австралії, Півд. Африці вже до 1980-х більшість великих пивзаводів перейшли на режим високощільного пивоваріння. Європа довше стримувала цей тренд через податкові та нормативні обмеження, наприклад, в Німеччині за законом чистоти не дозволялося додавати воду після бродіння, але врешті й там знайшли технічні рішення, аби відповідати вимогам, наприклад, розбавлення перед бродінням або використання деаерованої води після бродіння. Технологію використовують такі гіганти, як Heineken, AB InBev, MolsonCoors та інші по всьому світу.

Технічні аспекти і виклики. Перехід на високі густини потребує врахування ряду певних особливостей:

- Дріжджі за умов високої початкової концентрації екстракту зазнають осмотичного та спиртового стресу. Це може призводити до повільнішого старту бродіння, неповного зброджування або утворення зайвих побічних продуктів наприклад, вищих спиртів, естерів. Щоб компенсувати це, на практиці застосовують підвищені дози дріжджів та забезпечують інтенсивне аерацію сусла. Дослідження показали, що за достатнього внесення дріжджів і кисню бродіння високощільного сусла може йти майже так само швидко, як звичайного, досягаючи повної або майже повної ступені зброженості. Також селекціонують або розвивають спеціальні штами дріжджів, стійкіші до високого спирту і осмотичного тиску. В публікаціях рекомендується контролювати в середовищі бродіння вміст важливих іонів і поживних речовин, адже дріжджам складніше засвоювати їх у дуже концентрованому суслі [26].

- У пиві, зброженому при високій густині, баланс смаку може відрізнятись. Зазвичай спостерігається підвищення вмісту ацетат ізоамілового ефіру та деяких вищих спиртів, хоча вони залишаються нижче порогів, якщо бродіння йде нормально. Також ефір етилового ацетату, що має запах розчиннику інколи зростає, але у розведеному пиві він частково нівелюється нижче порогу сприйняття. Загалом при розбавленні профіль зберігається, але потребує тонкого налаштування рецептури: наприклад, щоб пиво не втратило тіло після розведення, солодовий склад коригують, додаючи трохи спеціальних солодів для повноти смаку або трохи збільшують кінцеву густину концентрату.

- Технологічно, потрібно забезпечити додаткове обладнання для змішування пива з водою і контролю міцності. Застосовують, як правило, деаеровану воду високої якості, змішують її з пивом перед фільтрацією в точній пропорції і одразу контролюють спирт/екстракт за допомогою мас-

| | | | | | | |
|-------|------|----------|--|------|---|------|
| | | | | | Техніко-економічне обґрунтування вибору технології інтенсифікації приготування сусла та опис апаратурно-технологічної схеми | Арк. |
| | | | | | | 22 |
| Змін. | Лист | № докум. | | Дата | | |

спектрометра або густиноміра. Це дозволяє отримати дуже точний кінцевий вміст алкоголю. Наприклад, система Alfa Laval Carboblend або аналогічні можуть автоматично змішувати пиво і воду до заданого Plato з точністю $\pm 0,05^\circ P$ [27].

Незважаючи на ці нюанси, при грамотному управлінні недоліки високощільного пивоваріння зводяться до мінімуму, тоді як переваги відчутні. Як зазначає проф. Стюарт, впровадження високощільного пивоваріння у поєднанні з іншими заходами дозволяє сучасним пивоварням значно зменшити витрати виробництва та підвищити стабільність якості. У цифрах, за рахунок меншого об'єму сусла та пива енергоспоживання на гектолітр зменшується на $\sim 15\text{--}20\%$, а використання води – на $20\text{--}30\%$ (з урахуванням розведення деаерованою водою).

Отже, високощільне пивоваріння – один з ключових методів інтенсифікації, який використовується головним чином у Європі та США для масового виробництва лагера. Він забезпечує економію ресурсів та збільшення продуктивності без великих капіталовкладень.

Ферментативні методи інтенсифікації (використання ензимних препаратів)

Для підвищення ефективності процесів у варильному відділенні пивоварні активно застосовуються додані ферментні препарати на різних етапах приготування сусла – від затирання до доброджування. Такі ензими прискорюють або доповнюють природні біохімічні процеси солоду, дозволяючи зменшити тривалість стадій, підвищити вихід екстракту та поліпшити якість пива. Введення ферментів може відбуватися до кип'ятіння, на етапі затирання сусла, під час кип'ятіння, хоча більшість ферментів денатурується при температурах близьких до $100^\circ C$ або після кип'ятіння з хмелем – наприклад, у гаряче сусло на стадії вірпулу чи в охолоджене сусло перед бродінням. Кожен ферментний препарат має цільову дію та забезпечує певний аспект інтенсифікації процесу:

- *Бета-глюканази і ксиланази* (наприклад, комерційні препарати на зразок Ultraflo) додаються на стадії затирання. Вони розщеплюють β -глюкани та геміцелюлозу клітинних стінок зерна, знижуючи в'язкість сусла. Це полегшує фільтрацію сусла та підвищує вихід екстрактивних речовин. Додавання таких ензимів оптимізує роботу затору, скорочує час відокремлення сусла від дробини і мінімізує втрати сусла, що підтверджується дослідженнями з впровадження ферментів – вони покращують фільтрацію пива, зменшують втрати та енергоспоживання [28].

Протеази - ферменти, що розщеплюють білки, можуть додаватися під час затирання або на початку кип'ятіння. Вони підвищують вміст вільного амінного азоту у суслі, що покращує живлення дріжджів при бродінні, особливо важливо при використанні значної частки несолодженої

| | | | | | | |
|-------|------|----------|--|------|---|------|
| | | | | | Техніко-економічне обґрунтування вибору технології інтенсифікації приготування сусла та опис апаратурно-технологічної схеми | Арк. |
| Змін. | Лист | № докум. | | Дата | | 23 |

сировини. Такі препарати сприяють інтенсивнішому бродінню та повнішому зброджуванню цукрів, а також можуть зменшують схильність пива до помутніння, виводячи надлишок білків разом з гарячим осадом.

- *Фермент α -ацетолактатдекарбоксилаза (АЛДК)* – комерційні назви: Maturex®, АЛДК тощо – додається зазвичай наприкінці кип'ятіння або на початку бродіння. Його дія спрямована на прискорене перетворення прекурсорів діацетилу (α -ацетолактату) прямо в безпечні сполуки ацетоїн, минаючи стадію утворення власне діацетилу. Це перешкоджає накопиченню діацетилу в пиві і значно скорочує час дозрівання: за даними виробника, додавання АЛДК дозволяє скоротити загальну витримку пива на. Отже, завдяки цьому ензиму пивовар може швидше звільнити бродильні ємності, підвищити їх пропускну здатність і зберегти якість [29].

- *Ендопротеази для запобігання холодного помутніння.* Відомим прикладом є препарат Brewer's Clarex® (Clarity Ferm), що містить пролін-специфічну ендопротеазу. Його вносять вже після кип'ятіння – у охолоджене сусло разом з дріжджами. Ензим розщеплює високомолекулярні поліпептиди, багаті на пролін, які взаємодіють з поліфенолами і викликають помутніння при зберіганні пива. Завдяки Clarex пивовари досягають стабільної прозорості пива без тривалого холодного визрівання чи фільтрації. Цей ензим розщеплює глютен, що дозволяє виробляти із традиційного солоду безглютенове або малоглютенове пиво.

- *Амілолітичні ферменти* для глибокого оцукрення сусла. Якщо необхідно отримати пиво з дуже високим ступенем зброженості, застосовують ферменти типу амілоглюкозидази (АМГ). Їх можна додавати до затору або навіть у бродильний танк після охолодження сусла, оскільки при кип'ятінні вони інактивуються. АМГ розщеплює залишкові декстрини до ферментованих моносахаридів, що дозволяє дріжджам повніше збродити сусло [30]. Таким чином можна досягти дуже низької кінцевої густини навіть близько 0°P і високого вмісту спирту без залишкової солодкості. Цей підхід також інтенсифікує процес бродіння, оскільки дріжджі швидше переробляють цукри і скорочується час досягнення цільової міцності пива.

Важливо, що застосування цих препаратів не погіршує якість напою – навпаки, вони дозволяють забезпечити стабільність і відтворюваність процесів без компромісів щодо органолептики пива. Багато з описаних ферментів вже широко впроваджені в промисловому пивоварінні Європи та США, оскільки вони допомагають робити процес виробництва пива більш ефективним, економічним та стійким.

Теплотехнічні підходи (енергозбереження, рекуперація тепла, теплообмінники)

Теплотехнічна інтенсифікація спрямована на максимальне використання теплової енергії в процесах і скорочення її втрат. У традиційній пивоварні значна частка тепла губиться з паром, яка

| | | | | | | |
|-------|------|----------|--|------|---|------|
| | | | | | Техніко-економічне обґрунтування вибору технології інтенсифікації приготування сусла та опис апаратурно-технологічної схеми | Арк. |
| | | | | | | 24 |
| Змін. | Лист | № докум. | | Дата | | |

відводиться в атмосферу під час кип'ятіння сусла, або зі стічними водами при охолодженні сусла. Інша проблема – надлишкове споживання пари та гарячої води через неоптимальні режими нагріву. Тому сучасні варильні відділення впроваджують системи рекуперації тепла і оптимізації теплових режимів.

Один з класичних способів – утилізація тепла парових випарів сусла. При кип'ятінні сусла випаровується 4–8 % його об'єму у вигляді водяної пари, яка містить значну кількість теплової енергії. Раніше цю пару просто випускали, але зараз оснащують суслотоварильні апарати конденсаторами пари. Паровий конденсатор – це теплообмінник, де гаряча пара від киплячого сусла пропускається через потік холодної води чи іншої рідини і конденсується, нагріваючи цю воду. Таким чином, енергія пари перетворюється на гарячу воду, яку можна використати повторно – наприклад, як попередньо нагріту воду для наступного затирання або для миття обладнання. За даними Krones, впровадження системи рекуперації здатне повернути більш ніж 90% теплової енергії, що витрачається на кип'ятіння суслasteinecker.com. Практично, на великих пивзаводах така система (під назвами Energy Recovery System чи ін.) забезпечує нагрів води до ~80...90 °C у спеціальному баку, яку потім використовують для наступної варки. Це дозволяє істотно скоротити витрати пари: за даними компанії Steinecker, 25...35% загальної теплової енергії пивоварні припадає на кип'ятіння сусла, тож повернення більшої частини цієї енергії у процес забезпечує пряму економію палива.

Інший напрям – рециклізація тепла при охолодженні сусла. Після кип'ятіння сусло охолоджують в пластинчастому теплообміннику до ~8...12 °C, використовуючи холодну воду і гліколь. При цьому тепло від сусла передається воді – на виході отримують гарячу воду ~70...80 °C. Її також збирають в окремий бак і застосовують для технологічних потреб, передусім для наступного затирання або промивання дробини. Система Krones EquiTherm пішла ще далі: вона інтегрувала процеси так, що тепло від охолодження сусла йде безпосередньо на нагрів заторної води в режимі реального часу. Тобто, замість зберігання гарячої води у баках, теплообмінник з'єднує гаряче охолоджуване сусло і холодну воду для затирання, нагріваючи воду практично до потрібних температур. У результаті споживання пари скорочується до мінімуму – первинна пара подається лише на кип'ятіння сусла, а все інше тепло береться з рекуперації. За даними Krones, впровадження EquiTherm дає економію до 55% теплової енергії і 40% електроенергії у варильному відділенні за рахунок оптимального використання надлишкового тепла [15].

Також до теплотехнічних рішень відноситься модернізація самих систем нагріву. Наприклад, замість прямого подавання пари в сорочку апарата застосовують зовнішні кип'ятильники, згадані раніше. Це дозволяє інтенсифікувати циркуляцію і швидше прогріти весь об'єм сусла.

| | | | | | | |
|-------|------|----------|--|------|---|------|
| | | | | | Техніко-економічне обґрунтування вибору технології інтенсифікації приготування сусла та опис апаратурно-технологічної схеми | Арк. |
| | | | | | | 25 |
| Змін. | Лист | № докум. | | Дата | | |

Традиційно при варінні випаровували ~8...10% сусла, тепер же, з удосконаленими технологіями, достатньо 4...5% випаровування, що економить енергію [31]. У 2023 р. компанія GEА представила систему QVOIL, яка поєднує часткове фракційне кип'ятіння з безперервною рекуперацією тепла: енергоспоживання на кип'ятіння скорочено на 60%, випаровування знижено до 0,5% замість 4%, а час кипіння зменшено з ~80 до 45 хв. Це досягається особливою організацією процесу: спочатку кип'ятиться концентрована частина сусла ~80% екстракту, а пара від неї нагріває решту сусла, що додається поступово. Одночасно працює вертикальна колона, що відгоняє леткі сполуки, і конденсує пар з поверненням тепла тут же на підігрів наступних порцій сусла. В результаті процес протікає без втрат тепла назовні. Очевидно, такі комплексні теплотехнічні нововведення є напрямом розвитку для великих пивоварень у найближчі роки, адже дозволяють одночасно збільшити пропускну здатність варильного відділення та суттєво скоротити витрати енергії [32].

Підсумовуючи, теплотехнічна інтенсифікація – це раціоналізація енергетичних потоків у варильному цеху. Вона не завжди прискорює саму хімію процесів, але усуває даремні простой на нагрів і охолодження, зберігає тепло для повторного використання і тим самим скорочує тривалість підготовчих операцій. Ефект від впровадження таких технологій дуже відчутний економічно: наприклад, на новітніх броварнях, оснащених комплексною рекуперацією, економія енергії до 50% і більше. До того ж, це демонструє екологічну відповідальність виробника, що є додатковою конкурентною перевагою.

Фізико-хімічні методи (регулювання рН, добавки)

Фізико-хімічні методи інтенсифікації полягають у цілеспрямованому впливі на хімічні та колоїдні параметри середовища з метою прискорення потрібних реакцій або покращення протікання процесів. Одним з найпростіших і дієвих засобів є регулювання кислотності затору і сусла. Відомо, що активність ферментів солоду дуже залежить від рН: оптимум дії амілаз – близько рН 5,2...5,6, протеаз – близько рН 4,5...5,3, β-глюканаз – ~рН 4,7...5,0. Затвор з солоду, як правило, сам по собі виходить у потрібному діапазоні 5,2...5,6 завдяки буферним властивостям солоду і солей жорсткості води. Але при використанні несолодованих добавок або дуже м'якої води рН затору може бути зависоким 5,8 і вище, що уповільнює ферментативні процеси. Тому пивовари часто вдаються до підкислення затору – додавання харчових кислот (молочної, фосфорної) або застосування підкисленого солоду, висушеного з утворенням молочної кислоти. Зниження рН до оптимального рівня інтенсифікує роботу ферментів, особливо β-глюканаз і протеаз, які при рН ~5,7 практично вже неактивні. Правильно відкоригований рН сприяє швидкому розщепленню білків і β-глюканів, цим самим скорочує тривалість затирання та покращує

| | | | | | | |
|-------|------|----------|--|------|---|------|
| | | | | | Техніко-економічне обґрунтування вибору технології інтенсифікації приготування сусла та опис апаратурно-технологічної схеми | Арк. |
| | | | | | | 26 |
| Змін. | Лист | № докум. | | Дата | | |

фільтрацію сусла через меншу в'язкість [10]. Крім того, рН впливає і на подальші стадії: при кип'ятінні сусла оптимальний рН $\sim 5,2 \dots 5,4$ сприяє кращій коагуляції білків і танінів, тоді як при високому рН осад гірше випадає і може залишатися в суслі, викликаючи мутність. Отже, контроль рН – важливий фізико-хімічний важіль управління процесом. На практиці сучасні броварні встановлюють автоматичні вимірювачі рН в заторних і суслотварильних апаратах та дозують кислоту або луг для підтримання заданого профілю кислотності по стадіях.

- *Керування мінеральним складом води та сусла* за допомогою іонного обміну або додавання солей. Вода для пивоваріння зазвичай пом'якшується, тобто з неї видаляють надлишок карбонатної жорсткості, яка піднімає рН.

Одним з методів є іонообмінне пом'якшення: пропускання води через колонку з катіонітом в Na^+ - формі, де кальцій і магній замінюються на натрій. М'яка вода знижує буферність затору, і його рН легше опустити до оптимуму. Інший приклад – деякі пивзаводи встановлюють установки зворотного осмосу або повної демінералізації іонами, щоб отримати практично чисту воду і далі самостійно додавати солі CaCl_2 , CaSO_4 , MgSO_4 тощо в потрібних кількостях. Це дозволяє точно задати іонний склад і рН середовища, що може прискорити процеси. Приміром, кальцій в заторі реагує з фітином солоду, виділяючи фітинову кислоту, яка знижує рН – тому додавання CaSO_4 або хлориду кальцію на початку затирання – давній прийом для прискорення закислення затору і активації ферментів [33]. Водночас на стадії кип'ятіння присутність достатньої кількості кальцію сприяє випаданню білків кальцій нейтралізує карбоксильні групи білків, знижує їх розчинність. Тому корекція води солями – теж фізико-хімічна інтенсифікація, хоч і опосередкована.

Використання окисно-відновних добавок для керування процесами. Здебільшого намагаються мінімізувати окислення сусла, адже кисень при високій температурі спричиняє окисні реакції, що шкодять кольору і смаку пива надалі. Деякі сучасні броварні впроваджують низькоокисигенне варіння, додаючи антиоксиданти як метабісульфіт або проводячи затирання і перекачки в середовищі інертного газу, щоб запобігти окисленню. Що дозволяє зберегти якість і, наприклад, дозволяє скоротити витримки, пов'язані з окисно-відновним дозріванням.

Отже, фізико-хімічні методи інтенсифікації часто забезпечують оптимальні умови, за яких основні процеси: ферментативні, теплові, масообмінні протікають максимально швидко і результативно. Ці методи відносно недорогі й прості, тому широко застосовуються.

| | | | | | | |
|-------|------|----------|--|------|---|------|
| | | | | | Техніко-економічне обґрунтування вибору технології інтенсифікації приготування сусла та опис апаратурно-технологічної схеми | Арк. |
| | | | | | | 27 |
| Змін. | Лист | № докум. | | Дата | | |

Апаратурні рішення (модернізація обладнання заторних і сушварильних апаратів, фільтраційного обладнання)

Апаратурна інтенсифікація багато в чому перекликається з вже розглянутими методами, оскільки впровадження будь-якої нової технології вимагає відповідного обладнання. Тому далі розглянуто конкретні конструктивні рішення в обладнанні варильного відділення, які дозволяють інтенсифікувати процеси.

Модернізація заторних апаратів. У класичному пивоварінні існують окремі апарати для кожної операції – заторний апарат для приготування затору з нагріванням, відварочний апарат для кип'ятіння частини затору при відварному способі, фільтр-апарат для фільтрації. Сучасні варильні порядки часто об'єднують функції: застосовуються універсальні заторно-сушварильні апарати, в яких можна і затирати, і кип'ятити. Вони оснащені сорочками для нагріву, мішалками, автоматикою для програмованих пауз – це дозволяє проводити затирання без переливання в інші ємності. Таке обладнання економить час і енергію. Також у заторних апаратах вдосконалюють системи нагріву: використовують днищеві швидкодіючі нагрівачі, пряма подача пари для швидкого підігріву до наступної паузи тощо. В результаті перехід між температурами скорочується до мінімуму, тоді як раніше при відварному способі могли витратитися десятки хв на нагрівання великого об'єму. Наприклад, сучасний заторний апарат з паровою сорочкою і мішалкою може підняти температуру затору зі 52 °С до 72 °С за ~15 хв, що значно швидше за старі комплекси. Системи для безперервного затирання являють собою апарат, де затор протікає через серію зон з різною температурою або додаванням ферментів. Такі установки дозволяють буквально за 35...45 хв отримати повністю оцукрене сусло, але вони складні в реалізації і налаштуванні, тому поки не витіснили класичні.

Модернізація фільтраційного обладнання. Крім згаданого раніше GEA LAUTERSTAR 2.0, можливе використання фільтр-пресів як Meura 2001, що складається з набору вертикальних пластин з фільтруючими перегородками, між якими гідравлічним пресом затискається дробина. Сусло під тиском продавлюється через шар дробини і тканинні фільтри. За рахунок великої площі фільтрації і можливості прикладати тиск, процес дуже швидкий: час фільтрації скорочується майже вдвічі, як було показано вище. До того ж, після завершення фільтрації пластини можуть розтискатися, і дробина механічно вивантажується – це економить ручну працю і час на очищення. В прес-фільтрі легко реалізувати обмежене промивання: можна контролювати кількість доданої води, щоб не розбавити сусло. У прес-фільтрі часто взагалі не використовують промивну воду або додають мінімум – завдяки тому, що під тиском вичавлюється майже все сусло з дробини вологість висівок виходить ~30% проти ~80%.

| | | | | | | |
|-------|------|----------|--|------|---|------|
| | | | | | Техніко-економічне обґрунтування вибору технології інтенсифікації приготування сусла та опис апаратурно-технологічної схеми | Арк. |
| | | | | | | 28 |
| Змін. | Лист | № докум. | | Дата | | |

Таким чином отримують сусло вищої концентрації і кращої якості, і майже немає втрат екстракту.

На деяких пивзаводах альтернативою прес-фільтру стала модернізація класичного фільтр-апарата: наприклад, система Steinecker Regasus – це фільтр-апарат з рухомим перфорованим днищем і спеціальними механізмами перемішування дробини під час фільтрації. Переміщення і розподілення шару дробини дозволяє підтримувати високу швидкість стікання сусла без забивання.

Модернізація сушварильних апаратів. Сучасні сушварильні апарати відрізняються від старих відкритих мідних апаратів. По-перше, вони закриті і оснащені конденсаторами для пари, як було згадано раніше. По-друге, в них інтегровано різні пристрої для інтенсифікації кип'ятіння: внутрішній кип'ятильник (трубчастий під нагнітанням пари) або зовнішній циркуляційний контур з насосом. Завдяки цьому сусло кипить інтенсивно і рівномірно, без “тихих зон”. По-третє, з'явилися принципово нові конструкції - система Merlin, розроблена компанією Hurrmann, тепер Kronen, яка реалізує концепцію тонкошарового кип'ятіння. Сусло подається на конус нагрівальний елемент і розтікається тонкою плівкою, миттєво нагріваючись і випаровуючи воду. Це дозволяє за дуже короткий час досягти ефектів, еквівалентних тривалому кип'ятінню: заявлено, що Merlin скорочує час кипіння з 90 до 35 хв і споживає на 70% менше енергії. Система Merlin встановлена на деяких пивоварнях у Німеччині і США, наприклад, Abita Brewing, New Belgium Brewing [34]. Інший приклад – згаданий GEA QBOIL з дистиляційною колонкою: хоча він поки апробований на дослідній установці 5 гл, але вже показав можливість знизити випаровування до 0,5% і варити сусло за 45 хв без втрати якості [32]. Такі апарати обладнані автоматикою, що дозволяє точно контролювати процес – наприклад, додавання хмелю порціями (фракційне охмелення) і його перемішування, вбудовані системи дозування вирби та збору осаду і т.д.

Автоматизація. Сучасні варильні порядки оснащені системами контролю датчики температур, тиску, концентрації, мутності і т.д., що з'єднані з програмованими логічними контролерами PLC. Це дозволяє реалізувати оптимальні режими без затримок і перевищень: наприклад, система сама перемкне нагрів з максимальної потужності на підтримуючу одразу, як досягнуто точки кипіння – щоб уникнути зайвого википання. Або, наприклад, автоматичний контроль витрати промивної води зупинить промивання точно коли треба, не розбавляючи сусло. Автоматика також мінімізує простой між варками – промивання і приготування обладнання відбувається по чіткому таймінгу, наступна варка стартує негайно, як тільки попередня закінчена і апарати очищені. Це знімає людський фактор і прискорює цикл виробництва.

| | | | | | | |
|-------|------|----------|--|------|---|------|
| | | | | | Техніко-економічне обґрунтування вибору технології інтенсифікації приготування сусла та опис апаратурно-технологічної схеми | Арк. |
| | | | | | | 29 |
| Змін. | Лист | № докум. | | Дата | | |

Інтенсифікація за рахунок масштабу і організації процесу. Сюди можна віднести такі заходи, як високогустинне варіння. Це швидше організаційний прийом, але він вимагає і відповідної апаратури – більш потужного бродильного обладнання, установок для змішування пива з водою при упаковці, та головне – здатності варильного відділення зварити сусло високої концентрації. Тут стають критично важливими згадані методи: додавання ферментів для повного збражування концентрованого сусла, фільтр-апарат, щоб отримати густе сусло без втрат, ефективне кип'ятіння, щоб добре ізомеризувати хміль при високій густині, тощо. Тому ця технологія тісно пов'язана з інтенсифікацією.

Апаратурна інтенсифікація вимагає значних інвестицій, але дає найбільший вигравш у продуктивності. Навіть часткова модернізація, як встановлення фільтр-апарата чи новітнього сусловарильного апарату, може підняти випуск пива на тому ж обладнанні в 1,5–2 рази і знизити собівартість. Саме тому провідні світові пивоварні компанії постійно оновлюють свої варильні цехи, інтегруючи найкращі досягнення інженерії.

Приклади інтенсифікації на пивоварних підприємствах Європи та США

Багато зі згаданих підходів уже впроваджено або випробувано на практиці в різних країнах.

Німеччина та Європа: Німецькі browарні відзначаються поєднанням традиційної якості і сучасної техніки. Компанія Warsteiner - одна з найбільших у Німеччині у співпраці з GEА провела пілотні випробування системи QVOIL для сусловаріння, яка показала до 60% економії енергії і скорочення часу кипіння до 45 хв. Це демонструє, що навіть на ринку з консервативним підходом до пива готові впроваджувати радикальні енергоефективні інновації. У Чехії – країні з історичною технологією трьохвідварний способу – теж відбувається модернізація. Найбільші заводи, Pilsner Urquell у Пльзені зберегли відварний метод задля автентичності, але оптимізували його: впровадили рекуперацію тепла від відварок, автоматизували процес перемішування і передачі відварок, використали закриті варильні ємності замість відкритих. Це дозволило економити енергію і воду, зберігаючи смак. Деякі інші чеські заводи перейшли на затирання з ферментами, скоротивши час варки. У Нідерландах пивоварний гігант Heineken відомий застосуванням високогустинного способу та загалом дуже високою ефективністю виробництва. На їхніх заводах, наприклад, у місті Хертогенбос, встановлені сучасні варильні порядки Steinecker із системами EquiTherm. Це дозволяє Heineken заявляти про одні з найнижчих у галузі питомих витрат енергії та води на гектолітр пива. Також Heineken одним з перших почав масово застосовувати біотехнологічні ферменти для забезпечення стабільної якості пива при високому ступені збражування, Dry пиво – результат

| | | | | | | |
|-------|------|----------|--|------|---|------|
| | | | | | Техніко-економічне обґрунтування вибору технології інтенсифікації приготування сусла та опис апаратурно-технологічної схеми | Арк. |
| | | | | | | 30 |
| Змін. | Лист | № докум. | | Дата | | |

використання глюкоамілази. У Бельгії – батьківщині прес-фільтра Meura – майже всі великі пивоварні перейшли на фільтр-преси ще в 1990-х, отримавши економічний ефект у вигляді підвищення екстрактивності на 1–2% і прискорення циклу варки. У Великобританії концерн Guinness теж використовує аналог прес-фільтра для своїх стаутів, оскільки той добре справляється з вівсяним і ячмінним дробом, що важко фільтрується звичайними методами [35].

В *Сполучених Штатах*, де присутні як велетенські заводи, так і безліч крафтових броварень, прикладів інтенсифікації не менше. Anheuser-Busch InBev, найбільший пивовар у світі, впровадив на своїх американських заводах комплексні заходи: всі їхні броварні працюють за високогустинною схемою, варять базове сушло ~15–17°P, яке після бродіння розбавляють до ~10°P, що дає економію часу і потужностей – це вважається комерційною таємницею успіху Budweiser. Також AB InBev активно модернізує обладнання: відомо, що на деяких лініях вони перейшли на безперервне варіння сусла. Компанія публічно звітує про екологічні досягнення: економія води, тепла, електроенергії. Sierra Nevada Brewing Co. – один з лідерів американського крафту – побудувала в 2015 році новий завод у м. Міллз Рівер за принципами найвищої енергоефективності. Цей завод отримав сертифікат LEED Platinum і оснащений широкою системою рекуперації тепла: теплообмінники на всіх етапах, повернення енергії від пари і води в процес. У результаті досягнуто зниження енергоспоживання варильного цеху на 50%, ніж на аналогічному стандартному заводі [36]. Ця броварня впровадила замкнений цикл води і тепла: гаряча вода після охолодження сусла йде на наступну варку, конденсація пари – на підігрів, пари CO₂ від бродіння – на насичення пива, і т.д. Такий цілісний підхід зробив її взірцем сталого пивоваріння у світі. Dogfish Head Brewery (Делавер), яка прославилася нестандартними рішеннями. В контексті інтенсифікації – Dogfish Head винайшли оригінальний спосіб безперервного охмелення сусла. Замість додавання хмелю порціями, вони створили пристрій, що подає хміль дрібними дозами щохв и протягом усього кип'ятіння. Така подача хмелю дала змогу досягти надзвичайної хмелевої ароматики без надмірної гіркоти, тобто підвищити сумарну екстракцію ароматичних масел і ізомеризацію плавно, уникаючи пікової горкоти [37].

Підсумовуючи, і в Європі, і в США можна побачити загальну тенденцію: інтенсифікація процесів приготування сусла стає нормою сучасного пивоваріння. Оптимізація і впровадження нових технологій дозволяють варити більше пива, з меншими затратами, стабільно високої якості. Ключові компанії інвестують в це, бо конкуренція і ціни на енергію змушують шукати шляхи інтенсифікації. А успішні приклади показують, що інновації виправдовують себе і з економічної, і з екологічної, і з якісної точки зору.

| | | | | | | |
|-------|------|----------|--|------|---|------|
| | | | | | Техніко-економічне обґрунтування вибору технології інтенсифікації приготування сусла та опис апаратурно-технологічної схеми | Арк. |
| | | | | | | 31 |
| Змін. | Лист | № докум. | | Дата | | |

Техніко-технологічна частина процесу приготування пивного сусла прийнята у роботі

Подрібнення сировини. Має на меті збільшити поверхню поділу зерна для ефективного вилучення крохмалю й інших цінних компонентів під час затирання. Молоткові дробарки подрібнюють зерна за допомогою швидко обертових молотків і сітки. Цей спосіб дає велику частку дрібної фракції, оскільки частина крохмалю розбивається в дрібні частинки, а оболонки часто руйнуються. Переваги молоткових дробарок – простота конструкції, відносна дешевизна та здатність досить швидко переробляти великі обсяги сировини.

Затирання солоду полягає у змішуванні подрібненого солоду з водою та підтримуванні маси за певними температурними режимами для активації ферментів, що розщеплюють крохмаль на цукри. Затирання проводиться з використанням сучасних підходів. Багатостадійне затирання з підтриманням низки температурних пауз. Використання комп'ютерно керованих апаратів дозволяє швидко перемикати зони обігріву та забезпечувати рівномірний прогрів затору. Однією із новітніх практик є затирання при постійній температурі з невеликою кількістю ферментів, що дозволяє знизити витрати на нагрів. А при регенеративній системі затирання тепло з охолодженого після варіння сусла використовується для підігріву нової партії затору. Для досягнення оптимального значення рН затору (зазвичай у діапазоні 5,2...5,5 застосовують природне підкислення. У цьому режимі вводять культури молочнокислих бактерій або частину попередньо забродженого сусла. Мікроорганізми виробляють молочну кислоту, що поступово знижує рН затору. Такий біологічний спосіб підкислення дозволяє уникнути додавання хімічних кислот, зберігаючи природний профіль смаку і покращуючи активність ферментів. Біопідкислення доцільне проводити на етапі подачі затору та підтримувати його температуру близько 30...40 °С для оптимального розвитку бактерій. Процес затирання проводиться однодварним способом

Температурні паузи. Контроль пауз має вирішальне значення для повноцінного розщеплення компонентів солоду. Технологія передбачає такі етапи:

- Білкова пауза (40...55 °С): активуються протеолітичні ферменти (протеази, пепсини), які руйнують білковий матрикс, підвищують розчинність білків і звільняють амінокислоти. Це покращує стабільність піни в готовому пиві та полегшує фільтрацію завдяки зменшенню колоїдів.
- Мальтозна (β-амілазна) пауза (62...65 °С): головні крохмалорозщеплювальні ферменти β-амілази розщеплюють крохмаль до мальтози і глюкози. Тривалість залежить від освітленості сусла і бажаного вмісту цукрів.

| | | | | | | |
|-------|------|----------|--|------|---|------|
| | | | | | Техніко-економічне обґрунтування вибору технології інтенсифікації приготування сусла та опис апаратурно-технологічної схеми | Арк. |
| | | | | | | 32 |
| Змін. | Лист | № докум. | | Дата | | |

- Декстринова (α -амілазна) пауза (68...72 °C): активуються α -амілази, що руйнують важчі фрагменти крохмалю (декстринів) на коротші цукрові молекули, забезпечуючи повніше вилучення екстракту. Ця пауза є фінальною для екстрагування крохмалю.

- Фінішне підвищення температури (75...78 °C): зупинка ферментативної активності (mash-out) забезпечує стабільність отриманого сусла до транспортування на наступну стадію.

Інтенсифікація цих пауз досягається за допомогою автоматизованих систем, які швидко змінюють режими нагріву і перемішування.

Фільтрація сусла. Після завершення затирання отримують суміш зернового шроту й рідкої фракції (сусло), яку необхідно відділити. Для цього застосовується фільтраційна стадія. Ефективною технологією є використання описаного вище GEA LAUTERSTAR 2.0. Початкова стадія фільтрації включає формування рівномірного зернового шару, що виконує функцію фільтра. В апараті цей процес проходить максимально стабільно завдяки точно сконструйованому фальшдну з оптимізованими щілинами та центральній системі відведення сусла. Як тільки шар стабілізується, запускається основна фільтрація першого сусла, яке має найвищу концентрацію екстрактивних речовин. Відтік сусла регулюється автоматизованою системою управління MLM, яка коригує швидкість фільтрації відповідно до опору шару та рівня сусла. Якщо під час фільтрації спостерігається зниження пропускну здатності дробини, активується скребковий механізм з подвійними лопатями, який обережно нарізає зерновий шар, зберігаючи його цілісність та відновлюючи гідравлічну проникність. Після завершення відведення першого сусла система переходить до промивання дробини гарячою водою температурою 76...78 °C. Промивна вода подається рівномірно через розподільне кільце над шаром, забезпечуючи повноцінне дифузійне вилучення залишкового екстракту з товщі дробини. Процес контролюється за рівнем рідини, швидкістю відведення та вмістом сухих речовин у фільтраті, що дозволяє оптимізувати промивання з мінімальними витратами води та енергії. При зниженні екстрактивності промивного фільтрату до технологічно прийняттого рівня система зупиняє подачу води. Далі слідує етап осушення дробини, під час якого граблі знижуються до повної глибини й перемішують шар з метою його видалення. Дробина транспортується до розвантажувального отвору й видаляється в бункер. Завдяки конструкції з центральним відведенням, автоматичним управлінням та інтелектуальними алгоритмами фільтрації GEA LAUTERSTAR® 2.0 забезпечує короткий цикл фільтрації, високий ступінь вилучення екстракту (до 98,7%) та повторюваність процесу навіть при зміні типу сировини, що є визначальними перевагами для сучасного вискоефективного пивоварного виробництва.

| | | | | | | |
|-------|------|----------|--|------|---|------|
| | | | | | Техніко-економічне обґрунтування вибору технології інтенсифікації приготування сусла та опис апаратурно-технологічної схеми | Арк. |
| | | | | | | 33 |
| Змін. | Лист | № докум. | | Дата | | |

Кип'ятіння сусла. Після фільтрації отримане світле сусло направляють на кип'ятіння – процес з метою стерилізації, концентрування сусла і екстрагування гірких і ароматичних речовин хмелю. Використовуються комбіновані установки з попереднім теплообмінником – для попереднього нагріву сусла. Інтегровані системи скорочують втрати тепла. Зниження тиску зменшує точку кипіння, що дозволяє скоротити час варки і зменшити окиснення сусла. Для інтенсифікації нагріву сусла застосовують парову рубашку на апараті. Завдяки постійному перемішуванню досягається швидкий і рівномірний нагрів без перегріву окремих ділянок. Це знижує ризик пригорання до ємності, забезпечує інтенсивніше кипіння і кращу екстракцію гіркоти. Запропонована система дозволяє оптимізувати витрати пару та плавно змінювати інтенсивність нагрівання. Скорочене кип'ятіння:

- Висока інтенсивність випаровування: збільшення потужності парового нагріву для швидшого випаровування, хоча це вимагає точного керування, аби не втратити якість.
- Вакуумне кип'ятіння: зниження тиску дозволяє випаровувати воду при нижчих температурах за короткий проміжок часу.

Рекуперація теплоти: інтенсифікація теплового балансу досягається шляхом повернення тепла у систему. Сусло після кип'ятіння або пар, що виділяється, може передавати тепло у проміжні нагрівні контури. Такі системи зменшують споживання енергії і води, підвищують енергоефективність відділення. Використання сучасних варильних апаратів, зовнішніх теплообмінників і систем термічної рекуперації дозволяє скоротити тривалість процесу та знизити енерговитрати при збереженні якості й стерильності сусла.

Освітлення та охолодження сусла. Після кип'ятіння у суслі містяться колоїди, білкові комплексні речовини та ферменти, які можуть призвести до каламутності пива, погіршення його стабільності. Далі йде стадія освітлення та охолодження сусла перед бродінням. Для інтенсифікації на цьому етапі застосовуються як добавки, так і спеціалізоване обладнання.

Однією з поширених практик є додавання каррагінану у гаряче сусло під кінець кип'ятіння. Каррагінан – це природна полісахаридна речовина, що у поєднанні з білками створює крупні, важчі частки, які осідають. Внаслідок цього утворюється коагулят білків та інших забруднень, що потім можна легко відділити після охолодження. Використання каррагінану знижує вміст мутних частинок і покращує термостійкість та прозорість майбутнього пива. Ступінь дозування контролюється відповідно до рецептури – речовина не впливає на дріжджі.

Зональні теплообмінники: охолодження кип'яченого сусла проводять у пластинчастих теплообмінниках часто з зональним розподіленням температур. Це означає, що є кілька стадій або секцій охолодження із різними температурними умовами. Перша секція може опускати

| | | | | | | |
|-------|------|----------|--|------|---|------------|
| | | | | | Техніко-економічне обґрунтування вибору технології інтенсифікації приготування сусла та опис апаратурно-технологічної схеми | Арк. 34 |
| Змін. | Лист | № докум. | | Дата | | |

температуру з 100 °С до ~80 °С за рахунок протитоку холодної води, друга – до 50...60 °С, а третя – до остаточної 10...15 °С. Такий зональний підхід має дві переваги: воно дозволяє максимально використовувати енергію води на попередньому етапі, і поступово знижувати температуру без стресу для стабільності суслу, навідміну від раптового охолодження, а також підвищує ефективність теплообміну. Зазвичай в якості охолоджувача використовується чиста вода і гліколеві розчини. Використання каррагінану і зональних охолоджувачів забезпечує високу прозорість і стабільність пива, гарантує отримання суслу точної температури для введення дріжджів.

3.3 Опис апаратурно-технологічної схеми

Солод та несолоджена сировина (ячмінь) подаються із складу за допомогою елеватора-норії 1 на стрічковий транспортер 2. Далі транспортер розподіляє сировину по окремих бункерах для тимчасового зберігання перед обробкою: світлий солод надходить у бункер №3, темний і карамельний солод – у бункер 4, а несолоджена сировина – у бункер 5. Перед подрібненням зерно проходить стадію очищення від домішок і металевих часток. Зернова сировина із бункерів направляється на повітряно-ситовий сепаратор 6, який видаляє пил, дрібні сторонні вclusions та уламки зерна. Очищений солод потім проходить через магнітний сепаратор 7 для вилучення металевих включень, що можуть потрапити в сировину під час транспортування.

Після очищення здійснюється відважування інгредієнтів для однієї варки. На автоматичних вагах 9 зважують задану кількість солоду та несолодженої сировини відповідно до рецептури. Відміряна сировина подається у бункери 9 (для солоду) і 10 (для несолоджених матеріалів). Таким чином забезпечується точне співвідношення компонентів засипу перед затиранням.

Далі проводиться подрібнення солоду і підготовка зернової сировини до екстракції. Солод дроблять у дробарці мокрою помелу 11. Для цього через змішувач у дробарку подається вода – суміш гарячої і холодної води – з метою зволоження зерна перед помелом. Мокрий помел дозволяє роздробити солод, зберігаючи цілісність оболонки зерна, що важливо для подальшого фільтрування суслу. Несолоджену сировину (ячмінь) додатково подрібнюють на молотковій дробарці 12, щоб досягти необхідної фракції помелу. Підготовлені подрібнену сировину після цього спрямовують на затирання. Спочатку подрібнена сировина з бункеру помелу 13 змішується з гарячою водою у передзаторному апараті 14, утворюючи рідкий попередній затор зернопродуктів. Отриманий розріджений затор відразу ж перекачується заторним насосом №15 з нижньої частини апарата 14 до основного заторного апарата 16. У цей апарат надходять одночасно дві потоки: попередньо оброблена суміш

| | | | | | | |
|-------|------|----------|--|------|---|------|
| | | | | | Техніко-економічне обґрунтування вибору технології інтенсифікації приготування суслу та опис апаратурно-технологічної схеми | Арк. |
| | | | | | | 35 |
| Змін. | Лист | № докум. | | Дата | | |

несолодженої сировини з передзаторного апарата, зволожений дроблений солод після мокрого помелу, а також розчин молочної кислоти. Після завершення процесу затирання одновідварним способом із застосуванням апарату 17 маса направляється на фільтраційний апарат 18, де утворюється фільтрувальний шар з зернових оболонок (дробини). Перші порції сусла повертають назад на зерновий шар: перше мутне сусло, що виходить на початку фільтрування, не відбирається, а рециклується у фільтрапарат, для забезпечення прозорості напівпродукта. Прозоре сусло накопичується в збірнику сусла №19. Для максимального вилучення екстрактивних речовин проводять промивання гарячою водою. Промивна вода подається у фільтраційний апарат порціями. Промита дробина збирається в збірнику 21, а промивна вода в збірнику 20 для подальшого повторного використання, зі збірника, після нагрівання, відцентровим насосом направляється в апарат 14 і 16 для підвищення енергоефективності виробництва. Зібране сусло перекачується через пластинчастий теплообмінник 22 в сусловарильний апарат 23 для кип'ятіння з хмелем. Відповідні порції хмелю завантажують у два окремі збірники-дозатори 24 – один для гіркого хмелю (раннє внесення), інший для ароматичного хмелю (пізнє внесення). Під час кип'ятіння сусло із котла безперервно циркулює через ці хмелеві дозатори за допомогою насосної системи, що дозволяє почергово екстрагувати гіркі речовини і ефірні олії з хмелю максимально ефективно, перед закінченням процесу до сусла додається каррагінан. Гарячі випари сусла відводяться з котла і конденсуються у спеціальному теплообміннику-конденсаторі 25 (кожухотрубний теплообмінник), охолоджуюча вода, що виступає холодоагентом в системі нагрівається, збираючись у верхній частині колони 26, повертаючись в систему як теплоносій для теплообмінника 22 – елемент енергозберігаючої системи. Для відокремлення звареного сусла від твердих залишків білково-хмельового осаду використовується гідроциклонний апарат 27 типу «Whirlpool». Прозоре гаряче сусло спрямовується насосом на двосекційний пластинчастий теплообмінник 28 для охолодження до температури бродіння. З пластинчастого теплообмінника сусло подається по ізольованих трубопроводах у бродильне відділення.

| | | | | | | |
|-------|------|----------|--|------|---|------|
| | | | | | Техніко-економічне обґрунтування вибору технології інтенсифікації приготування сусла та опис апаратурно-технологічної схеми | Арк. |
| | | | | | | 36 |
| Змін. | Лист | № докум. | | Дата | | |

4 ХАРАКТЕРИСТИКА ПРОЄКТОВАНОЇ ПРОДУКЦІЇ, СИРОВИНИ, ОСНОВНИХ І ДОПОМІЖНИХ МАТЕРІАЛІВ

4.1 Характеристика проєктованої продукції

Традиційно пиво виготовляється з води, ячмінного солоду, хмелю, пивних дріжджів. Часто при виробництві додатково застосовуються також несолоджені матеріали, а саме непророщене рисове, ячмінне, кукурудзяне зерно та борошно, а також інша сировина, яка містить вуглеводи, та інші допоміжні інгредієнти.

У курсовому проєкті розглянуто пиво світле Світлий Лагер і Льовенброй Світле та пиво темне Преміум Дарк Брю. Рецептúra проєктованих сортів пива наведена в табл. 4.1.

Таблиця 4.1 — Рецептúra проєктованих сортів пива

| Найменування сорту пива | Масова частка сухих речовин у початковому суслі, % | Витрата зернопродуктів на 1 дал | | Гіркота сусла, г/дал | Примітка |
|-------------------------|--|---------------------------------|-----|----------------------|------------|
| | | Найменування зернопродукту | % | | |
| Світлий Лагер | 12,0 | Солод світлий | 100 | 0,7 | світле |
| Льовенброй Світле | 11,0 | Солод світлий | 85 | 1,3 | світле |
| | | Ячмінь | 15 | | |
| Преміум Дарк Брю | 10,5 | Солод світлий | 86 | 2,1 | напівтемне |
| | | Солод карамельний | 10 | | |
| | | Солод палений | 4 | | |

Органолептичні показники проєктованих сортів, згідно з ТУ, наведено в наведені в табл. 4.2 та фізико-хімічні показники якості пива за ДСТУ 3888:2015 «Пиво. Загальні технічні умови» наведені в табл. 4.3-4.5 [1].

Таблиця 4.2 – Органолептичні показники якості проєктованих сортів пива

| Назва показника | Класичний Лагер | Льовенброй Світле | Преміум Дарк Брю |
|-------------------------|---|--|---|
| Зовнішній вигляд | Прозора, яскраво-золотиста піниста рідина з помірною до високої блискучою прозорістю; щільна стійка біла піна, без осаду та сторонніх включень, | Прозора, світло-солом'яна або світло-золота рідина високої прозорості; щільна біла піна дрібної структури; без каламутності, осаду | Прозора або з ледь помітною опалесценцією рідина від темно-янтарного до насичено-каштанового кольору; кремово-бежева стійка |

| | характерних дефектів не спостерігається. | та сторонніх включень. | Закінчення табл. 3.2 |
|---------------|---|--|---|
| Аромат | Чистий, зображений, легкий солодовий із делікатним квітково-трав'янистим хмелевим відтінком; відсутні побічні ароматичні тони. | Легкий, чистий з трав'янисто-квітковим відтінком, делікатний цитрусовий акцент, від свіжого Magnum, що проявляється одразу. | Чистий, виразно солодовий із відтінками карамелі, меласи, смажених горіхів та легкого какао; допускаються відтінки сухофруктів; без сторонніх запахів. |
| Смак | Чистий, зображений, солодовий із помірною хмелевою гіркотою, що відповідає сорту; післясмак сухий, освіжаючий, без сторонніх присмаків. | Чистий, солодовий із помірним трав'янисто-смолянистим відтінком, середньою хмелевою гіркотою та легкою пряно-трав'янистою нотою; післясмак м'який, збалансований, без сторонніх присмаків. | Чистий, солодовий із виразним карамельно-патоковим відтінком, помірною до середньої хмелевою гіркотою, легкими нотами обсмаженого солоду та шоколаду; післясмак тривалий, оксамитовий, без сторонніх присмаків. |

Таблиця 4.3 – Фізико-хімічні показники якості сортів пива

| Тип пива | Масова частка сухих речовин у початково му суслі, % | Масова частка спирту, %, не менше | Кислотність, см ³ , 1 моль/дм ³ розчину гідроксиду натрію на 100 см ³ пива | Колір, см ³ , 0,1 моль/дм ³ розчину йоду на 100 см ³ води | Масова частка діоксиду вуглецю, %, не менше |
|--------------------------------------|---|-----------------------------------|---|--|---|
| Світлий Лагер | 12,0 | 3,4 | 1,3-3,2 | 0,2-1,8 | 0,33 |
| Льовенброй Світле | 11,0 | 3,8 | 2,0-3,5 | 1,9-3,9 | 0,35 |
| Преміум Дарк Брю | 10,5 | 3,2 | 1,6-3,3 | Більше 4,0 | 0,32 |
| Стійкість пива, діб, не менше | | | | | |
| Фільтроване | Пастеризоване | | 30 | 30 | 30 |
| | Непастеризоване | | 7 | 8 | 8 |
| Нефільтроване | Освітлене | | 5 | 5 | 5 |
| | Неосвітлене | | 3 | 3 | 3 |

Таблиця 4.4 – Мікробіологічні показники пива

| Найменування показника | Норма | | | | Метод випробування |
|--|---|--|--|--|--|
| | Непастеризоване | | пиво розливне фільтроване та нефільтроване | пиво в пляшках, металевих банках та інших видах споживчої тари | |
| | пиво в пляшках з масовою часткою сухих речовин, % | пиво розливне фільтроване та нефільтроване | | | |
| | 8...11,5 | 12...20 | | | |
| Бактерії групи кишкових паличок (коліформи), БГКП | не допускаються в 3 см ³ | не допускаються в 10 см ³ | не допускаються в 1 см ³ | не допускаються в 10 см ³ | Згідно з чинною НД |
| Кількість мезофільних аеробних та факультативно-анаеробних мікроорганізмів, не більше ніж, КУО/см ³ | - | - | - | 5·10 ² | Згідно з чинною НД |
| Патогенні мікроорганізми, в тому числі бактерії роду Сальмонела | не допускаються в 25 см ³ | не допускаються в 25 см ³ | не допускаються в 25 см ³ | не допускаються в 25 см ³ | Згідно з порядком Державного санітарного нагляду |

Таблиця 4.5 – ГДК на важкі метали і миш'як та радіонукліди

| Найменування показника | Допустимий рівень, мг/кг, не більше ніж | Метод випробування |
|------------------------|---|-------------------------|
| Свинець | 0,3 | Згідно з ДСТУ 3888-2015 |
| Кадмій | 0,03 | Згідно з ДСТУ 3888-2015 |
| Ртуть | 0,005 | Згідно з ДСТУ 3888-2015 |
| Цинк | 10,0 | Згідно з ДСТУ 3888-2015 |
| Мідь | 5,0 | Згідно з ДСТУ 3888-2015 |
| Миш'як | 0,2 | Згідно з ДСТУ 3888-2015 |
| Цезій 137, БК/кг | 600,0 | Згідно з ДСТУ 3888-2015 |
| Стронцій 90, БК/кг | 200,0 | Згідно з ДСТУ 3888-2015 |

Органолептична оцінка пива здійснюється за наступними показниками: прозорість, колір, смак, аромат, хмелеву гіркоту, насиченість діоксидом вуглецю, піноутворення та піностійкість пива. Максимальна дегустаційна оцінка — 25 балів, яка складається з оцінки прозорості — 3, кольору — 3, смаку — 5, хмелевої гіркоти — 5, аромату — 4 і піностійкості — 5. Загальна дегустаційна оцінка світлого пива наведена в табл. 4.6.

Таблиця 4.6 — Загальна оцінка якості пива

| Оцінка | Загальний бал |
|--------------|---------------|
| відмінно | 22...25 |
| добре | 19...21 |
| задовільно | 13...18 |
| незадовільно | 12 і менше |

4.2 Характеристика сировини

До основної сировини, що використовується при виробництві пива відносять ячмінний солод, ячмінь, гранульований гіркий та ароматичний хміль. Також надзвичайно важливу роль відіграє вода.

У табл. 4.7 наведено характеристики зернової сировини [38].

Таблиця 4.7 – Характеристики зернової сировини

| Найменування | Вологість, % | Екстрактивність, % | Насипна густина, кг/м ³ |
|-------------------|--------------|--------------------|------------------------------------|
| Солод світлий | 5,6 | 76,0 | 530 |
| Солод палений | 5,0 | 74,0 | 530 |
| Карамельний солод | 6,0 | 72,0 | 530 |
| Ячмінь | 15,0 | 74,0 | 500 |

Органолептичні показники світлого, темного та карамельного солоду наведені у табл. 4.8, а фізико-хімічні – у табл. 4.9 згідно з вимогами ДСТУ 4282:2004 «Солод пивоварний ячмінний. Загальні технічні умови» [39].

Таблиця 4.8 - Органолептичні показники світлого, паленого, карамельного солоду

| Найменування показника | Характеристики світлого і паленого солоду | Характеристики карамельного солоду |
|-------------------------|---|--|
| Зовнішній вигляд | Однорідна зернова маса, що не містить запліснявілих та пошкоджених зерен. | Однорідна зернова маса, що не містить запліснявілих та пошкоджених зерен. |
| Колір | Для солоду високої якості – від світло-жовтого до жовтого. Для солоду I та II класу дозволено сірувато-жовтий. | Від світло-жовтого до брунатного з глянцеvim відливом. |
| Запах | Солодовий, більш концентрований у темного солоду. Не дозволено кислий, запах плісняви та інші не властиві солоду. | Солодовий. Не дозволено: пригорілий, затхлий і пліснявий та інші не властиві солоду. |
| Смак | Солодовий, солодкуватий. Не дозволено сторонній присмак. | Солодовий, солодкуватий. Не дозволено сторонній присмак. |

Таблиця 4.9 - Фізико-хімічні показники солоду

| Найменування показника | Високої якості | 1 класу | 2 класу | Карамельного |
|---|----------------|----------------|---------------------------------|---------------|
| Прохід через сито (2,2×20 мм), %, не більше | 2,0 | 3,0 | 7,0 | 7,0 |
| Масова частка смітної домішки, %, не більше | Не дозволено | 0,3 | 0,5 | 0,3 |
| Кількість зерен, % | 90,0 | 85,0 | 80,0 | 90,0 |
| Мучнистих, не менше, % | 90,0 | 85,0 | 80,0 | 90,0 |
| Склоподібних, не більше, % | 2,0 | 4,0 | 8,0 | 5,0 |
| Темних, не більше, % | Не дозволено | 4,0 | 8,0 | 5,0 |
| Вологість, %, не більше | 4,0 | 5,0 | 5,8 | 5,0 |
| Масова частка екстракту в сухій речовині солоду тонкого помелу, %, не менше | 80,0 | 78,5 | 76,5 | 75,0 |
| Різниця масових часток екстракту у сухій речовині солоду тонкого і грубого помелу, % | 1,0–1,5 | 1,6–2,5 | Не більше 3,5 | Не більше 3,6 |
| Масова частка білкових речовин у сухій речовині солоду, %, не більше | 10,5 | 11,0 | 11,5 | – |
| Розчинний азот у солоді (на сухій основі), % | 0,75–0,70 | 0,69–0,65 | 0,64–0,60 | – |
| Тривалість оцукрення, хв., не більше | 10 | 15 | 25 | – |
| Колір (0,1 моль/дм ³ йод), см ³ /100 см ³ води | Не більше 0,18 | Не більше 0,23 | Не більше 0,40 | 0,49–1,40 |
| Кислотність, см ³ NaOH 1 моль/дм ³ на 100 см ³ суслу | 0,9–1,1 | 0,9–1,2 | 0,9–1,3 | – |
| Прозорість (візуально) | Прозоре | Прозоре | Дозволена незначна опалесценція | – |
| Кінцевий ступінь зброджування, % | 79–81 | 75–78 | 74–70 | – |
| В'язкість, МПа·с за 20 °С | 1,45–1,54 | 1,55–1,60 | 1,61–1,78 | – |

У таблиці 4.10 наведені обмежувальні норми якості гранульованого хмелю згідно ДСТУ 7028:2009 «Гранули хмелю. Технічні умови» [40].

| | | | | | | |
|-------|------|----------|--|------|--|------|
| | | | | | Характеристика проектованої продукції, сировини та допоміжних матеріалів | Арк. |
| Змін. | Лист | № докум. | | Дата | | 41 |

Таблиця 4.10 – Обмежувальні норми якості хмелю гранульованого

| Найменування показника | Норма |
|--|--|
| Колір | Від світло-зеленого до зеленого на поверхні гранул і на їх зламі |
| Хроматометричний показник гіркоти (масова частка альфа-кислот), % у сухій речовині | не менше 2,5 |
| Вологість, % | 7–10 |
| Запах | чисто хмелевий |
| Вміст не хмелевих домішок | не допускається |
| Наявність плісняви | не допускається |

В рецептурі для сорту пива Льовенброй Світле передбачено використання ячменю як несолодженої сировини. Підприємство отримує ячмінь, далі відбувається його очистка та подрібнення на молотковій дробарці. За органолептичними та фізико-хімічними показниками пивоварний ячмінь має відповідати вимогам згідно з ДСТУ 3769-98 «Ячмінь. Технологічні вимоги», які наведені в табл. 4.11 [41].

Таблиця 4.11 — Органолептичні і фізико-хімічні показники ячменю

| Найменування показника | Вимоги до зерна ячменю, яке використовується у пивоварінні | |
|----------------------------------|--|---|
| | 1 класу | 2 класу |
| Колір | Світло-жовтий або жовтий | Світло-жовтий, жовтий або сірувато-жовтий |
| Вологість,%, не більше | 14,5 | 15,0 |
| Натура, г/л, не менше | Не регламентується | |
| Маса 1000 зерен, г, не менше | 40,0 | 38,0 |
| Масова частка білка,%, не більше | 11,0 | 11,5 |
| Смітна домішка, %, не більше | 1,0 | 2,0 |
| в тому числі: | | |
| Мінеральна домішка,%, не більше | 0,5 | 0,5 |
| в тому числі: | | |
| Галька | 0,1 | 0,1 |
| шлак і руда | 0,05 | 0,05 |
| зіпсовані зерна | У границях загального вмісту смітної домішки | |
| Вівсюг | - | |
| Кукіль | 0,3 | 0,3 |
| фузаріозні зерна | Не допускається | |
| Шкідлива домішка | 0,2 | 0,2 |
| у тому числі: | | |
| ріжки і сажка | 0,1 | 0,1 |

Обов'язковою сировиною у виробництві пива є вода. Для її характеристики наводимо вимоги ДСанПін 2.2.4-171-10 «Гігієнічні вимоги до води питної, призначеної для споживання людиною», а далі специфічні вимоги до підготовленої технологічної та технічної води.

У табл. 4.12 наведена характеристика води для виробництва пива згідно ДСанПін 2.2.4-171-10 [42].

Таблиця 4.12 – Характеристика води

| Назва показника | Оптимальні значення показника | | Граничні значення показника |
|---|-------------------------------|---|--|
| | За класичною технологією | Для розбавлення пива з високою густиною | |
| Водневий показник (рН) | 6,0...7,0 | 6,0...7,0 | 6,0...9,0 |
| Жорсткість води загальна, ммоль/дм ³ | 2...4 | не більше 2 | не більше 7,0 |
| Кальцій, ммоль/дм ³ | 2...4 | не більше 2, для запобігання помутнінню | Кальцій та магній в сумі не більше 7,0 |
| Магній, ммоль/дм ³ | Сліди | Сліди | |
| Співвідношення кальцію до магнію, не менше | 1:1 | 1:1 | 1:1 |
| Лужність загальна, ммоль/дм ³ | 0,5...1,5 | Сліди | 0,5...6,5 |
| Співвідношення Са до лужності (показник лужності), не менше | 1,0 | 1,0 | 1,0 |
| Залізо, мг/дм ³ , не більше | 0,1 | 0,1 | 0,3 |
| Хлориди, мг/дм ³ , не більше | 70 | 70 | 150 |
| Сульфати, мг/дм ³ , не більше | 150 | 150 | 200 |
| Нітрати, мг/дм ³ , не більше | 25 | 25 | 45 |
| Марганець, мг/дм ³ , не більше | 0,05 | 0,05 | 0,1 |
| Сірководень, мг/дм ³ , не більше | 0 | 0 | 0 |
| Алюміній, мг/дм ³ , не більше | 0,5 | 0,5 | 0,5 |
| Цинк, мг/дм ³ | 0,14...5,0 | 0,14...5,0 | 0,14...5,0 |
| Мідь, мг/дм ³ , не більше | 0,5 | 0,5 | 1,0 |

У табл. 4.13 наведені мікробіологічні показники технологічної води згідно ДСанПін 2.2.4-171-10 [42].

| | | | | | | |
|-------|------|----------|--|------|--|------|
| | | | | | Характеристика проекрованої продукції, сировини та допоміжних матеріалів | Арк. |
| | | | | | | 43 |
| Змін. | Лист | № докум. | | Дата | | |

Таблиця 4.13 - Мікробіологічні показники технологічної води

| № п/п | Назва показника | Оптимальні значення показника | | Граничні значення показника |
|----------|---|-------------------------------|---|-----------------------------|
| | | За класичною технологією | Для розбавлення пива з високою густиною | |
| 1 | Загальна кількість бактерій в 1 см ³ води, не більше | 100 | 20 | 100 |
| 2 | Бактерії кишкової крупі: в 100 см ³ води, не більше; | 0 | 0 | 0 |
| | в 1000 см ³ води, не більше | 3 | 0 | 3 |

Під час затирання та приготування пивного суслу за потреби проводяться реагентне корегування окремих показників води (рН, лужність і жорсткість).

Головним показником для оцінки технологічних властивостей води для виробництва пива є співвідношення тих іонів, які найбільше впливають на активну кислотність середовища. Величина рН складної буферної системи ячмінно-солодового затору формується завдяки, в основному, вмісту фосфат-іонів $H_2PO_4^-$, HPO_4^- , PO_4^- , які переходять в розчин із сировини. Зміни рН відбуваються, якщо порушується іонна рівновага внаслідок дії катіонів та аніонів води на фосфат-іони.

Для виробництва пива Преміум Дарк Брю темне передбачено використання *мультиензимного ферментного препарату Церемікс 2ХЛ*.

Церемікс 2ХЛ містить такі наступні ферментативні активності:

α -амілазу (гідролізує 1,4- α -глікозидні зв'язки амілози та амілопектину. Внаслідок цього крохмаль швидко гідролізується до розчинних декстринів і олігосахаридів);

β -глюканазу (руйнує бета-глюкан ячменю та солоду (1,4- бета, 1,3- бета- глюкан) на олігосахариди, що складаються з 3...5 глюкозних одиниць), протеазу (розщеплює протеїн до розчинних пептидів).

Таким чином, цей ферментний препарат містить кілька окремих ферментів, що спрощує їхнє внесення.

Церемікс 2ХЛ отримано шляхом змішування стандартних ферментів, отриманих при роздільній ферментації *Bacillus amyloliquefaciens*.

Застосування. Церемікс 2ХЛ застосовується у пивоварінні, якщо частина солоду замінюється ячменем, а також у разі виробництва солодового екстракту та ячмінних сиропів.

Рекомендації щодо дозування. Початкове дозування, що рекомендується – близько 1,5 кг Церемікса 2ХЛ на 1 т ячменю. Проте оптимальне дозування має визначатися дослідним шляхом

4.3 Характеристика основних і допоміжних матеріалів

Вимоги до якості основних і допоміжних матеріалів наведені в табл. 4.14 [43,44].

| | | | | | | |
|-------|------|----------|--|------|--|------|
| | | | | | Характеристика проектованої продукції, сировини та допоміжних матеріалів | Арк. |
| | | | | | | 44 |
| Змін. | Лист | № докум. | | Дата | | |

Таблиця 4.14 – Характеристика основних і допоміжних матеріалів

| Найменування матеріалу | Характеристика | Нормативна документація |
|----------------------------------|--|-----------------------------|
| Молочна кислота 100 %-ва | Сиропоподібна, прозора рідина без осаду та муті зі слабким, характерним для молочної кислоти запахом. Кислий смак, без стороннього присмаку. Масова частка загальної молочної кислоти не менше ніж $40,0 \pm 1,0$ %, в т.ч., що прямо титрується, не менше ніж 37,5 %. Кислотність не більше ніж 6,5 °. Масова частка, не більше ніж, %, ангідридів – 2,5, золи – 0,6. | ДСТУ 4621:2006 |
| Хлорид кальцію | Містить – CaCl_2 . Важкі метали, не більше, в мг/кг: кадмій – 0,05; свинець – 1,0; ртуть – 0,02; миш'як – 1,0; цинк – 50,0; мідь – 25,0. | За документацією виробника |
| Пляшки полімерні | Видуються з поліетилен-терефталату вітчизняного виробництва | ТУУ 6-002096 51.1 27-97 |
| Кеги | Використовують для герметизації пляшок | За документацією виробника |
| Ковпачок полімерний з прокладкою | Надрукована на поліпропіленовій стрічці, зберігається у вигляді бухти по 15000...20000 шт. | ТУУ 21643937.001-2000 |
| Етикетка поліпропіленова | Для пляшок друкують на папері густиною 70...80 г/дм ² | ТУУ 22.1-16476839-001-04 |
| Етикетка і кольєретка | Зберігають за температури + 15...+25 °С та відносній вологості 40...60%, захищеним від прямих сонячних променів. Термін придатності 4 місяці. | ТУУ 21.2-20625995001-2002 |
| Клей декстрин | Сиропоподібна, прозора рідина без осаду та муті зі слабким, характерним для молочної кислоти запахом. Кислий смак, без стороннього присмаку. | ТУ У 24.6-31635720-002-2008 |

| | | | | | | |
|-------|------|----------|--|------|--|------|
| | | | | | Характеристика проектованої продукції, сировини та допоміжних матеріалів | Арк. |
| Змін. | Лист | № докум. | | Дата | | 45 |

5 ТЕХНОЛОГІЧНІ РОЗРАХУНКИ

5.1 Вихідні дані до технологічних розрахунків

Технологічні розрахунки продуктів виробництва пива складаються з розрахунку витрат сировини, об'єму напівпродуктів та відходів виробництва на одиницю готової продукції. Витрати для розрахунку обирають з урахуванням сучасної технології виробництва, чинних нормативів і досягнень підприємств галузі [45].

Асортимент та обсяг виробництва проєктованих сортів пива наведено в табл. 2.1, а рецептура – в табл. 3.1.

Характеристика сировина, яка використовується для приготування обраних сортів пива наведена в табл. 4.7.

Втрати на стадіях виробництва пива наведені в табл. 5.1.

Таблиця 5.1 – Втрати на стадіях виробництва пива

| Втрати | Пиво з масовою часткою сухих речовин в початковому суслі, % | | |
|--|---|--------------------------------------|---------------------------------------|
| | <i>Класичний Лагер 12%</i> | <i>Льовенброй Світле 11%</i> | <i>Преміум Дарк Брю 10,5%</i> |
| Екстракту: | | | |
| з пивною дробиною, % від маси зернопродуктів | 2,2 | 2,2 | 2,2 |
| з хмельовою дробиною, шламом під час сепарування, стискування, під час охолодження, на змочування трубопроводів, % від об'єму гарячого сусла | 6,3 | 6,0 | 5,5 |
| У цеху бродіння, % від об'єму холодного сусла | 2,2 | 2,3 | 2,2 |
| Під час доброджування та фільтрування, % від об'єму молодого пива | 2,4 | 2,6 | 2,4 |
| Під час розливу, % від об'єму фільтрованого пива: | | | |
| у пляшки (за вирахуванням поверненого пива) | 2,5 | 2,5 | 2,5 |
| у кеги (так само як у пляшки) | 0,5 | | |
| Загальні видимі з рідкою фазою (від гарячого сусла до готового пива) | 12,8 | 12,5 | 12,1 |
| Загальні дійсні з рідкою фазою (від сусла у варильному цеху, приведеного до 20 °С, до готового пива), % від об'єму сусла, приведеного до 20 °С | 9,2 | 8,8 | 8,4 |
| Під час пастеризації пива в пляшках, % від об'єму пастеризованого пива | 2,2 | 2,2 | 2,2 |

5.2 Продуктові розрахунки

Пиво Класичний Лагер з початковою концентрацією сусла 12 % готується з застосуванням 100% ячмінного світлого солоду, в 100 кг вихідної сировини знаходиться 100 кг солоду.

Під час полірування солоду: Втрати становлять 0,1%:

$$100 \cdot 0,001 = 0,1 \text{ кг};$$

На подрібнення:

$$100 - 0,1 = 99,9 \text{ кг};$$

Кількість сухих речовин: При вологості 5,6%:

$$99,9 \cdot (1 - 0,056) = 94,30 \text{ кг};$$

Екстрактивність: 76%:

$$94,30 \cdot 0,76 = 71,67 \text{ кг};$$

Втрати з дробиною: 2,2%:

$$71,67 \cdot (1 - 0,022) = 70,09 \text{ кг};$$

Сухі речовини в дробині:

$$94,30 - 70,09 = 24,21 \text{ кг};$$

Визначення проміжних продуктів

Гаряче сусло. Із проведених розрахунків в сусло переходить така кількість екстрактивних речовин: 70,09 кг, при 12% отримують сусла:

$$70,1 \cdot 100 / 12 = 584,17 \text{ кг};$$

Об'єм сусла за температури 20 °С (відносній густині сусла – 1,04840)

$$584,17 / 1,04840 = 557,2 \text{ дм}^3;$$

З розширенням:

$$557,11 \cdot 1,04 = 579,39 \text{ дм}^3;$$

Холодне сусло: Втрати 6,0%:

$$579,39 \cdot (1 - 0,06) = 544,63 \text{ дм}^3;$$

Молоде пиво: Втрати 2,3%:

$$544,63 \cdot (1 - 0,023) = 532,10 \text{ дм}^3;$$

Фільтроване пиво: Втрати 2,6%:

$$532,10 \cdot (1 - 0,026) = 518,27 \text{ дм}^3;$$

Готове пиво: Втрати 2,5%:

$$518,27 \cdot (1 - 0,025) = 505,31 \text{ дм}^3.$$

Пиво Льовенброй Світле початковою концентрацією сусла 11 % готується з застосуванням 85% світлого солоду, 15% ячменю.

Під час полірування: Втрати 0,1% для солоду:

$$85 \cdot 0,001 = 0,085 \text{ кг}$$

На подрібнення: 84,915 кг солоду, 15 кг ячменю.

Сухі речовини:

$$\text{Солод: } 84,915 \cdot (1 - 0,056) = 80,16 \text{ кг}$$

$$\text{Ячмінь: } 15 \cdot (1 - 0,15) = 12,75 \text{ кг}$$

$$\text{Всього: } 80,16 + 12,75 = 92,91 \text{ кг}$$

Екстрактивність:

$$\text{Солод: } 80,16 \cdot 0,76 = 60,92 \text{ кг}$$

| | | | | | | |
|-------|------|----------|--|------|-------------------------|------|
| | | | | | Технологічні розрахунки | Арк. |
| | | | | | | 47 |
| Змін. | Лист | № докум. | | Дата | | |

$$\text{Ячмінь: } 12,75 \cdot 0,74 = 9,44 \text{ кг}$$

$$\text{Всього: } 60,92 + 9,44 = 70,36 \text{ кг}$$

Втрати з дробиною: 2,2%:

$$70,36 \cdot (1 - 0,022) = 68,81 \text{ кг}$$

Сухі речовини в дробині:

$$92,91 - 68,81 = 24,10 \text{ кг}$$

Визначення проміжних продуктів

Гаряче сусло. Із проведених розрахунків в сусло переходить така кількість екстрактивних речовин: 68.81 кг, при 11% отримають сусла:

$$68,81 \cdot 100/12 = 625,55 \text{ кг};$$

Об'єм сусла за температури 20 °С (відносній густині сусла – 1,044)

$$625,55/1,044 = 599,19 \text{ дм}^3;$$

З розширенням:

$$599,19 \cdot 1,04 = 623,16 \text{ дм}^3;$$

Холодне сусло: Втрати 6,3%:

$$623,16 \cdot (1 - 0,063) = 583,90 \text{ дм}^3;$$

Молоде пиво: Втрати 2,3%:

$$583,90 \cdot (1 - 0,023) = 570,47 \text{ дм}^3;$$

Фільтроване пиво: Втрати 2,4%:

$$570,47 \cdot (1 - 0,024) = 556,78 \text{ дм}^3;$$

Готове пиво: Втрати готового пива до об'єму відфільтрованого пива при розливі пляшки складають для всіх найменувань пива 2,5 %. і під час розливу у кеги — 0,5 %. За умови, що розлиття у пляшки — 47 %, в кеги — 53 %, середньозважені втрати:

$$0,47 \cdot 2,5 + 0,53 \cdot 0,5 = 1,44 \text{ \%};$$

$$556,78 \cdot (1 - 0,0144) = 548,76 \text{ дм}^3.$$

Пиво Преміум Дарк Брю початковою концентрацією сусла 10,5 % готується з застосуванням 86% світлого солоду, 10% карамельного, 4% паленого.

Під час полірування: Втрати 0,1% для солоду:

$$86 \cdot 0,001 = 0,086 \text{ кг}$$

На подрібнення: 85.914 кг, 10 кг карамельного, 4 кг паленого.

Сухі речовини:

$$\text{Світлий: } 85,914 \cdot (1 - 0,056) = 81,10 \text{ кг}$$

$$\text{Карамельний: } 10 \cdot (1 - 0,06) = 9,4 \text{ кг}$$

$$\text{Палений: } 4 \cdot (1 - 0,05) = 3,8 \text{ кг}$$

$$\text{Всього: } 81,10 + 9,4 + 3,8 = 94,30 \text{ кг}$$

Екстрактивність:

$$\text{Світлий: } 81,10 \cdot 0,76 = 61,64 \text{ кг}$$

$$\text{Карамельний: } 9,4 \cdot 0,72 = 6,77 \text{ кг}$$

$$\text{Палений: } 3,8 \cdot 0,70 = 2,66 \text{ кг}$$

$$\text{Всього: } 61,64 + 6,77 + 2,66 = 71,07 \text{ кг}$$

| | | | | | | |
|-------|------|----------|--|------|-------------------------|------|
| | | | | | Технологічні розрахунки | Арк. |
| | | | | | | 48 |
| Змін. | Лист | № докум. | | Дата | | |

Втрати з дробиною: 1,8%:

$$71,07(1-0,018) = 69,79 \text{ кг}$$

Сухі речовини в дробині:

$$94,30 - 69,79 = 24,51 \text{ кг}$$

Визначення проміжних продуктів

Гаряче сусло. Із проведених розрахунків в сусло переходить така кількість екстрактивних речовин: 69,79 кг, при 10,5 % отримують сусла:

$$69,79 \cdot 100/10,5 = 664,67 \text{ кг};$$

Об'єм сусла за температури 20 °С (відносній густині сусла – 1,042)

$$664,67/1,042 = 637,88 \text{ дм}^3;$$

З розширенням:

$$637,88 \cdot 1,04 = 663,40 \text{ дм}^3;$$

Холодне сусло: Втрати 5,8%:

$$663,40(1-0,058) = 624,92 \text{ дм}^3;$$

Молоде пиво: Втрати 2,2%:

$$624,92(1-0,022) = 611,17 \text{ дм}^3;$$

Фільтроване пиво: Втрати 2,4%:

$$611,17(1-0,024) = 596,50 \text{ дм}^3;$$

Готове пиво: Втрати 2,5%:

$$596,50 \cdot (1-0,025) = 581,59 \text{ дм}^3.$$

Сумарні видимі втрати по рідкій фазі визначають за різницею об'ємів гарячого сусла і товарного пива:

$$\text{Класичний Лагер} - 579,39 - 505,31 = 74,08 \text{ дм}^3;$$

$$\text{Льовенброй Світле} - 599,19 - 548,76 = 50,43 \text{ дм}^3;$$

$$\text{Преміум Дарк Брю} - 637,88 - 581,59 = 56,29 \text{ дм}^3.$$

або у % до об'єму гарячого сусла:

$$\text{Класичний Лагер} - 74,08 \cdot 100/579,39 = 12,79 \text{ \%};$$

$$\text{Льовенброй Світле} - 50,43 \cdot 100/599,19 = 8,42 \text{ \%};$$

$$\text{Преміум Дарк Брю} - 56,29 \cdot 100/637,88 = 8,82 \text{ \%}.$$

Розрахунки витрат хмелепродуктів, молочної кислоти і ферментних препаратів

Хміль та хмелепродукти. Витрати хмелю розраховують за формулою:

$$N_{п} = G_{с} \cdot 100 \cdot 100 \cdot 100 / ((\alpha + 1) \cdot (100 - W) \cdot (100 - V_{тр}))$$

де $N_{п}$ – норма хмелю на 1 дал готового пива; $G_{с}$ – норма гірких речовин на 1 дал гарячого сусла; α – масова частка α -кислот, %; 1 – величина гіркоти β фракцій в хмелі, %; W – масова частка вологи в хмелі, %; $V_{тр}$ – втрати по рідкій фазі, %.

Класичний Лагер. Для виробництва використано сорт хмелю Citra, $G_{с}$ становить 0,7, вміст α -кислоти – 12 %. Втрати по рідкій фазі від гарячого сусла до готового пива – 12,79%, вологість гранульованого хмелю – 12%.

$$N_{п} = (0,7 \cdot 100 \cdot 100 \cdot 100) / ((12 + 1) (100 - 12) (100 - 12,79)) = 7,01 \text{ г/дал}$$

| | | | | | | |
|-------|------|----------|--|------|-------------------------|------|
| | | | | | Технологічні розрахунки | Арк. |
| | | | | | | 49 |
| Змін. | Лист | № докум. | | Дата | | |

Льовенброй Світле. Для виробництва використано сорт хмелю Magnum, G_c становить 1,3, вміст α -кислоти – 11 %. Втрати по рідкій фазі від гарячого суслу до готового пива – 8,42%, вологість гранульованого хмелю – 12%.

$$N_{п} = 1,3 \cdot 100 \cdot 100 \cdot 100 / ((11+1) \cdot (100-12) \cdot (100-8,42)) = 13,42 \text{ г/дал}$$

Преміум Дарк Брю. Для виробництва використано сорт хмелю Nugget, G_c становить 2,1, вміст α -кислоти – 9,5 %. Втрати по рідкій фазі від гарячого суслу до готового пива – 8,82%, вологість гранульованого хмелю – 12%.

$$N_{п} = 2,1 \cdot 100 \cdot 100 \cdot 100 / ((9,5+1) \cdot (100-12) \cdot (100-8,82)) \approx 24,89 \text{ г/дал}$$

Ферментні препарати. Для виробництва пива Класичний Лагер 12 %-го використовують 100 % світлого ячмінного солоду, тому ферментні препарати не застосовуються.

Для виробництва пива Преміум Дарк Брю 10,5 %-го використовують 86 % ячмінного світлого солоду, 10 % – карамельного солоду, 4 % – паленого солоду, тому ферментні препарати не застосовуються.

Для виробництва пива Льовенброй Світле 11 %-го використовують 85 % ячмінного солоду і 15 % ячменю, тому застосовують амілолітичний ферментний препарат Церемікс 2ХЛ з активністю 1000 амілазних одиниць/г. Витрати ферментного препарату розраховують за формулою:

$$m = 2,21 \cdot 10000 / (1000 \cdot 100) = 0,0221 \text{ г/дал}$$

де – 2,21 витрата зернопродуктів на виробництво 1 дал пива, кг.

Молочна кислота. Розрахунок витрат 40%-ї молочної кислоти: 0,2 кг на 100 кг зернової сировини наведено в табл. 5.2.

Таблиця 5.2 – **Втрати на стадіях виробництва пива**

| Сорт пива | Зернопродукти, кг/дал | Молочна кислота 40%, кг/дал |
|----------------------|--------------------------|--------------------------------|
| Класичний Лагер | 2,16 | 0,432 |
| Льовенброй Світле | 2,21 | 0,442 |
| Преміум Дарк Брю | 2,18 | 0,436 |

Пивна дробина. Кількість утвореної пивної дробини з вологістю 86 % визначається множенням кількості СР, що залишилися в дробині, на коефіцієнт 7,14. Кількість пивної дробини при варці суслу пива:

$$\text{Класичний Лагер : } 24,21 \cdot 7,14 = 172,83 \text{ кг}$$

$$\text{Льовенброй Світле: } 24,10 \cdot 7,14 = 172,17 \text{ кг}$$

$$\text{Преміум Дарк Брю: } 24,51 \cdot 7,14 = 174,97 \text{ кг}$$

Білковий відстій. Із 100 кг витрачених зернопродуктів незалежно від найменування пива отримають 1,75 кг відстою з вологістю 80 %

| | | | | | | |
|-------|------|----------|--|------|-------------------------|------|
| | | | | | Технологічні розрахунки | Арк. |
| Змін. | Лист | № докум. | | Дата | | 50 |

Надлишкові дріжджі. Витрати дріжджів з вологістю 86 % на 10 дал пива за умови головного бродіння сусла і доброджування пива в циліндричноконічних бродильних апаратах ЦКБА – 1,53 дм³. Половину надлишкових дріжджів використовують як засівні, а інша – є відходом. Кількість дріжджів, яка йде на відходи, визначають множенням кількості готового пива в дм³ на 0,01:

$$\text{Класичний Лагер} : 505,31 \cdot 0,01 = 5,05 \text{ дм}^3$$

$$\text{Льовенброй Світле} : 548,76 \cdot 0,01 = 5,49 \text{ дм}^3$$

$$\text{Преміум Дарк Брю} : 581,59 \cdot 0,01 = 5,82 \text{ дм}^3$$

Діоксид вуглецю. Класичний Лагер :

$$\text{Об'єм холодного сусла} : 544,63 \text{ дм}^3$$

$$\text{Маса сусла} : 544,63 \cdot 1,0484 = 570,90 \text{ кг}$$

$$\text{Екстракт} : 570,90 \cdot 0,12 = 68,51 \text{ кг}$$

$$\text{Ступінь зброджування} : 62,5\%$$

$$\text{CO}_2 \text{ (всього)} : 68,51 \cdot 0,625 \cdot 176 / 342 = 22,01 \text{ кг}$$

$$\text{CO}_2 \text{ у пиві} : 570,90 \cdot 0,0035 = 1,998 \text{ кг}$$

$$\text{CO}_2 \text{ в атмосферу} : 20,01 \text{ кг} \rightarrow 20,01 / 1,832 = 36,58 \text{ м}^3$$

Льовенброй Світле:

$$\text{Об'єм холодного сусла} : 583,90 \text{ дм}^3$$

$$\text{Маса сусла} : 583,90 \cdot 1,044 = 609,59 \text{ кг}$$

$$\text{Екстракт} : 609,59 \cdot 0,11 = 67,05 \text{ кг}$$

$$\text{Ступінь зброджування} : 60\%$$

$$\text{CO}_2 \text{ (всього)} : 67,05 \cdot 0,6 \cdot 176 / 342 = 20,72 \text{ кг}$$

$$\text{CO}_2 \text{ у пиві} : 609,59 \cdot 0,0035 = 2,13 \text{ кг}$$

$$\text{CO}_2 \text{ в атмосферу} : 18,59 \text{ кг} \rightarrow 18,59 / 1,832 = 33,59 \text{ м}^3$$

Преміум Дарк Брю:

$$\text{Об'єм холодного сусла} : 624,92 \text{ дм}^3$$

$$\text{Маса сусл} : 624,92 \cdot 1,042 = 651,57 \text{ кг}$$

$$\text{Екстракт} : 651,57 \cdot 0,105 = 68,41 \text{ кг}$$

$$\text{Ступінь зброджування} : 58\%$$

$$\text{CO}_2 \text{ (всього)} : 68,41 \cdot 0,58 \cdot 176 / 342 = 20,35 \text{ кг}$$

$$\text{CO}_2 \text{ у пиві} : 651,57 \cdot 0,0035 = 2,28 \text{ кг}$$

$$\text{CO}_2 \text{ в атмосферу} : 18,07 \text{ кг} \rightarrow 18,07 / 1,832 = 32,68 \text{ м}^3$$

Виправний брак пива. Утворення такого пива за нормативами допускається до 2 % для всіх найменувань пива

$$\text{Класичний Лагер} : 505,31 \cdot 0,02 = 10,11 \text{ дм}^3$$

$$\text{Льовенброй Світле} : 548,76 \cdot 0,02 = 10,98 \text{ дм}^3$$

$$\text{Преміум Дарк Брю} : 581,59 \cdot 0,02 = 11,63 \text{ дм}^3$$

Зведені результати розрахунків з визначення витрат виробництва наведено в табл. 5.3.

| | | | | | | |
|-------|------|----------|--|------|-------------------------|------|
| | | | | | Технологічні розрахунки | Арк. |
| | | | | | | 51 |
| Змін. | Лист | № докум. | | Дата | | |

**Таблиця 5.3 –Зведена таблиця розрахунків продуктів
виробництва пива**

| Назва продукту | Класичний Лагер | | | Льовенброй Світле | | | Преміум Дарк Брю | | |
|---|---------------------------|------------|------------------|---------------------------|------------|------------------|---------------------------|------------|------------------|
| | 100 кг зернов ої сировини | 1 дал пива | Річна потужність | 100 кг зернов ої сировини | 1 дал пива | Річна потужність | 100 кг зернов ої сировини | 1 дал пива | Річна потужність |
| Сировина | | | | | | | | | |
| світлий солод, кг | 100 | 1,98 | 7 124 340 | 85 | 1,55 | 4 956 630 | 86 | 1,48 | 1 774 446 |
| ячмінь, кг | 0 | 0 | 0 | 15 | 0,27 | 874 699 | 0 | 0 | 0 |
| карамельний солод, кг | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 10 | 0,17 | 206 331 |
| палений солод, кг | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 4 | 0,07 | 82 532 |
| Хмелепродукти | | | | | | | | | |
| гранульований хміль, г | | 7,01 | 25 236 | | 13,42 | 42 944 | | 24,89 | 29 868 |
| Молочна кислота (100 %), кг | 0,08 | 0,0016 | 5 699 | 0,08 | 0,00146 | 4 665 | 0,08 | 0,00138 | 1 651 |
| Проміжні продукти | | | | | | | | | |
| гаряче сусло, дм ³ | 579,39 | 11,46 | 41 277 710 | 623,16 | 11,36 | 36 338 509 | 663,40 | 11,41 | 13 687 993 |
| холодне сусло, дм ³ | 544,63 | 10,78 | 38 801 290 | 583,90 | 10,64 | 34 049 129 | 624,92 | 10,75 | 12 894 032 |
| молоде пиво, дм ³ | 532,10 | 10,53 | 37 908 611 | 570,47 | 10,40 | 33 265 981 | 611,17 | 10,51 | 12 610 327 |
| фільтроване пиво, дм ³ | 518,27 | 10,26 | 36 923 314 | 556,78 | 10,15 | 32 467 673 | 596,50 | 10,26 | 12 307 639 |
| товарне пиво, дм ³ | 505,31 | 10,00 | 36 000 000 | 548,76 | 10,00 | 32 000 000 | 581,59 | 10,00 | 12 000 000 |
| Відходи | | | | | | | | | |
| пивна дробина (86 % волог.), кг | 172,86 | 3,42 | 12 315 091 | 172,07 | 3,14 | 10 034 201 | 175,00 | 3,01 | 3 610 820 |
| білковий відстій, кг | 1,75 | 0,03 | 124 676 | 1,75 | 0,03 | 102 048 | 1,75 | 0,03 | 36 108 |
| надлишкові дріжджі, дм ³ | 5,05 | 0,10 | 360 000 | 5,49 | 0,10 | 320 000 | 5,82 | 0,10 | 120 000 |
| СО ₂ в атмосферу, м ³ | 36,58 | 0,72 | 2 606 083 | 33,59 | 0,61 | 1 958 743 | 32,68 | 0,56 | 674 289 |
| виправний брак пива, дм ³ | 10,11 | 0,20 | 720 000 | 10,98 | 0,20 | 640 000 | 11,63 | 0,20 | 240 000 |

5.3 Розрахунки витрат основних і допоміжних матеріалів

Пляшки. Необхідна кількість пляшок визначають за формулами:

$$N_{\text{пл.заг}} = Q \cdot 100 / (V(100 - K_6)) \text{ шт.};$$

$$N_{\text{пл.нов}} = Q \cdot (K_n + K_6) / (100V) \text{ шт.};$$

$$N_{\text{пл.об}} = Q / (Vn) \text{ шт.},$$

де $N_{\text{пл.заг}}$, $N_{\text{пл.нов}}$, $N_{\text{пл.об}}$ — необхідна кількість пляшок відповідно загальна, нових і зворотних, шт.; Q — річний випуск продукції в пляшках, дм³; $V = 0,5$ — місткість пляшки, дм³; $K_6 = 3,09$ — бій пляшок при зберіганні, митті і розливі, %; $K_n = 5$ — кількість пляшок, які не повертаються від населення, %; $n = 40$ — кількість оборотів пляшок в рік.

Льовенброй Світле:

Пляшки (0,5 дм³):

$$N_{\text{пл.заг}} = 1\,500\,000 \cdot 100 / [0,5 \cdot (100 - 3,09)] \approx 3\,095\,656 \approx 3,096 \text{ млн шт.}$$

$$N_{\text{пл.нов}} = 1\,500\,000 \cdot (5 + 3,09) / (100 \cdot 0,5) \approx 242\,700 \approx 0,243 \text{ млн шт.}$$

$$N_{\text{пл.об}} = 1\,500\,000 / (0,5 \cdot 40) = 75\,000 = 0,075 \text{ млн шт.}$$

Ящики:

$$N_{\text{ящ.заг}} = 3,095\,656 \cdot 10^6 / (20 \cdot 0,98) \approx 0,158 \text{ млн ящиків}$$

$$\text{Нових} = 0,158 \cdot 0,10 = 0,0158 \text{ млн ящиків}$$

$$\text{Оборотних} = 3,095\,656 \cdot 10^6 / (800) \approx 3\,869 \text{ шт.} = 0,00387 \text{ млн.}$$

Кронен-пробки, етикетки, за нормами витрат 104,5% і 103% відповідно:

$$\text{Пробок} = 3,095\,656 \cdot 10^6 \cdot 1,045 \approx 3,23496 \text{ млн шт.},$$

$$\text{Етикеток} = 3,095\,656 \cdot 10^6 \cdot 1,03 \approx 3,18852 \text{ млн шт.}$$

Каустична сода, 1100 кг на 1 млн пляшок:

$$3,095656 \cdot 1100 \approx 3\,405 \text{ кг.}$$

Клей-декстин, 0,275 кг на 1000 пляшок:

$$(3,095\,656 \cdot 10^6 / 1000) \cdot 0,275 \approx 851,3 \text{ кг.}$$

Кеги (5 дм³):

$$N_{\text{кег.заг}} = 1\,700\,000 / 5 = 340\,000 \text{ шт} = 0,340 \text{ млн кег}$$

$$\text{Нові (10\%)} = 34\,000 \text{ шт} (0,034 \text{ млн})$$

$$\text{Оборотні при 40} : 340\,000 / 40 = 8\,500 \text{ шт} = 0,0085 \text{ млн.}$$

Класичний Лагер :

Пляшки (0,5 дм³):

$$N_{\text{пл.заг}} = 3\,600\,000 \cdot 100 / [0,5 \cdot (100 - 3,09)] \approx 7,4296 \text{ млн шт.}$$

$$N_{\text{пл.нов}} = 3\,600\,000 \cdot (5 + 3,09) / (100 \cdot 0,5) \approx 0,58248 \text{ млн шт.}$$

$$N_{\text{пл.об}} = 3\,600\,000 / (0,5 \cdot 40) = 180\,000 \text{ шт} = 0,180 \text{ млн шт.}$$

Ящики:

$$N_{\text{ящ.заг}} = 7,4296 \cdot 10^6 / (20 \cdot 0,98) \approx 0,3713 \text{ млн.}$$

$$\text{Нових} = 0,3713 \cdot 0,10 = 0,03713 \text{ млн.}$$

$$\text{Оборотних} = 7,4296 \cdot 10^6 / (20 \cdot 40) \approx 9\,287 \text{ шт} = 0,00929 \text{ млн.}$$

Кронен-пробки, етикетки:

$$\text{Пробок} \approx 7,4296 \cdot 10^6 \cdot 1,045 = 7,76390 \text{ млн шт.},$$

$$\text{Етикеток} \approx 7,4296 \cdot 10^6 \cdot 1,03 = 7,65246 \text{ млн шт.}$$

| | | | | | | |
|-------|------|----------|--|------|-------------------------|------|
| | | | | | Технологічні розрахунки | Арк. |
| | | | | | | 53 |
| Змін. | Лист | № докум. | | Дата | | |

Каустична сода:

$$7,4296 \cdot 1100 \approx 8\,172,6 \text{ кг}$$

Клей-декстин:

$$(7,4296 \cdot 10^6 / 1000) \cdot 0,275 \approx 2\,043,1 \text{ кг}$$

Преміум Дарк Брю:

Пляшки (0,5 дм³):

$$N_{\text{пл.заг}} = 1\,200\,000 \cdot 100 / [0,5 \cdot (100 - 3,09)] \approx 2,4765 \text{ млн шт.}$$

$$N_{\text{пл.нов}} = 1\,200\,000 \cdot (5 + 3,09) / (100 \cdot 0,5) \approx 0,19416 \text{ млн шт.}$$

$$N_{\text{пл.об}} = 1\,200\,000 / (0,5 \cdot 40) = 60\,000 \text{ шт} = 0,060 \text{ млн.}$$

Ящики:

$$N_{\text{ящ.заг}} = 2,4765 \cdot 10^6 / (20 \cdot 0,98) \approx 0,12635 \text{ млн.}$$

$$\text{Нових} = 0,12635 \cdot 0,10 = 0,01264 \text{ млн.}$$

$$\text{Оборотних} = 2,4765 \cdot 10^6 / (20 \cdot 40) \approx 3\,096 \text{ шт} = 0,00310 \text{ млн.}$$

Кронен-пробки, етикетки:

$$\text{Пробок} \approx 2,4765 \cdot 10^6 \cdot 1,045 = 2,58797 \text{ млн шт.},$$

$$\text{Етикеток} \approx 2,4765 \cdot 10^6 \cdot 1,03 = 2,55082 \text{ млн шт.}$$

Каустична сода:

$$2,4765 \cdot 1100 \approx 2\,724,2 \text{ кг.}$$

Клей-декстин:

$$(2,4765 \cdot 10^6 / 1000) \cdot 0,275 \approx 681,0 \text{ кг}$$

Таблиця 5.4 — Зведена таблиця розрахунків тари та допоміжних матеріалів

| Тара і допоміжні матеріали | Кількість допоміжних матеріалів та тари на | |
|--|--|----------|
| | Добу, тис. | Рік, млн |
| Скляні пляшки (загальна кількість) | 46,44 | 13,003 |
| – у тому числі нові скляні пляшки | 3,64 | 1,020 |
| – оборотні скляні пляшки | 1,13 | 0,315 |
| Ящики (загальна кількість) | 2,34 | 0,656 |
| – у тому числі нові ящики | 0,23 | 0,0656 |
| – оборотні ящики | 0,06 | 0,0163 |
| Кеги (5 дм³, загальна кількість) | 1,21 | 0,340 |
| – у тому числі нові кеги | 0,12 | 0,034 |
| – оборотні кеги | 0,03 | 0,0085 |
| Кронен-пробки | 48,45 | 13,587 |
| Етикетки | 47,83 | 13,392 |
| Каустична сода (кг) | 0,051 | 0,0143 |
| Клей-декстин (кг) | 0,013 | 0,00358 |

6 РОЗРАХУНОК ПЛОЩ ВИРОБНИЧИХ І СКЛАДСЬКИХ ПРИМІЩЕНЬ

Площі складських приміщень розраховують за кількістю і характером вантажів, розміщених в них та за нормами розміщення вантажів. Вихідними даними для розрахунків площі складських приміщень є результати розрахунку продуктів. У варильному відділенні передбачене тимчасове зберігання сировини у складському приміщенні, яке повинно вміщувати 2 місячний запас матеріалів.

Розрахунок потреби у річному запасі сировини наведено у табл. 6.1.

Таблиця 6.1 – Використання основної та допоміжної сировини за рік

| Сировина | Класичний Лагер | Льовенброй Світле | Преміум Дарк Брю | Разом, кг |
|-------------------------------|--------------------|----------------------|---------------------|-----------------------|
| Солод світлий | 7 124 340 | 4 956 630 | 1 774 446 | 13 855 416 |
| Солод карамельний | — | — | 206 331 | 206 331 |
| Солод палений | — | — | 82 532 | 82 532 |
| Усього солоду | | | | 14 144 279 |
| Ячмінь (несолоджена сировина) | — | 874 699 | — | 874 699 |
| Гранульований хміль | 25 236 | 42 944 | 29 868 | 98 048 |
| Молочна кислота (100 %) | 5 699 | 4 665 | 1 651 | 12 015 |

Площа складу для сировини та допоміжних матеріалів визначається за формулою:

$$S = M \cdot n \cdot k / (m \cdot \tau)$$

де M — річна кількість сировини та матеріалів; n — норма запасу сировини, міс.; k — коефіцієнт використання площі; τ — кількість місяців роботи заводу в рік, міс.; m — питома навантаження на 1 м^2 площі, кг.

Склад хмелю:

$$S_{\text{хміль}} = 98048 \text{ кг} \cdot 2 \cdot 1,5 / (11,3 \cdot 1000) = 26,0 \text{ м}^2$$

Склад несолодженої сировини:

$$S_{\text{ячмінь}} = 874699 \cdot 2 \cdot 1,5 / (11,3 \cdot 1000) = 232,2 \text{ м}^2$$

Склад солоду:

$$S_{\text{солод}} = 14144279 \cdot 1 \cdot 1,5 / (11,3 \cdot 1000) = 625,9 \text{ м}^2$$

Склад молочної кислоти:

$$S_{\text{мол. кисл.}} = 12015 \cdot 2 \cdot 1,5 / (11,3 \cdot 1000) = 3,2 \text{ м}^2$$

| | | | | | | |
|-------|------|----------|--|------|---|------|
| | | | | | Розрахунок площ виробничих і складських приміщень | Арк. |
| | | | | | | 55 |
| Змін. | Лист | № докум. | | Дата | | |

7 РОЗРАХУНКИ ТА ПІДБІР ТЕХНОЛОГІЧНОГО ОБЛАДНАННЯ

Розрахунок кількості та підбір технологічного й допоміжного обладнання, із застосуванням якого реалізується технологічний процес виконують відповідно до виробничої потужності, прийнятої технологічної схеми, результатами продуктових розрахунків, матеріальними балансами та потужністю серійного обладнання [46]. При виборі обладнання перевагу віддають сучасному обладнанню, яке виробляється серійно, максимально задовольняє технологічні вимоги та відповідає за продуктивністю фактичній потужності операції.

Візьмемо дані про річний випуск пива кожного сорту і витрати зернопродуктів на 1 дал:

Класичний Лагер (3,6 млн дал/рік) – витрата зернопродуктів 2,16 кг/дал.
Отже річна потреба:

$$M = 3,6 \cdot 10^6 \cdot 2,16 \text{ кг} = 7\,776\,000 \text{ кг} = 7776 \text{ т.}$$

Льовенброй Світле (3,2 млн дал/рік) – витрата 2,21 кг/дал.

$$M = 3,2 \cdot 10^6 \cdot 2,21 = 7\,072\,000 \text{ кг} = 7072 \text{ т.}$$

Преміум Дарк Брю (1,2 млн дал/рік) – витрата 2,18 кг/дал.

$$M = 1,2 \cdot 10^6 \cdot 2,18 = 2\,616\,000 \text{ кг} = 2616 \text{ т.}$$

Місячне надходження зернопродуктів Q_c обчислюємо за формулою

$$Q_c = M \cdot n \cdot k,$$

де M – річна потреба (т), n – кількість місяців (1), k – частка максимальної місячної виробітки ($\sim 0,1$).

Для *Класичний Лагер* :

$$Q_c = 7776 \cdot 1 \cdot 0,1 = 777,6 \text{ т/місяць.}$$

Для *Льовенброй Світле*:

$$Q_c = 6011,2 \cdot 0,1 = 601,12 \text{ т/міс (85\% від 7072 т);}$$

$$\text{для ячменю: } Q_c = 1060,8 \cdot 0,1 = 106,08 \text{ т/міс (15\% від 7072 т).}$$

Для *Преміум Дарк Брю*:

$$\text{світлого солоду } Q_c = 2249,76 \cdot 0,1 = 224,98 \text{ т/міс (86\% від 2616 т);}$$

$$\text{карамельного солоду } 26,16 \text{ т/міс;}$$

$$\text{паленого солоду } 10,464 \text{ т/міс.}$$

Класичний Лагер : $777,6/120 = 6,48 \rightarrow 7$ силосів (світлого солоду).

Льовенброй Світле: $601,12/120 = 5,01 \rightarrow 6$ силосів (світлого солоду);

$106,08/120 = 0,88 \rightarrow 1$ силос (ячменю).

Преміум Дарк Брю: $224,98/120 = 1,88 \rightarrow 2$ силоси (світлого солоду);

$26,16/120 = 0,218 \rightarrow 1$ силос (карамельного); $10,464/120 = 0,087 \rightarrow 1$ силос

(паленого солоду).

Таким чином, на елеваторі встановлюються силоси 120 м^3 ($\approx 120 \text{ т}$) з урахуванням усіх сортів ($7+6+1+2+1+1 = 18$ шт)

Розрахунок обладнання для обробки зернопродуктів

Загальний річний обсяг зернопродуктів

$$M_{\text{вс}} = 7776 + 7072 + 2616 = 17464 \text{ т.}$$

| | | | | | | |
|-------|------|----------|--|------|--|------|
| | | | | | Розрахунок та підбір технологічного обладнання | Арк. |
| Змін. | Лист | № докум. | | Дата | | 56 |

Обсяг за 3-місячний квартал – 0,3 Мвс=5239,20 т. При тривалості роботи варильного відділення 28,5 діб на місяць (тому 3 місяці – 85,5 діб) середня добова продуктивність:

$$M_{доб} = 5239,2 / 85,5 \approx 61,3 \text{ т/добу.}$$

За добову продуктивність підбрано норію та інше обладнання:

Норія НЦ-20 (20 т/год) – для подачі солоду з елеватора в бункер. Вимога: $Q_{ч} = M_{доб} / 4,5 \approx 13,6$ т/год, тому приймаємо норію НЦ-20 (20 т/год)

Стрічковий транспортер Bühler MGEL Belt Conveyor – для переміщення солоду з норії в бункер (необхідно транспортувати близько 61 т/добу; тех. характеристики в табл 7.1).

Автоматичні ваги – для зважування зернової суміші (підбираються за продуктивністю норії; компанія Mettler-Toledo)

Повітряно-ситовий сепаратор Kason Vibroscreen – очищення солоду. Продуктивність 6,0 т/год.

Магнітний сепаратор Magnattack/Eriez – очищення від металевих домішок. Продуктивність 2,0 т/год

Дробарка кондиційованого подрібнення Künzel – продуктивність 6 т/год, електродвигун 62 кВт, тривалість роботи 7,5 год/добу. Призначена для подрібнення солоду. Забезпечує ≈ 45 т/добу (за 7,5 год) – достатньо для необхідної маси солоду.

Молоткова дробарка Bühler MultimpactFine АНМ – продуктивність 1 т/год, потужність 42 кВт, 4 год/добу. Використовується для дроблення несолодженої сировини (ячменю) та карамельного і паленого солоду; дає до ≈ 4 т/добу, що покриває потребу ($\approx 3,5$ т/добу).

Заторний апарат Kaspar Schulz – об'єм 39 м³, кількість 2 шт. Використовується для затирання зернової суміші.

Фільтраційний апарат GEA LAUTERSTAR 2.0 - коефіцієнт вилучення екстракту – до 98,7 %, із централ. відведенням сусла, подвійними скрепаючими ножами, автоматизованим керуванням.

Насос заторний Fristam FZ – продуктивність ≈ 300 м³/год, до 16 бар; забезпечує транспортування сусла.

Інше допоміжне обладнання підбирається для варильного відділення підбирається за технічними даними фірм виробників, зазначено у табл. 7.1.

Таблиця 7.1. – Специфікація технологічного обладнання

| Номер позиції на АТС | Назва, тип (марка) обладнання | Кількість | Технічна характеристика | Потужність електродвигуна, кВт | Тривалість роботи двигуна, год/доб | Примітка |
|----------------------|--------------------------------|-----------|--|--------------------------------|------------------------------------|----------|
| 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 |
| - | Силоси для зберігання сировини | 18 | Місткість – 120 м ³ ; габаритні розміри, мм: 2500x2500x2500 | - | - | |

Продовження табл. 7.1

| | | | | | | |
|----|---|----|---|------|-----|-----------------------------------|
| 1 | Норія Tornum Skandia SEI 50/18 | 1 | Продуктивність по солоду - 60 т/год; Габаритні розміри, мм: 270x250x24700; | ~5.5 | 2 | Tornum (Швеція) |
| 2 | Стрічковий транспор- тер Bühler MGEL Belt Conveyor | 1 | Продуктивність до 30 т/год | 4.5 | 5 | Bühler, (Швейцарія) |
| 8 | Автомати- чні ваги | 2 | продуктивність ~6 т/год, платформа ~0.5·0.35 м | - | - | Mettler- Toledo (Швейцарія) |
| 6 | Повітряно- ситовий се- паратор Kason Vibroscreen | 1 | продуктивність ~6 т/год | ~4.5 | 2 | Kason (США) |
| 7 | Магнітний сепаратор | 2 | Продуктивність - 2 т/год; | - | - | Magnattack/ Eriez (США) |
| 11 | Дробарка кондиційо- ваного по- дрібнення Künzel Malt Mill with conditioning | 1 | Продуктивність – 6 т/год; габаритні розміри, мм: 2200x1000x5400 | 62 | 7,5 | Künzel (Німеччина) |
| 12 | Молоткова дробарка Bühler MultimactF ine AHM | 1 | Продуктивність – 1 т/год; Габаритні розміри, мм: 1600x1200x450 | 42 | 4 | Bühler (Швейцарія) |
| 16 | Заторний апарат | 2 | Об'єм – 39 м ³ ; габаритні розміри, мм: діаметр – 3500, висота – 4200 | ~5.5 | 4 | Kaspar Schulz (Німеччина) |
| 17 | GEA Mash Kettle МК | 1 | Засип до 5 т | 15 | 6 | GEA (Німеччина) |
| 15 | Насос зато- рний Fristam FZ Series Pump | 12 | Продуктивність –300 м ³ /год, тиск до 16 бар; га- баритні розміри, мм: 1500x700x700 | 7,5 | 4 | Fristam (Німеччина) |
| 18 | Фільтрацій- ний апарат GEA | 1 | Засип – 10,0 т; габаритні розміри, мм: діаметр – 6000, висота - 3700 | 22,2 | 10 | GEA (Німеччина) |

Розрахунок та підбір технологічного обладнання

Арк.

58

Змін. Лист № докум. Дата

Закінчення табл. 7.1

| | | | | | | |
|----|--|---|---|-----|-----|---------------------|
| | LAUTERST AR 2.0 | | | | | |
| 20 | Збірник промивної води GEA Hot Liquor Tank | 1 | Місткість - 16,0 м ³ Габаритні розміри, мм: діаметр - 2400, довжина - 3200 | - | - | GEA (Німеччина) |
| 21 | Бункер дробини Krones Spent Grains Tank | 1 | Місткість бункера 6 т: габаритні розміри, мм: 2400x2000x2800 | 2,6 | 2,5 | Krones (Німеччина) |
| 23 | Сушварильний апарат GEA Wort Boiler Merlin | 1 | Місткість 50 м ³ , габаритні розміри, мм: діаметр – 5200, висота – 4700 | 7,5 | 10 | GEA (Німеччина) |
| 24 | Збірник хмелю GEA Hop Dosing Units | 2 | Габаритні розміри, мм: діаметр – 600, висота – 900 | - | - | GEA (Німеччина) |
| 27 | Апарат гідроциклонний GEA Whirlpool | 1 | Місткість 60 м ³ . Габаритні розміри, мм: діаметр – 3500, висота – 4200 | - | - | GEA (Німеччина) |
| 22 | Теплообмінник пластинчастий Alfa Laval FrontLine | 2 | Продуктивність 150 гл/год. Габаритні розміри 1600x700x1400 | - | - | Alfa Laval (Швеція) |

8 КОНТРОЛЬ ЯКОСТІ ТА БЕЗПЕЧНОСТІ ГОТОВОЇ ПРОДУКЦІЇ

8.1 Основи системи управління якістю та безпекою харчової продукції

Сучасне промислове пивоваріння потребує впровадження комплексних систем управління якістю та безпекою. Найпоширенішими світовими підходами в харчовій промисловості є принципи HACCP (Hazard Analysis and Critical Control Points) та міжнародні стандарти ISO 9001 і ISO 22000. HACCP задає системний превентивний підхід до виявлення, оцінки та контролю небезпечних факторів на всіх етапах виробництва харчових продуктів [47]. ISO 9001 визначає вимоги до системи менеджменту якості з акцентом на задоволеності споживача та постійному покращенні, тоді як ISO 22000 встановлює вимоги до системи управління безпекою харчових продуктів (FSMS), інтегруючи принципи HACCP і сумісний із ISO 9001 [48]. Обидві системи передбачають документовані процедури, внутрішній аудит, верифікацію та постійне вдосконалення.

HACCP передбачає сім ключових принципів, які формують основу процесу контролю безпеки:

- Аналіз небезпечних факторів (Hazard Analysis) – системна ідентифікація потенційних фізичних, хімічних і мікробіологічних ризиків на всіх етапах від отримання сировини до реалізації продукції.
- Визначення критичних контрольних точок (ССР) – встановлення стадій виробництва, на яких можливі найбільш серйозні небезпеки, і запровадження на них контролю.
- Встановлення критичних меж – визначення меж (температури, часу, рівня рН тощо), при виході за які система перестає гарантувати безпеку продукту.
- Моніторинг ССР – регулярне спостереження за параметрами на критичних точках (періодичне вимірювання температури, складу середовища тощо) з документуванням результатів.
- Коригувальні дії – алгоритми дій персоналу при виявленні відхилень від критичних меж (наприклад, повторне нагрівання, утилізація партії, ретельніша дезінфекція).
- Верифікація – перевірка ефективності системи HACCP (наприклад, внутрішні аудити, лабораторні аналізи для підтвердження безпеки продукції).
- Документування та запис – ведення протоколів і журналів на кожному етапі (результати аналізів, моніторингу, аудитів тощо) для підтвердження виконання вимог HACCP.

Ці принципи формують превентивну систему, що забезпечує контроль безпеки і зменшує ризик харчових отруєнь. Ефективно впроваджена HACCP-система покращує розуміння технологічного процесу

| | | | | | | |
|-------|------|----------|--|------|--|------|
| | | | | | Контроль якості та безпеки готової продукції | Арк. |
| | | | | | | 60 |
| Змін. | Лист | № докум. | | Дата | | |

всіма працівниками, вимагає залучення керівництва і фахівців різного профілю (технологів, мікробіологів, інженерів тощо) [49]. НАССР не замінює належну виробничу практику, а інтегрується в неї, поглиблюючи контроль над критичними елементами.

ISO 9001:2015 визначає вимоги до системи менеджменту якості (QMS). Цей стандарт орієнтований на процесний підхід, управління ресурсами, внутрішній аудит і неперервне покращення. Сертифікація ISO 9001 підтверджує здатність організації стабільно виробляти продукцію, що відповідає вимогам споживачів та регуляторів. У контексті пивоваріння це означає документовані технологічні процедури, контроль вихідної сировини, калібрування устаткування, а також системні інструменти аналізу скарг і відгуків споживачів.

ISO 22000:2018 – це міжнародний стандарт системи менеджменту безпечності харчових продуктів (FSMS). Він поєднує принципи НАССР з елементами менеджменту та вимагає наявності пререквізитних програм (GMP, SSOP тощо). ISO 22000 вимагає, зокрема, проведення аналізу небезпек, встановлення ССР, документування процедур управління безпечністю, комунікації у ланцюгу постачання та залучення керівництва до політики безпечності. На практиці впровадження ISO 22000 забезпечує послідовний контроль за безпечністю від закупівлі сировини до випуску готового пива на ринок. Цей стандарт сумісний з ISO 9001, що дозволяє інтегрувати систему менеджменту якості і безпечності в єдину систему вимог [50]. При цьому ISO 22000 фокусується на профілактиці усуненні кореневих причин ризиків, а не лише на контрольних випробуваннях готової продукції.

В Україні законодавчо закріплено обов'язковість системи НАССР для всіх учасників харчового ланцюга. Згідно з Законом України «Про якість та безпечність харчових продуктів» 1997 р. усі виробники харчової продукції мають запровадити систему НАССР або еквівалентну їй систему безпечності, зокрема ISO 22000 [47]. Додатково Законом №2042-VIII 2017 р. та постановами Кабміну деталізовано поетапне впровадження НАССР у країні. Зокрема, з 20 вересня 2019 р. набули чинності нові вимоги, що обов'язково вимагають від усіх підприємств харчової сфери впровадження системи аналізу небезпечних факторів та критичних контрольних точок. У разі невиконання вимог передбачені адміністративні санкції та штрафи, а Державна служба з безпечності харчової продукції має право проводити перевірки без попередження.

Сертифікація за ISO 9001 і 22000 у пивоварній галузі поки що переважно добровільна, але є важливим конкурентним чинником. Багато великих українських броварень отримали міжнародні сертифікати. Компанія «Уманьпиво» має сертифікати ISO 9001:2015 і ISO 22000:2018 (відповідно до ДСТУ ISO 22000:2019) для інтегрованої системи управління якістю і безпечністю [51]. Інші великі виробники, зокрема ті, що входять до

| | | | | | | |
|-------|------|----------|--|------|--|------|
| | | | | | Контроль якості та безпечності готової продукції | Арк. |
| | | | | | | 61 |
| Змін. | Лист | № докум. | | Дата | | |

складу міжнародних груп (Carlsberg, Heineken тощо), також успішно впровадили вимоги НАССР та ISO-сертифікацію, дотримуючись сучасних регуляторних норм.

У варильному відділенні пивоварні особливу увагу гігієнічним процедурам, які забезпечують підтримку санітарних умов і попереджають аварії безпеки. Наприклад, сировина повинна надходити з перевірених джерел з підтвердженим якісним сертифікатом, а вода – відповідати санітарним нормам. Устаткування проходить регулярні цикли очищення та стерилізації (CIP – Clean-In-Place), що усувають мікробіологічні або хімічні забруднення. Важливо контролювати параметри замішування – температуру і тривалість, рН сула, щоб уникнути росту непотрібної мікрофлори. Операції кип'ятіння та охолодження виступають критичними моментами: час кипіння визначається так, щоб гарантувати загибель патогенів, а швидке охолодження (за допомогою теплообмінників) виключає транзитний ріст бактерій у суслі. Кожна з цих стадій може бути визначена як CCP у НАССР-плані, наприклад, точка кип'ятіння з критичним обмеженням за температурою і часом, точка охолодження з контролем швидкості охолодження.

Управління виробничим процесом здійснюється через стандартизовані рецептури, технологічні карти та регламенти, передбачені ISO 9001. Кожен технологічний цикл документується, а відхилення аналізуються з точки зору потенційних причин, з підходом CAPA – Corrective and Preventive Actions. Критичні параметри фіксуються автоматично чи вручну, що дозволяє здійснювати моніторинг і своєчасно реагувати на відхилення. Крім того, у великих пивзаводах часто існують окремі лабораторії з якісним обладнанням для контролю сировини та процесів, що відповідає вимогам як ISO 9001, так і ISO 22000.

На етапі готового пива система управління якістю передбачає комплексні перевірки виробу. Лабораторний контроль включає фізико-хімічні аналізи: вимір вмісту спирту, залишкової екстрактивності, кислотності, кольору, прозорості та вмісту CO₂/O₂ у бутильованому або розливному пиві. Мікробіологічний контроль спрямований на виявлення заквасочних бактерій (лактобактерій, педіококів), випадкових дріжджів чи плісняви – усе це може призвести до псування або небажаних відхилень смаку. Органолептична оцінка проводиться дегустаційною комісією для виявлення дефектів аромату чи смаку. Фасування та пакування підпадають під контроль – тут важливо переконатися в герметичності тари та відсутності забруднення після пакувального обладнання. Усі ці процедури мають бути формалізовані й задокументовані. Велика пивоварня зазвичай має акредитовану лабораторію з внутрішніми аудиторами, що підтверджують її компетентність [52]. Впровадження цих заходів сприяє забезпеченню однорідності партій, задоволенню кінцевого споживача та формуванню довіри до бренду.

| | | | | | | |
|-------|------|----------|--|------|--|------|
| | | | | | Контроль якості та безпечності готової продукції | Арк. |
| | | | | | | 62 |
| Змін. | Лист | № докум. | | Дата | | |

Упровадження комплексної системи управління якістю та безпечністю на пивоварні передбачає поєднання міжнародних стандартів і національних вимог. HACCP забезпечує превентивний контроль технологічних ризиків, ISO 9001 гарантує цілісність системи менеджменту якості, а ISO 22000 – гнучку інтеграцію з HACCP для всього ланцюга виробництва пива. Спільна реалізація цих підходів на варильному відділенні та в процесі контролю готового пива дає змогу забезпечити стабільну якість продукції і її безпечність, відповідно до найсуворіших вимог.

8.2 Технохімічний і мікробіологічний контроль виробництва та його метрологічне забезпечення

Робота заводської лабораторії полягає в тому, щоб контролювати технологічний процес за допомогою зняття параметрів з речовин, які задіяні у виробництві, як при потраплянні їх на підприємство так і в самому процесі. Розташована лабораторія у адміністративному корпусі.

Для проведення фізико-хімічних досліджень у лабораторії повинні

бути:

- приміщення для приладів і проведення аналізів;
- вагова;
- зернова;
- підсобні приміщення.

Приміщення лабораторії повинні бути обладнані водопроводом, каналізацією, припливно-витяжною вентиляцією, опаленням, мати природне та штучне освітлення. Поверхня стін у лабораторних приміщеннях повинна бути водостійкою, легко митися; на висоту 1,5 м стіни облицьовують глазурованою плиткою або фарбують водостійкою фарбою світлих тонів; в автоклавних боксах поверхня стін на всю висоту повинна бути облицьована світлою глазурованою плиткою. Підлога у лабораторних приміщеннях має бути гладкою, легко митися, бути стійкою до дії дезінфікуючих засобів, при цьому покриття не повинно мати дефектів, бути слизьким.

Лабораторія повинна мати обладнання та засоби виміральної техніки, що необхідні для проведення досліджень. На кожен одиницю обладнання, що використовується, має бути паспорт підприємства-виробника та розроблена і затверджена керівником установи інструкція. Персонал лабораторії забезпечується спецодягом (халатами, шапочками та іншими засобами індивідуального захисту) залежно від характеру робіт.

Виробнича лабораторія складається з приміщень для фізико-хімічних та мікробіологічних досліджень, які забезпечують умови для їх проведення.

| | | | | | | |
|-------|------|----------|--|------|--|------|
| | | | | | Контроль якості та безпечності готової продукції | Арк. |
| | | | | | | 63 |
| Змін. | Лист | № докум. | | Дата | | |

Лабораторія також має бути акредитована згідно з чинним законодавством.

Мікробіологічні відділи виробничих лабораторій повинні мати такий основний набір приміщень:

- робочу кімнату для проведення досліджень;
- бокс для посівів;
- кімнату для знезараження та стерилізації;
- кімнату для підготовчих робіт (миття посуду, підготовка до стерилізації, приготування поживних середовищ).

Лабораторія стежить за тим, щоб продукти, які задіяні у виробництві були екологічно чисті та безпечні для здоров'я людини.

Схема технохімічного та мікробіологічного контролю і його метрологічне забезпечення наведено в табл. 8.1-8.3 [44].

Таблиця 8.1 – Схема технохімічного контролю виробництва

| Об'єкт контролю | Місце відбору проби | Контрольований показник (од., мір) | Метод контролю | Норма / техпоказник | Періодичність | Відповідальний |
|--------------------------|--------------------------------|---|------------------|--------------------------------------|---|----------------|
| Солод під час приймання | у кожній пробі | Зовнішній вигляд | органолептично | однорідна зернова маса, без плісняви | у день надходження | Хімік |
| | | Колір | органолептично | світло-жовтий / жовтий | » | » |
| | | Смак | органолептично | солодовий | » | » |
| середня проба від партії | Прохід крізь сито 2,2×20 мм, % | ваговий | ≤ 3,0 | » | » | |
| | | ваговий | ≤ 0,3 | » | » | |
| | | експрес-супіння | ≤ 5,0 | » | » | |
| Хміль гранульований | середня проба від партії | Масова частка вологи, % | експрес-супіння | 7,0 ... 10,0 | під час приймання | Хімік |
| | | Масова частка α-кислот, % | поляриметрично | ≥ 2,5 | » | » |
| Вода для техн. цілей | середня проба | Жорсткість, ммоль/дм ³ | комплексометрія | 2,0 ... 4,0 | щодня | Хімік |
| | | Окиснюваність, мг О ₂ /дм ³ | перманганометрія | ≤ 0,2 | » | » |
| | | Лужність, моль/дм ³ | титрування НСІ | 0,5 ... 1,5 | » | » |
| Подрібнення солоду | бункер дробарки | Склад помелу, %: лузга 15-18; крупка 30-35; дрібна 18-22; борошно 25-35 | ваговий | див. ліворуч | ≥ 1 раз/декаду та при встановленні валків | Хімік |
| Приготування затору | заторний апарат | рН затору | рН-метр | 5,4 ... 5,6 | 1 раз / 10 днів | Хімік |
| Гаряче сусло | сусловарильна лінія | рН сусла | рН-метр | 5,4 ... 5,6 | кожна варка | Хімік |
| | | Повнота оцукрювання | проба на йод | відсутність темного забарвлення | » | » |
| | | Кольоровість (см ³ 0,1 н І ₂ на 100 см ³ Н ₂ О) | порівняння | світле 0,36-0,63; темне 9-10 | » | » |

Таблиця 8.2 – Схема мікробіологічного контролю

| Об'єкт контролю | Параметр, що контролюється | Метод і частота контролю | Об'єм, що висівається, см ³ | Нормативний параметр | Хто контролює | Де фіксується результат |
|-----------------|----------------------------|-------------------------------|--|----------------------|---------------|-------------------------|
| Сусло | Число бактерій | Мембранна фільтрація, щотижня | 30 | Відсутні | Мікробіолог | Інформаційний журнал |
| Сусло | Кислотоутворюючі бактерії | Те саме | 100 | Відсутні | Мікробіолог | Інформаційний журнал |
| Сусло | Дріжджі-контамінація | Те саме | 100 | Відсутні | Мікробіолог | Інформаційний журнал |

Таблиця 8.3 – Метрологічне забезпечення

Таблиця 7.3 Карта метрологічного забезпечення варильного цеху

| Найменування параметра | Нормативне значення (з допустимим відхиленням) | Допустима похибка вимірювань | НТД, що регламентує | Засоби вимірювання системи автоматичного контролю і рег. | Засоби лабораторного контролю | Взаємозамінність |
|---|--|------------------------------|---------------------|---|-------------------------------|---|
| Замочування ячменю (температура приміщення, °С) | 18 – 20 | ± 0,3 | ДСТУ 3769-98 | Термометр метеорологічний; Психрометр ТМ-4 (-25...+50 °С) | — | Термометр метеорологічний; Психрометр ТМ-4 (-35...+40 °С); ТМ-1 |
| Підігрів солоду і несолоджених матеріалів, °С | 50 – 52 | ± 1 | ТУ | Термометр рідинний манометричний ТКП-60С (0...+100 °С) | — | Психрометр ПБУ-1,3-100 |
| Маса солоду і ячменю (питомі втрати на 1 дал пива, г) | 20 – 60 | ± 0,1 | ДСТУ 4282:2004 | Ваги важільні; Лічильник-витратомір СРВД-25-400 | — | Вагові дозатори |
| Об'єм дріжджів (норма введення, л/тл сусла) | 0,4 – 1,0 | ± 0,5 | ТУ | Ваги ВНЦ-2 (20-2000 г) | — | Замінюється аналогом |
| Рівень солоду у дробарці, м ³ | 0,1 | ± 0,5 | ТУ | Рівнемір РУС; Манометр диференційний ДСП-160-М1 | — | Індикатори рівня ЕИУ-2 |
| Температура води для мокрого подрібнення, °С | 35 – 50 | ± 1 | ДСТУ 7525:2014 | Термометр ТКП-60С (0...+100 °С) | — | Психрометр ПБУ-1,3-100 |
| Затирання солоду — об'єм води, л/100 кг | 350 – 500 | ± 1 | ДСТУ 7525:2014 | Ротаметр РЕД-3104 | — | Ротаметри РП/РПК/РПФК |
| Затирання солоду — температура при підігріві, °С | 50 – 70 | ± 1 | ДСТУ 4282:2004 | Термометр ЭКТ-1 | — | Термометр ЭКТ-2 |
| Рівень середовища у заторному апараті, м ³ | 18 | — | — | Рівнемір УВРСМ-П | — | Рівнеміри VLI (серія) |
| Тиск паропроводах заторного апарату, МПа | 0,245 | — | ТУ | Дифманометр ДТ | — | Манометри ДМ-15/-14; ДМ-02/-01 |

| | | | | | | |
|---|----------|--------|---------------------------|---------------------------------|---|---|
| Рівень шару фільтраційного затору, см | 30 – 40 | ± 0,05 | ТУ | Поплавковий сигналізатор СУ-110 | — | Рівнемір РУС; Манометр ДСП-160-М1; ЕИУ-2 |
| Рівень сусла у суслварильному апараті, м ³ | 23 | — | ТУ | Рівнемір УВРСМ-П | — | Рівнемір РУС; Манометр ДСП-160-М1 |
| Тиск у суслварильному апараті, МПа | 0,2 | ± 0,45 | ТУ 4212-040-00225590-2001 | Манометр ДВ2005Сг1Ех | — | Манометр ДМ2005Сг1Ех; ДА2005Сг1Ех |
| Температура кипіння відфільтрованого сусла з хмелем, °С | 96 – 100 | ± 1,5 | ДСТУ 7067:2009 | Термометр ЭКТ-1 | — | Термометр ЭКТ-2 |
| Температура охолодження пивного сусла, °С | ≤ 55 | — | ТУ | Термометр ТКП-60С | — | Термометр ТКП-160Сг-М2 |
| Тиск при подачі сусла в сепаратор, МПа | 0,2 | ± 0,45 | ТУ 4212-040-00225590-2001 | Манометр ДВ2005Сг1Ех | — | Манометр ДМ/ДА 2005Сг1Ех |
| Тиск у сепараторі, МПа | 0,2 | ± 0,5 | ТУ 4212-040-00225590-2001 | Манометр ДВ2005Сг1Ех | — | Манометр ДМ/ДА 2005Сг1Ех |
| Температура сусла у теплообміннику, °С | ≤ 6 | ± 0,5 | ТУ | Термометр ТКП-60С | — | Термометр ТКП-160Сг-М2 |

Використання NIR-аналітики в процесі варки

Near-Infrared (NIR) аналітика – це методика ближньої інфрачервоної спектроскопії, яка нині знаходить дедалі ширше застосування в пивоварінні для оперативного контролю якості в реальному часі. Якщо традиційно пивовари оцінювали параметри сусла та пива за допомогою хімічних аналізів: екстрактометрія, хроматографія, спектрофотометрія тощо, то сучасні NIR-датчики дозволяють отримувати ключові показники прямо під час процесу, без відбору проб і тривалого лабораторного аналізу. У варильному відділенні така система надає значні переваги для інтенсифікації, адже дає змогу швидко приймати рішення і регулювати процес затирання чи кип'ятіння на основі актуальних даних [20].

Інфрачервоні спектрометри можуть бути налаштовані на визначення різних компонентів сусла. Дослідження показали, що за допомогою NIR-спектроскопії можна точно прогнозувати вміст екстрактивних речовин у суслі – як в лабораторно приготовленому, так і в суслі з промислового затору. Фактично, створені калібровки, які по спектральному відбитку сусла в ІЧ-діапазоні визначають його густину з високою точністю. Це означає, що пивовар в режимі реального часу бачить хід оцукрення: NIR-датчик у заторному апараті або на виході фільтраційного апарату може показувати поточний екстракт сусла під час промивання. Якщо значення падають нижче певного рівня, процес промивки можна припинити, щоб

| | | | | | | |
|-------|------|----------|--|------|--|------|
| | | | | | Контроль якості та безпечності готової продукції | Арк. |
| Змін. | Лист | № докум. | | Дата | | 66 |

уникнути надмірного розбавлення сусла. Або навпаки – якщо екстрактивність ще висока, можна промити додатково і збільшити вихід. Таким чином, NIR забезпечує оптимізацію виходу сусла і контроль за виходом екстракту – тобто кращу ефективність роботи затору [21].

Крім загального екстракту, NIR-аналітика здатна оцінювати склад сусла за окремими компонентами. Зокрема, були успішно побудовані моделі для визначення вмісту основних цукрів – глюкози, мальтози, мальтотріози – прямо у потоці сусла. Це дуже важливо для прогнозу перебігу бродіння: знаючи співвідношення ферментованих цукрів, можна оцінити, яким буде кінцевий ступінь зброженості пива. За літературними даними, NIR може спрогнозувати граничну ступінь зброженості сусла з використанням багатомірних методів (PLS-регресія). Тобто ще до початку бродіння пивовар за потреби зможе скоригувати варку, наприклад, додати ферментів для розщеплення декстринів або, навпаки, додати несолодженого компоненту для підвищення частки декстринів.

Також NIR спектроскопія застосовується для контролю вмісту білка. Розчинного білку сусла і показник модифікації солоду (індекс Колбаха) – важливі характеристики, що впливають на піноутворення та поживність сусла для дріжджів. Традиційно їх визначають хімічними методами, наприклад, методом К'ельдаля, але це довго і незручно в потоці [22]. Хоча точність може бути нижчою, ніж у цукрів, тенденції видно, і це теж допомагає контролювати чи достатньо розклалися білки під час затирання.

Ще одна сфера – контроль компонентів хмелю та кольоровості сусла. Застосування NIR для аналізу ізогумулонів - гірких кислот та ефірних олій хмелю перебуває на стадії досліджень. Вже показано, що мультиваріантний аналіз спектру дає інформацію про вміст альфа- і бета-кислот, загальних поліфенолів і навіть летких сполук хмелю у суслі. Іншими словами, встановивши NIR-датчик на трубопроводі після кип'ятильника, можна в реальному часі оцінювати гіркоту сусла та інтенсивність хмільного аромату. Це важливо при варінні сильно охмелених сортів, де необхідно відстежувати екстракцію альфа-кислот і втрати ароматичних олій. NIR-аналіз покаже, наскільки повно ізомеризувалися альфа-кислоти та чи не треба скоригувати дозування хмелю в поточній або наступних варках. Великі європейські пивоварні компанії, такі як Carlsberg і AB InBev, вже використовують стаціонарні NIR-аналізатори на виробництві. Такі прилади встановлюються на лініях подачі сусла і можуть працювати в автоматичному режимі, передаючи дані на систему управління [20]. Наприклад, в Університеті Каліфорнії проводились експерименти з інтеграції NIR-датчиків у пілотну пивоварню, що підтвердили можливість автоматичного регулювання процесу на основі показників спектроскопії [20]. Реагуючи на покази датчиків, система може змінювати температуру пауз затирання, тривалість кип'ятіння або кількість промивної води – тобто робити процес варки більш гнучким і оптимізованим. Окрім того, переносні

| | | | | | | |
|-------|------|----------|--|------|--|------|
| | | | | | Контроль якості та безпечності готової продукції | Арк. |
| Змін. | Лист | № докум. | | Дата | | 67 |

NIR-сканери, наприклад, MicroNIR застосовуються і для швидкого аналізу сировини – зерна, солоду, хмелю [23]. Це дозволяє за лічені секунди визначити вологість, вміст білка в солоді чи альфа-кислот в хмелі, і відповідно внести корективи.

Таким чином, NIR-аналітика стала важливим елементом інтенсифікації варильного процесу. Вона надає пивоварам оперативні дані про стан сусла: цукристість, склад цукрів, потенційну ступінь зброженості, вміст білків і навіть характеристику хмелевих речовин. Це дозволяє прискорити прийняття рішень – наприклад, вчасно завершити затирання, оптимізувати промивання або регулювати дозування хмелю. У підсумку, за допомогою NIR можна забезпечити стабільність і відтворюваність якості сусла від варки до варки та більш ефективно використовувати ресурси. Реальний час і автоматизація – ключові переваги: інфрачервоні сенсори зробили процес варки більш досконалим і інтенсивним, адже тепер він контролюється не епізодичними лабораторними пробами, а неперервним потоком інформації.

| | | | | | | |
|-------|------|----------|--|------|--|------|
| | | | | | Контроль якості та безпечності готової продукції | Арк. |
| | | | | | | 68 |
| Змін. | Лист | № докум. | | Дата | | |

9 СИСТЕМА ЕКОЛОГІЧНОГО УПРАВЛІННЯ ТА ЕНЕРГО- І РЕСУРСОЗБЕРЕЖЕННЯ У ВАРИЛЬНОМУ ВІДДІЛЕННІ ПІВОВАРНОГО ЗАВОДУ

У сучасному пивоварному виробництві з потужністю 8 млн дал пива на рік питання енергоефективності та екологічної відповідальності набувають особливої актуальності. Варильне відділення, де здійснюються процеси затирання солоду, фільтрації та кип'ятіння сусла, є одним із найбільш ресурсомістких етапів пивоваріння. Впровадження системи екологічного менеджменту та передових технологій енерго- і ресурсозбереження дозволяє середньому заводу досягти високого рівня екологічної ефективності, подібного до практик провідних компаній (наприклад, Carlsberg, Heineken), але з урахуванням власного масштабу виробництва.

ISO 14001 та екологічний менеджмент. Першим кроком до системного зниження екологічного впливу є впровадження на підприємстві системи екологічного менеджменту (Environmental Management System, EMS) відповідно до стандарту ISO 14001. Цей міжнародний стандарт задає структуру для управління екологічними аспектами діяльності заводу через цикл «плануй–виконуй–перевірй–дій». Для пивоварного заводу інтеграція EMS означає розробку екологічної політики, ідентифікацію всіх значущих екологічних аспектів: споживання води й енергії, викиди CO₂, утворення відходів, стічні води тощо. Встановлення цілей і показників, проведення навчання персоналу та регулярний внутрішній і зовнішній аудит. Провідні пивоварні компанії наразі вимагають сертифікації всіх своїх основних виробничих підрозділів за ISO 14001: так, Carlsberg Group зобов'язує, щоб усе виробництво було охоплене сертифікованою системою ISO 14001[53] і більшість броварень групи мають відповідний сертифікат. Аналогічно, компанія Heineken впровадила екологічний менеджмент на всіх своїх великих заводах, інтегруючи вимоги ISO 14001 у повсякденні операції.

Екологічні аудити та показники. Система EMS передбачає постійний моніторинг і аудит екологічних показників діяльності. На варильне відділення суттєво впливають такі індикатори, як питомі витрати води, питомі витрати теплової та електричної енергії на варіння сусла (МДж або кВт·год на гл пива), обсяг викидів CO₂ при генерації тепла, хімічне споживання кисню (ХСК) стічних вод, кількість утворених відходів на одиницю продукції тощо. Встановлення базових значень цих показників та регулярне відстеження динаміки дозволяє оцінити ефективність заходів з енергозбереження і екологізації. Наприклад, якщо впроваджено повторне використання води чи рекуперацію тепла, це відобразиться на зменшенні питомого водоспоживання або тепловитрат. Система внутрішніх аудитів і щорічний аналіз досягнення цілей забезпечують безперервне покращення: виявлення відхилень, розробку коригувальних дій і впровадження найкращих практик. Київська броварня Carlsberg була відзначена як одна з

| | | | | | | |
|-------|------|----------|--|------|--|------|
| | | | | | Система екологічного управління та енерго- і ресурсозбереження | Арк. |
| | | | | | | 69 |
| Змін. | Лист | № докум. | | Дата | | |

найкращих у світі за показниками водо- та енергоменеджменту в рамках корпоративної програми. Це свідчить, що навіть середній за масштабом завод, впровадивши дієву систему EMS, може досягти чудових результатів. Інтегрований екоменеджмент допомагає забезпечити виконання всіх природоохоронних норм та зменшити ризики екологічних інцидентів. В рамках EMS розробляються плани управління ризиками і надзвичайними ситуаціями, наприклад: запобігання розливам хімікатів або аварійним скидам пивної дробини у стоки. Впровадження ISO 14001 сприяє формуванню екологічної культури на виробництві – від топменеджменту до операторів – та прозорій взаємодії із зацікавленими сторонами (місцевою громадою, контролюючими органами). Компанія Carlsberg у своїй екологічній політиці декларує прагнення до нульових екологічних аварій, постійного підвищення стандартів та відкритого діалогу. Практичним кроком є інтеграція систем екологічного менеджменту з іншими системами управління (якістю ISO 9001, енергоменеджментом ISO 50001 тощо) для досягнення синергії. Наприклад, запровадження системи енергоменеджменту ISO 50001 на одному з пивзаводів Carlsberg дозволило чіткіше контролювати енергоспоживання і дало економію понад 5% навіть за зниження обсягів виробництва [54]. Отже, інтегрована система екологічного управління є фундаментом для всіх наступних заходів з енерго- та ресурсозбереження.

Енергоефективні технології варіння сусла

Рекуперация тепла при кип'ятінні сусла. Процес кип'ятіння сусла – один із найбільш енергоємних у виробництві пива, споживає близько 25–35% усієї теплової енергії на заводі. Тому впровадження технологій рекуператії тепла у варильному відділенні дає значний ефект. Сучасні варильні котли обладнуються пароконденсаторами – теплообмінниками, що конденсують гарячі пари сусла. Це дозволяє відбирати до 60% тепла, що витрачається на кип'ятіння [55], і спрямовувати його на нагрівання води для наступних процесів: попередній підігрів сусла, підігрів промивної води для затору, потреби в гарячій воді для миття обладнання тощо. Наприклад, на пивоварні New Belgium (США) тепла енергія, повернута з пари кип'ятильного котла, повністю покриває потреби цього заводу в гарячій воді для виробництва та частково для мийки обладнання. Окрім економії енергії, конденсація пари усуває характерні запахи варіння – це важливо для броварень, розташованих поблизу житлових районів. Теплообмінні системи рекуператії можуть забезпечити сумарну економію первинної теплової енергії до ~30% завдяки високому ККД повторного використання тепла.

Вдосконалені системи кип'ятіння сусла. Окрім пароконденсаторів, у провідних варильних відділеннях застосовуються спеціалізовані енергоощадні варильні апарати. Наприклад, система Kronos Stromboli з

| | | | | | | |
|-------|------|----------|--|------|--|------|
| | | | | | Система екологічного управління та енерго- і ресурсозбереження | Арк. |
| | | | | | | 70 |
| Змін. | Лист | № докум. | | Дата | | |

енергетичним акумулятором або котел Steinecker Merlin забезпечують більш «м'яке» кип'ятіння: сушло нагрівається тонким шаром на поверхні нагрівального елемента, що пришвидшує випаровування потрібних летких сполук при меншому загальному часі кипіння [55]. Такі системи дозволяють знизити інтенсивність випаровування до ~4% об'єму сушла замість традиційних 8–10% без втрати якості, видалення диметилсульфіду, коагуляція білків тощо, що значно скорочує витрати пари і енергії. За рахунок накопичення тепла та підігріву наступної порції сушла в енергоакумулюючому контурі, можна паралельно виконувати нагрівання під час фільтрації попереднього затору. Це скорочує тривалість одного варочного циклу і підвищує продуктивність. Таким чином, енергоефективні котли забезпечують одночасно економію енергії та зростання продуктивності, а також поліпшення якості сушла завдяки рівномірнішому нагріву.

Багатоконтурне охолодження та теплові насоси. Іншим важливим напрямом енергозбереження є оптимізація охолодження сушла. Зазвичай охолодження звареного сушла до температури бродіння здійснюється в два етапи: в першому контурі теплообмінника сушло охолоджується водою, яка при цьому нагрівається до ~80 °C і накопичується як гаряча вода для використання у наступному заторі або для господарчих потреб; у другому контурі для доведення сушла до температури бродіння використовується холодоагент у холодильній установці. Така багатоконтурна схема дозволяє максимізувати відбір тепла від сушла у корисну гарячу воду і мінімізувати витрати холоду. Додатково, сучасні пивзаводи застосовують теплонасоси – установки, що перекачують тепло з низькотемпературних джерел на вищий температурний рівень. Наприклад, тепло, відведене від сушла чи від роботи холодильних компресорів, може за допомогою теплонасоса бути доведене до 60–80 °C і використане для підігріву води.

Утилізація конденсату та повернення пари. Значну економію пари дає повернення конденсату з парових нагрівачі і трубопроводів варильного відділення назад у котельню. Конденсат, що утворюється при охолодженні пари в підігрівачах затору чи інших споживачах, має температуру 90...95 °C і майже не містить розчинених солей, тому його використання як живильної води для парового котла підвищує ККД котельної установки і економить воду. Як правило, сучасні відділення оснащують пароконденсатні системи повним поверненням конденсату, що може знизити витрати палива на 10–15%. Крім того, згадана вище установка пароконденсатора на варочному котлі не лише відбирає тепло, а й збирає конденсат з випарів сушла. Отриману таким чином високоякісну гарячу воду можна повторно використовувати, наприклад, як частину заторної води. У результаті комбінування наведених технологій – рекуперації тепла при варці, прогресивних систем кип'ятіння, багатоступеневого охолодження з теплонасосами та повернення конденсату – у варильному відділенні

| | | | | | | |
|-------|------|----------|--|------|--|------|
| | | | | | Система екологічного управління та енерго- і ресурсозбереження | Арк. |
| | | | | | | 71 |
| Змін. | Лист | № докум. | | Дата | | |

досягається комплексне зниження енергоспоживання. Очікуваний ефект для середнього заводу: скорочення теплових витрат на варіння сусла на ~30%, електроенергії – на 20–30%, а також еквівалентне зниження викидів парникових газів та експлуатаційних витрат.

Ресурсозбереження у варильному відділенні

Повторне використання води. Економія води прямо зменшує як екологічний вплив, так і витрати. У варильному відділенні воду використовують не лише для приготування сусла, але й для допоміжних процесів – охолодження, миття обладнання, пароутворення тощо. Сучасні підходи передбачають багаторазове використання води в каскаді процесів. Наприклад, воду після остаточного ополіскування СІР -мийки або після миття пляшок можна не зливати, а збирати і використовувати для попереднього ополіскування в наступному циклі. Воду, підігріту при теплообміні із суслем, накопичують у спеціальному баку гарячої води і застосовують для приготування нового затору. Встановлення розпилювальних форсунок низького витратного режиму при мийці, швидке усунення протікань, оптимізація програм миття, може дати суттєву економію води. У галузі задаються орієнтири: якщо раніше середня витрата води могла становити 4–6 гл на 1 гл пива [56], то завдяки повторному використанню і вдосконаленню технологій найкращі сучасні пивоварні досягають рівня ~2,5 гл/гл. На пивзаводі Carlsberg у Фредеріксії (Данія) впроваджено установку глибокого очищення і рециклінгу води: за рахунок повторного використання до 90% технологічних вод питоме водоспоживання там скорочено до 1,4 л/л пива [57]. Хоча такі показники потребують значних інвестицій, навіть для середнього заводу реальним є зниження водоспоживання на 30–50% шляхом впровадження каскадного використання води і сучасних систем контролю.

Оптимізація процесу затирання. Традиційні режими затирання споживають багато тепла і води. Сучасні тенденції спрямовані на перехід до інфузійного затирання із застосуванням багатоступеневих температурних пауз, що досягають тих самих технологічних цілей з меншими затратами. Якщо технологічно можливо, уникнення відварювання частини затору значно економить пару і скорочує тривалість варіння. У випадках, коли рецептура потребує підвищеного розщеплення крохмалю і білків, можуть застосовуватися ферментні препарати, що дозволяє досягти потрібного ступеня розчинення без екстремальних температур чи подвійного варіння. Крім того, оптимізація співвідношення гідромодуль під час затирання впливає на подальші ресурси: занадто густий затор ускладнює фільтрацію і вимагає більше промивної води, а надто рідкий – збільшує обсяг, який потрібно нагрівати і кип'ятити. Тому підбір оптимального гідромодуля і режиму промивання дробини зменшує непродуктивні втрати води та тепла.

| | | | | | | |
|-------|------|----------|--|------|--|------|
| | | | | | Система екологічного управління та енерго- і ресурсозбереження | Арк. |
| | | | | | | 72 |
| Змін. | Лист | № докум. | | Дата | | |

Використання вторинних продуктів

Солодова дробина – зерновий залишок після фільтрації затору, що містить клітковину, білки та екстраговані зернові оболонки з вологістю ~75..80%. На кожні 1000 гл пива утворюється близько 200...250 тонн мокрої дробини, тому питання її утилізації є суттєвим. Традиційно пивну дробину використовують як високопоживний корм для тварин – вона багата на білок (~20...25% у сухій речовині) і клітковину. Направлення дробини на корм дозволяє замінити частину зернових у раціоні тварин і уникнути проблем утилізації. Водночас, дедалі більшої уваги набуває енергетична утилізація дробини. Один підхід – біогазові установки: дробину змішують із іншими органічними відходами і зброджують в анаеробному реакторі, отримуючи біогаз, який можна спалювати в котлах чи генераторах. На пивоварні Göss (Heineken, Австрія) споруджено біогазовий ферментатор, що переробляє ~18 тис. тонн відходів пивоваріння (дробина, осад після фільтрації, інші органічні залишки) і генерує біогаз для потреб заводу [58]. Інший підхід – пряма інсенерація: дробину підсушують до вологості ~10% і спалюють у біомасовому котлі, виробляючи пару. Ця технологія потребує значних енерговитрат на сушіння, тому рентабельна переважно там, де немає збуту дробини як корму або на далеких від ферм підприємствах (приклад – броварня Alaskan Brewing, яка спалює дробину для отримання енергії через віддаленість від фермерських господарств). Згідно екополітики Carlsberg, усі пивоварні групи прагнуть використовувати дробину та інші побічні продукти або як корм, або як відновлюване джерело енергії [54].

Хмелеві відходи та білковий осад. Під час кип'ятіння сусла додається хміль, який після варіння видаляється разом із коагульованими білками і утворює гарячий осад. Додатково після охолодження сусла виділяється холодний білковий осад. Залишки відпрацьованого хмелю і білкові коагуляти за обсягом значно менші, ніж дробина, але мають високе органічне навантаження. Найкраща практика – збирати їх і спільно з дробиною віддавати на корм, невелика домішка хмелю у кормовій дробині припустима, він діє як природний антимікробний компонент. Якщо пряме згодовування неможливе, хмелеву дробину компостують або спрямовують в біогазову установку разом з іншими відходами. Біогазове зброджування особливо доречно, оскільки білково-хмелевий осад легко розкладається анаеробно, підвищуючи вихід метану. Застосування цих підходів вирішує проблему видалення осаду, який не можна скидати у стоки через високий вміст органіки і повертає цінні елементи (азот, фосфор) у ґрунт у вигляді добрива після анаеробного зброджування.

Для пивоварного заводу середньої потужності інтеграція системи екологічного управління (EMS) та впровадження енерго- і ресурсозберігаючих технологій у варильному відділенні є стратегічно

| | | | | | | |
|-------|------|----------|--|------|--|------|
| | | | | | Система екологічного управління та енерго- і ресурсозбереження | Арк. |
| | | | | | | 73 |
| Змін. | Лист | № докум. | | Дата | | |

важливим кроком. Досвід галузевих лідерів показує, що застосування сучасних рішень – від рекуперації тепла й оптимізації процесів до повторного використання води та утилізації побічних продуктів – дозволяє суттєво знизити споживання енергії й води (на 30–50%), мінімізувати відходи та викиди, не зменшуючи обсяги виробництва. Навпаки, часто такі заходи приводять до підвищення ефективності й продуктивності, як-от скорочення тривалості варок чи використання відновлених ресурсів замість купованих. В рамках системи EMS ці поліпшення стають керованими і вимірюваними: завод встановлює цілі, контролює ключові індикатори та досягає сталого розвитку на практиці. Таким чином, система екологічного управління та енерго- і ресурсозбереження у варильному відділенні є невід’ємною частиною сучасної моделі пивоварного виробництва, що поєднує економічну доцільність з екологічною відповідальністю.

| | | | | | | |
|-------|------|----------|--|------|--|------|
| | | | | | Система екологічного управління та енерго- і ресурсозбереження | Арк. |
| | | | | | | 74 |
| Змін. | Лист | № докум. | | Дата | | |

10 ЗАХОДИ ЩОДО ОРГАНІЗАЦІЇ БЕЗПЕЧНИХ УМОВ ПРАЦІ НА ВИРОБНИЦТВІ

Організація безпечних умов праці у варильному відділенні пивоварні є критично важливою складовою виробничого процесу, адже порушення правил охорони праці може призвести до травм, аварій та загрози життю персоналу. В Україні діє галузевий нормативний акт – *Правила охорони праці для працівників виробництва солоду, пива та безалкогольних напоїв*, затверджений наказом Мінсоцполітики № 635 від 18.04.2017 р. Ці правила встановлюють обов'язкові вимоги безпеки на всіх етапах технологічного процесу виробництва пива, зокрема у варильному цеху та суміжних відділеннях [59]. Вимоги поширюються на великі пивзаводи і на мініпивоварні, а їх дотримання є обов'язком як роботодавців, так і працівників. Організація системи охорони праці на пивоварному виробництві ґрунтується на законодавстві України про охорону праці та враховує інші нормативні документи (ДСТУ, НПАОП, технічні регламенти тощо), що забезпечує комплексний підхід до безпеки.

Ідентифікація ризиків та загроз. Першим кроком у створенні безпечних умов є виявлення небезпечних та шкідливих виробничих факторів у варильному відділенні. У ньому і суміжних з ним ділянках на працівників можуть впливати: фізичні фактори (підвищена температура і вологість, гучний шум від обладнання, недостатнє освітлення або підвищена запиленість повітря), хімічні фактори (вплив парів миючих і дезінфікуючих засобів, вуглекислого газу, аміаку холодильної установки, пари гарячого суслу та інші), біологічні фактори (мікроорганізми та пліснява при роботі зі сировиною і продуктами бродіння) та ергономічні фактори (фізичне перевантаження, вимушені позиції тіла під час обслуговування обладнання). Також присутні ризики механічних травм – рухомі частини машин, обертові мішалки і насоси, конвеєри, підйомні механізми – та ризики термічних опіків від контакту з гарячим обладнанням, парою чи киплячою рідиною. Важливим специфічним фактором у пивоварінні є підвищена небезпека вибуху і пожежі: пил солоду та зернових продуктів може утворювати вибухонебезпечну пило-повітряну суміш, займисті гази (природний газ у котлах) – створювати пожежонебезпечну атмосферу. Наявність діоксиду вуглецю, що виділяється при бродінні пива, становить серйозну небезпеку асфіксії у закритих просторах без вентиляції. Роботодавець відповідно до законодавства зобов'язаний проводити атестацію робочих місць та оцінку умов праці там, де технологічний процес, обладнання, сировина чи матеріали є потенційними джерелами небезпечних чи шкідливих факторів. За результатами такої оцінки визначаються класи умов праці та розробляються заходи щодо їх поліпшення. Приміщення та будівлі цехів класифікуються за категоріями пожежної небезпеки і за класами зони з

| | | | | | | |
|-------|------|----------|--|------|---|------|
| | | | | | Заходи щодо організації безпечних умов праці на виробництві | Арк. |
| | | | | | | 75 |
| Змін. | Лист | № докум. | | Дата | | |

вибухонебезпечною або пожежонебезпечною атмосферою – відповідно до норм проектування; від цього залежать протипожежні вимоги, такі як типи встановлюваних пожежних сигналізацій, систем вентиляції та засобів пожежогасіння. Зокрема, варильне відділення і дробильне відділення солоду можуть бути віднесені до категорій з вибухопожежною небезпекою через наявність пилу та легкозаймистих матеріалів, тому проєктні рішення мають передбачати панелі для скидання надлишкового тиску вибуху, кількість і розташування яких визначає спеціалізована проєктна організація [60].

Організаційні заходи безпеки. На основі виявлених ризиків адміністрація підприємства розробляє систему управління охороною праці. Відповідно до Закону України «Про охорону праці» роботодавець створює на підприємстві службу охорони праці, яка слідкує за виконанням вимог безпеки на всіх стадіях виробництва. Керівництво підприємства зобов'язане розробити і затвердити інструкції з охорони праці для всіх видів робіт, враховуючи специфіку варильного та пов'язаних з ним відділень. Інструкції повинні відповідати нормативним актам і містити вимоги безпечного виконання робіт, дії у разі аварійних ситуацій тощо. Допуск працівників до самостійної роботи здійснюється лише після проведення навчання та перевірки знань з питань охорони праці. Навчання проводиться згідно з типовим положенням про порядок проведення навчання і перевірки знань з питань охорони праці; працівники проходять вступний інструктаж, первинний інструктаж на робочому місці, а надалі – періодичні повторні інструктажі. Для робіт з підвищеною небезпекою (наприклад, обслуговування варильних котлів, робота у замкнених просторах ємностей, обслуговування аміачних холодильних установок, ремонти на висоті чи у вибухонебезпечних зонах) проводиться спеціальне навчання безпечним методам і прийомам праці та цільовий інструктаж перед початком таких робіт. До виконання особливо небезпечних робіт допускаються тільки особи не молодше 18 років, які не мають медичних протипоказань, пройшли попередній та періодичні медичні огляди [60], а також пройшли спеціальне навчання і перевірку знань. Крім того, на працівників видаються наряди-допуски перед виконанням робіт підвищеної небезпеки – цей механізм адміністративного контролю забезпечує, що такі роботи проводяться під наглядом відповідальних осіб і з виконанням необхідних вимог безпеки (наприклад, відключення і блокування енергоносіїв, провітрювання ємності, наявність страховки тощо). Перелік робіт, що виконуються за нарядами-допусками, має бути складений і затверджений роботодавцем [59]; до нього, зокрема, входять газонебезпечні роботи, роботи у вибухопожежних зонах, технічне обслуговування обладнання під тиском, електротехнічні роботи, тощо. Для деяких видів діяльності на пивзаводі потрібно отримати дозволи від уповноважених органів. Відповідно до

Постанови КМУ № 1107 від 26.10.2011 р., підприємство повинно

| | | | | | | |
|-------|------|----------|--|------|---|------|
| | | | | | Заходи щодо організації безпечних умов праці на виробництві | Арк. |
| | | | | | | 76 |
| Змін. | Лист | № докум. | | Дата | | |

мати дозвіл на експлуатацію машин, механізмів та устаткування підвищеної небезпеки, наприклад, парових котлів, посудин, що працюють під тиском, підйимального обладнання, а також дозвіл на виконання визначених небезпечних робіт [59]. Для отримання таких дозволів роботодавець подає декларацію відповідності матеріально-технічної бази вимогам охорони праці, підтверджуючи наявність необхідних умов і засобів безпеки [60]. Таким чином, через систему навчання, інструктажів, медичного контролю та дозвільної документації забезпечується організаційний контроль за безпекою праці.

Безпечність технологічного обладнання і процесів. Варильне відділення оснащене різноманітним обладнанням – дробарки для солоду, заторні апарати, фільтраційні апарати, сушварильні апарати, насоси, трубопроводи, теплообмінники, мішалки, центрифуги-сепаратори, ємності для бродіння та доброджування, фільтри, СІР-станції для мийки обладнання тощо. Весь комплекс обладнання має відповідати сучасним вимогам безпеки машин і механізмів. В Україні діє Технічний регламент безпеки машин (постанова КМУ № 62 від 30.01.2013), гармонізований з європейською Директивою з безпеки машин; згідно з ним технологічне обладнання та організація робочих місць повинні відповідати вимогам цього регламенту, іншим чинним стандартам і правилам, а також експлуатаційній документації заводів-виробників. Зокрема, конструкція обладнання повинна передбачати огороження та блокувальні пристрої, що захищають працюючих від контакту з рухомими частинами, зонами високої температури або тиску, електричними частинами під напругою. У варильному відділенні значну небезпеку становлять дробильні та млинкові механізми для солоду. Правила охорони праці вимагають, щоб дробарки для солоду були герметичними, а їхні завантажувальні і розвантажувальні отвори обладнувалися кожухами та кожухи ці забезпечували неможливість доступу рук до зон різання або розмелювання зерна. Кожухи й кришки дробарок мають бути заблоковані з приводом таким чином, щоб при відкритих люках пуск двигуна був неможливим. Перед завантажувальними бункерами дробарок встановлюються магнітні уловлювачі для захисту від випадкового потрапляння металевих предметів у дробарку – це запобігає іскроутворенню та пошкодженню машин. Обладнання лінії подрібнення і транспортування солоду має працювати синхронно: приводи дробарок, вальцьових млинів та живильників повинні бути заблоковані між собою, щоб аварійна зупинка одного агрегата автоматично зупиняла пов'язані з ним машини і не допускала переповнення або завалу сировини. Такі міжблокувальні системи запобігають поломкам і аварійним ситуаціям. Усі технологічні апарати варильного цеху повинні мати ергономічну і безпечну конструкцію. Робочі місця оператора варильного процесу часто розташовані на підвищених майданчиках з доступом до верхніх люків заторного чану чи варильного котла; ці майданчики повинні мати міцні

| | | | | | | |
|-------|------|----------|--|------|---|------|
| | | | | | Заходи щодо організації безпечних умов праці на виробництві | Арк. |
| | | | | | | 77 |
| Змін. | Лист | № докум. | | Дата | | |

поручні та огороження по периметру, неслизьку підлогу, зручні сходи з поручнями для підйому. На посудинах, які працюють під тиском, мають бути передбачені запобіжні клапани, манометри, пристрої блокування від перевищення тиску. Згідно з Правилами безпеки і безпечної експлуатації посудин, що працюють під тиском (НПАОП 0.00-1.59-87), такі ємності підлягають періодичним технічним оглядам і випробуванням, результати яких заносяться до спеціального журналу. У варильному відділенні зазвичай використовуються парові сорочки або парові зміювки для нагрівання затору і сусла; трубопроводи пари повинні бути обладнані автоматичними редуційними пристроями, манометрами і запобіжними клапанами на вході до варильних апаратів, що захищає від надлишкового тиску пари. Корпуси варильного обладнання – заторних апаратів, фільтр-апаратів, суслотварильних апаратів, ємностей гарячої води – мають бути надійно теплоізовані, щоб запобігти опікам при випадковому дотику і знизити теплове навантаження на цех. Кришки апаратів, де кипить сусло, оснащуються оглядовими вікнами із захисним склом, через які оператор може контролювати процес, не наражаючись на ризик контакту з паром. Для відводу випарів сусла та гарячої пари над заторними та варильними чанами встановлюються паровідвідні труби, які підключені до вентиляційної системи; це усуває надмірну вологість і тепло, а також зменшує концентрацію парів речовин (наприклад, летких компонентів хмелю) у повітрі робочої зони.

Особливу увагу слід приділити безпеці фільтрації та перекачування сусла. Після варіння сусло перекачується гарячим по трубопроводах – всі трубопроводи мають бути герметичними, термостійкими, ізованими в місцях можливого контакту з людьми. Фільтрапарат для відокремлення дробини від сусла обладнується мішалками-гребками; перед відкриванням фільтраційної ємності для очищення необхідно впевнитися, що тиск всередині нормалізований до атмосферного і відсутня гаряча рідина. Правила вимагають, щоб рамні фільтр-преси (якщо використовуються в підготовці пивного сусла або при фільтрації пива після бродіння) мали механічні або гідравлічні пристрої для затискання рам. Розтискання пакету рам дозволяється тільки після скидання тиску, щоб виключити розрив фільтрувальних пластин чи прокладок. Промивання фільтраційних пластів повинно здійснюватися механізовано – у спеціальній мийній машині, щоб працівники не контактували вручну з небезпечними мийними розчинами. За інших конструкцій фільтрів слід керуватися настановами виробника обладнання щодо безпечної експлуатації.

Можливе використання стисненого повітря або чистого кисню, наприклад, для аерації сусла перед бродінням. Балони з киснем та системи подачі повітря повинні експлуатуватися з дотриманням спеціальних правил безпеки: подавання O₂ в апарати повинно здійснюватися лише через справний редуктор з манометром і запобіжним клапаном, щоб тиск подачі

| | | | | | | |
|-------|------|----------|--|------|---|------|
| | | | | | Заходи щодо організації безпечних умов праці на виробництві | Арк. |
| | | | | | | 78 |
| Змін. | Лист | № докум. | | Дата | | |

був регламентованим. Балони з киснем слід утримувати подалі від джерел тепла та горючих матеріалів, крім того, для них необхідно забезпечити кріплення до нерухомих конструкцій, аби запобігти падінню. Правила безпеки при виробництві та споживанні продуктів розділення повітря (НПАОП 24.1-1.30-88) повинні виконуватися у повному обсязі, якщо в процесі пивоваріння застосовується чистий кисень [60].

Вибухо- і пожежобезпечність. Як зазначалося, у пивоварні є декілька небезпечних у пожежному відношенні дільниць. Це, насамперед, дробильне відділення солоду, пил зерна здатний вибухати при певній концентрації та наявності джерела запалення і котельне господарство обладнання. Щоб виключити утворення вибухонебезпечної атмосфери з пилу, в дробарнях та транспортерах солоду здійснюється *максимальна герметизація* усіх вузлів, де утворюється пил. Передбачається місцева аспірація пиловсмоктувачами на дробарках і точках пересипання солоду; відсмоктаний пил збирається у фільтрах або циклонах. Аспіраційні установки оснащуються вибухорозрядними клапанами та заземленими металевими трубопроводами. Використовувані гнучкі шланги для транспортування солоду мусять бути виконані з антистатичних матеріалів та заземлені, щоб відводити статичну електрику. Всі електричні машини, освітлення, переносні лампи і електроінструмент у зонах, де може утворитися вибухонебезпечний пилоповітряний або пароповітряний осередок, повинні відповідати вимогам вибухозахисту для даного класу зони. Зокрема, електромотори і освітлення мають бути з захистом від іскріння. Категорія вибухонебезпечної зони визначається проектом відповідно до чинних за ДСТУ EN 60079-10-2 або НАПБ відповідного розділу). Роботодавець зобов'язаний забезпечити виконання *Вимог щодо безпечного виконання робіт у вибухонебезпечних середовищах* (НПАОП 0.00-7.12-13); це означає, що всі працівники, залучені до робіт у таких зонах, проходять спеціальний інструктаж, а роботи ведуться за нарядом з впровадженням додаткових заходів безпеки: контроль газового середовища, використання інструменту, що виключає іскроутворення, тощо. Для запобігання вибуху зернового пилу суворо забороняється паління та користування відкритим вогнем у виробничих приміщеннях – уся територія заводу має відведені спеціальні місця для куріння, обладнані негорючими урнами, і позначені відповідними знаками. Джерела займання усуваються також шляхом заземлення металевих обладнання, підтримання справності електропроводки. Сміття та пил мають регулярно прибиратися, щоб виключити накопичення горючого пилу на конструкціях. Обов'язковим є застосування інструменту з кольорових металів або з іскробезпечними накладками при обслуговуванні апаратів із вибухонебезпечним середовищем, щоб випадковий удар не спричинив іскру [60].

Хімічні та санітарно-гігієнічні аспекти. Пивоварне виробництво потребує застосування різних хімічних речовин – мийні та дезінфекційні

| | | | | | | |
|-------|------|----------|--|------|---|------|
| | | | | | Заходи щодо організації безпечних умов праці на виробництві | Арк. |
| | | | | | | 79 |
| Змін. | Лист | № докум. | | Дата | | |

засоби для СІР-мийки обладнання, луги і кислоти (азотна, фосфорна) для миття танків і трубопроводів, миючі засоби для пляшкомиїних машин, а також допоміжні матеріали (мастила, реагенти в лабораторії та ін.). Всі хімікати повинні зберігатися в спеціально відведених приміщеннях або шафах, з відповідним маркуванням. Працівники технологічних цехів повинні бути поінформовані про небезпечні властивості речовин і забезпечені інструкціями з безпечного поводження з хімічними реагентами. Під час приготування дезрозчинів чи інших операцій з хімікатами необхідно використовувати захисні окуляри або щитки для обличчя, гумові рукавички, фартухи і, за потреби, респіратори. Для захисту органів дихання від їдких парів передбачені промислові респіратори з відповідними фільтрами, які повинні знаходитися у доступному місці. Згідно з санітарними нормами для підприємств пивобезалкогольної промисловості ДСанПіН 4.4.4-152-2008, усі дезінфекційні засоби, дозволені до використання, мають бути офіційно зареєстровані та безпечні для здоров'я персоналу [61]. Процеси очищення, миття та знезараження обладнання, інвентарю, комунікацій і приміщень здійснюються за затвердженими на підприємстві інструкціями відповідно до вимог зазначених санітарних норм. Після кожного виробничого циклу варки і бродіння необхідно проводити санітарну обробку: залишки солоду вивантажуються і видаляються з цеху, заторні і варильні апарати промиваються гарячою водою і лужними розчинами, фільтр-преси та трубопроводи промиваються. Регулярна санітарія не лише забезпечує якість продукту, а й усуває забруднення на підлозі, попереджаючи травматизм від падінь, і запобігає розвитку патогенних мікроорганізмів, які могли б шкідливо вплинути на здоров'я персоналу. Підлоги у варильному, бродильному та розливному відділеннях повинні бути виготовлені з вологостійких неслизьких матеріалів: керамічна плитка з рифленням, кислотостійкий бетон тощо, та мати ухили до трапів. Стічні трапи і каналізація повинні постійно утримуватися чистими та справними, щоб розливи небезпечних речовин – гарячого лугу, кислоти, розчинів мийних засобів – могли швидко і безпечно стікати, не утворюючи калюж [60]. Для локалізації можливих розливів хімікатів у цехах доцільно мати сорбуючі матеріали (піскогрунтові суміші, адсорбенти) і нейтралізатори кислот/лугів, а працівники повинні знати порядок дій при аварійному проливі реагентів.

Засоби індивідуального захисту. Правильний добір та використання ЗІЗ є невід'ємною частиною системи безпеки на пивоварні. Роботодавець зобов'язаний за власний рахунок забезпечити працівників сертифікованим спецодягом, спецвзуттям та іншими засобами індивідуального захисту відповідно до діючих норм. Вибір ЗІЗ здійснюється з урахуванням небезпек кожного робочого місця. Працівники варильного відділення зазвичай отримують костюми з товстої бавовняної або змішаної тканини, стійкої до підвищеної температури, щоб убезпечити від теплового впливу та бризок

| | | | | | | |
|-------|------|----------|--|------|---|------|
| | | | | | Заходи щодо організації безпечних умов праці на виробництві | Арк. |
| | | | | | | 80 |
| Змін. | Лист | № докум. | | Дата | | |

гарячого сусла. Для робіт у мокрих зонах: миття обладнання, прибирання; видаються водонепроникні фартухи або комбінезони, нарукавники, а також гумові чоботи. Гумове взуття має бути з підошвою, що не ковзає, та стійке до дії лугів і кислот. У зонах можливого падіння важких предметів використовується захисне взуття з металевим підноском відповідно до стандарту EN ISO 20345. Працівники, що зайняті на дробленні солоду, повинні носити респіратори для захисту від пилу (фільтруючі маски класу не нижче FFP2) та захисні окуляри, щоб пил чи сторонні частки не потрапили в очі. Для захисту слуху в шумних зонах, наприклад, поряд з працюючою центрифугою-сепаратором, компресорами або лінією розливу пляшок використовуються протишумові навушники або вставні беруші – рівень шуму не повинен перевищувати гранично допустимі 80 дБА протягом робочої зміни згідно з санітарними нормами. У приміщеннях з виділенням CO₂, а також при роботах в замкнених просторах обов'язковим є наявність ізолюючих шлангових протигазів або апаратів на стисненому повітрі; ці засоби зберігаються поблизу потенційно небезпечних ділянок і регулярно перевіряються на справність. Для страхування при роботі всередині апаратів працівники забезпечуються міцними запобіжними ременями з карабінами та рятувальними мотузками достатньої довжини. Всі ЗІЗ, які видаються, мають відповідати Технічному регламенту засобів індивідуального захисту (постанова КМУ № 761 від 27.08.2008), тобто бути належно сертифікованими і придатними до використання. Також роботодавець веде облік видачі ЗІЗ, організовує їхню періодичну перевірку, чищення, прання або заміну по мірі зношення. Працівники навчаються правильному користуванню засобами захисту – наприклад, як правильно надягати протигаз, перевіряти клапани, діставати потерпілого за допомогою рятувальної мотузки тощо.

Безпечне виконання робіт у замкнених просторах. Окремо слід розглянути заходи безпеки при роботах усередині ємностей – таких як варильні чани, бродильні танки. Внутрішній огляд, чистка чи ремонт цих апаратів пов'язані з підвищеним ризиком (замкнений простір, можливий брак кисню, наявність залишків CO₂ або парів миючих речовин). Тому такі роботи належать до категорії робіт з підвищеною небезпекою і проводяться виключно за нарядом-допуском. Перед спуском всередину ємності вона повинна бути підготовлена: повністю спорожнена, пропарена або промита, після чого провентильована і перевірена на відсутність небезпечних газів (CO₂, аміак, інертні гази). На час перебування людини всередині біля люка зверху постійно чергує другий працівник, який підтримує голосовий чи сигнальний зв'язок з тим, хто спустився, і готовий надати допомогу. Працівник, що працює всередині, має бути одягнений в захисний пояс із лямками, закріплений страхувальною мотузкою, вільний кінець якої утримує страхуючий нагорі. Якщо існує ризик присутності небезпечних газів у повітрі ємності (наприклад, залишкового CO₂ або випарів мийних

| | | | | | | |
|-------|------|----------|--|------|---|------|
| | | | | | Заходи щодо організації безпечних умов праці на виробництві | Арк. |
| | | | | | | 81 |
| Змін. | Лист | № докум. | | Дата | | |

хімікатів), працівник повинен працювати в ізолюючому шланговому протигазі, а поряд має бути резервний протигаз для страхуючого. На деяких ємностях встановлюються спеціальні пристрої для рятування – триноги з лебідкою, за допомогою яких можна підняти працівника, що знепритомнів, не спускаючись у небезпечний простір. Правилами встановлено, що тривалість безперервної роботи у шланговому протигазі не повинна перевищувати 15 хв, після чого необхідно робити перерву не менше 15 хв на свіжому повітрі. Усі працівники, допущені до робіт в замкнених просторах, проходять спеціальне навчання і тренування щодо методів рятування та надання домедичної допомоги потерпілим у таких ситуаціях.

Санітарно-гігієнічні умови праці. Пивоваріння належить до харчових виробництв, де особлива увага приділяється чистоті і гігієні, але й умови праці працівників повинні відповідати санітарним нормам. У варильному відділенні мікроклімат характеризується підвищеною температурою повітря та вологістю через процес кип'ятіння суслу. Роботодавець зобов'язаний забезпечити параметри мікроклімату у допустимих межах, згідно з Державними санітарними нормами (ДСН). Для категорії робіт, що виконуються у пивоварні, санітарні норми встановлюють оптимальну температуру повітря близько +18...+20 °С при відносній вологості 60...75%. Оскільки досягти таких параметрів у варильному цеху важко через технологічний процес, слід застосувати вентиляцію і регламентувати режим роботи. Наявність ефективної загальнообмінної вентиляції та місцевих вентиляцій зменшує теплове навантаження на персонал. Працівникам надаються регулярні перерви для відпочинку в кімнаті відпочинку або на свіжому повітрі, особливо при роботі у жаркий період року. Забезпечується доступ до питної води згідно з Гігієнічними вимогами до питної води (ДСанПіН 2.2.4-171-10), аби працівники могли відновлювати водний баланс при значному потовиділенні. Освітленість робочих зон підтримується на рівні, не нижчому за нормативний (не менше 200–300 лк у основних зонах, 500 лк – на пультах керування), для чого встановлюються достатня кількість світильників. Усі світильники в сирих та вологих приміщеннях повинні бути у вологозахищеному виконанні, напругою 12 В для внутрішнього освітлення ємностей, щоб уникнути ураження електрострумом. Рівень шуму і вібрації від обладнання контролюється, потрібно забезпечити операторів навушниками. Виробничі приміщення повинні бути забезпечені побутовими приміщеннями для персоналу: роздягальні, душові установки, санітарні вузли. Працівники зобов'язані дотримуватися правил особистої гігієни: мити руки перед початком роботи, після відвідування санвузла та після контакту з біологічною сировиною; носити чистий санітарний одяг. Забороняється споживання їжі у виробничих зонах – для цього повинні бути обладнані спеціальні кімнати або куточки відпочинку, і працівники можуть приймати їжу лише у відведених місцях, аби не забруднювати робоче середовище. В

| | | | | | | |
|-------|------|----------|--|------|---|------|
| | | | | | Заходи щодо організації безпечних умов праці на виробництві | Арк. |
| | | | | | | 82 |
| Змін. | Лист | № докум. | | Дата | | |

цілому, дотримання санітарно-гігієнічних норм не лише зберігає здоров'я працівників, але й позитивно впливає на якість готового продукту.

Протипожежна безпека. Пожежна безпека на пивоварному заводі організовується відповідно до Правил пожежної безпеки в Україні (НАПБ А.01.001-2014) та галузевих вимог. У кожному виробничому приміщенні повинні бути передбачені необхідні засоби пожежогасіння – ручні вогнегасники відповідного типу: вуглекислотні або порошкові – для електрообладнання, піни – для горючих рідин, пожежні крани із рукавами і стволами, ящики з піском біля складів горючих матеріалів. На об'єкті має діяти автоматична пожежна сигналізація з датчиками диму або тепла в ключових зонах, а також система оповіщення людей про пожежу. Евакуаційні виходи з цехів повинні постійно бути вільними, двері евакуаційних виходів – відчинятися у напрямку виходу з будівлі. Персонал заводу проходить протипожежні інструктажі та навчання навичкам використання вогнегасників. Проводяться протипожежні тренування не рідше одного разу на рік, під час яких відпрацьовується евакуація людей і дії добровільної пожежної дружини підприємства. Приміщення категорії А і Б (вибухо- та пожежонебезпечні) обладнуються стаціонарними установками пожежогасіння, якщо цього вимагають будівельні норми. Важливим аспектом є наявність зрозумілих планів евакуації та позначення шляхів виходу – відповідні схеми вивішуються при вході до кожного цеху і на поверхах будівель. Також ризик пожежі на виробництві зменшується за рахунок регулярного технічного обслуговування обладнання: зношені підшипники, що можуть перегріватися, своєчасно змінюють; електромережі перевіряють на відсутність перевантажень і коротких замикань; у вибухонебезпечних приміщеннях встановлюються датчики контролю концентрації горючих газів і пилу. Всі працівники зобов'язані негайно повідомити про будь-яку пожежну небезпеку (відчуття запаху газу, диму, помічений тліючий матеріал) керівництву або пожежній охороні об'єкта.

Контроль та моніторинг безпеки. Безперервний контроль за дотриманням вимог охорони праці – запорука підтримання належного рівня безпеки. На пивзаводі впроваджується система внутрішнього аудиту охорони праці: уповноважені особи (інженер з ОП, члени комісії з охорони праці) здійснюють регулярні обходи цехів, перевіряючи стан умов праці, наявність небезпечних факторів, використання ЗІЗ, справність вентиляції, огорожень, приладів безпеки на обладнанні. Особлива увага приділяється контрольним механізмам безпеки, вбудованим у технологічний процес: датчики і сигналізатори рівня, тиску, температури повинні працювати справно; запобіжні клапани – періодично перевірятися на спрацьовування; блокувальні пристрої на дробарках, мішалках, транспортерних стрічках – тестуватися в рамках технічного обслуговування [61]. Відповідно до правил, всі захисні огороження, що знімаються або відкидаються мають

| | | | | | | |
|-------|------|----------|--|------|---|------|
| | | | | | Заходи щодо організації безпечних умов праці на виробництві | Арк. |
| | | | | | | 83 |
| Змін. | Лист | № докум. | | Дата | | |

бути обладнані блокувальними замками або кінцевими вимикачами, які відключають двигун при відкриванні. Наявність такої міжблокувальної системи повинна регулярно перевірятися інженерною службою. Керівництво підприємства зобов'язане впровадити порядок, за яким небезпечні зони навколо обладнання визначаються та позначаються знаками безпеки, а відповідні місця фарбуються у попереджувальні кольори. Щоб забезпечити це, складається список необхідних знаків і місць їх установки, виконується розміщення згідно з Технічним регламентом знаків безпеки і захисту здоров'я працівників.

Важливою є система обліку і розслідування нещасних випадків. Якщо на виробництві трапився інцидент або аварія, роботодавець зобов'язаний провести розслідування причин і обставин згідно з установленим порядком і вести облік таких випадків. На основі аналізу причин розробляються коригувальні заходи, щоб запобігти повторенню подібного у майбутньому. Наприклад, якщо стався опік працівника гарячим суслем, переглядаються інструкції, посилюється контроль за носінням захисних рукавичок та впроваджується, можливе технічне рішення. В цілому, на підприємстві доцільно впроваджувати систему управління охороною праці згідно з міжнародним стандартом ISO 45001:2018 та ДСТУ ISO 45001:2019. Цей стандарт спрямований на виявлення ризиків, залучення керівництва і працівників до питань безпеки та постійне вдосконалення системи охорони праці. Ризик-орієнтований підхід, закладений у ISO 45001, дозволяє ефективно ідентифікувати потенційні загрози на виробництві і завчасно впроваджувати необхідні профілактичні заходи [62]. Хоча сертифікація за цим стандартом не є обов'язковою вимогою, вона підтверджує високий рівень корпоративної культури безпеки і може зменшити травматизм та професійну захворюваність.

Таким чином, забезпечення безпечних умов праці у варильному відділенні пивоварного заводу – процес, що охоплює технічні, організаційні та санітарні аспекти. На основі чинних нормативних документів України: законодавства про охорону праці, НПАОП 15.9-1.28-17 [59], державних стандартів і санітарних правил на підприємстві створюється цілісна система, яка включає: оцінку ризиків і їх мінімізацію засобами інженерного захисту; інформування та навчання персоналу; забезпечення працівників ефективними засобами захисту; підтримання обладнання у справному і безпечному стані; контроль небезпечних факторів приладами; готовність до аварійних ситуацій. Реалізація цих заходів, підкріплена відповідальністю посадових осіб та свідомою дисципліною працівників, дозволяє знизити виробничий травматизм, запобігти аваріям та професійним захворюванням. Як результат, створюються оптимальні умови праці, за яких робітники варильного й суміжних відділень пивоварні захищені від впливу небезпечних факторів.

| | | | | | | |
|-------|------|----------|--|------|--|------|
| | | | | | Заходи щодо організації безпечних умов праці на виробництві | Арк. |
| | | | | | | 84 |
| Змін. | Лист | № докум. | | Дата | | |

ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ

У кваліфікаційній роботі спроектовано варильне відділення пивоварного заводу продуктивністю 8 млн дал пива на рік із застосуванням сучасних методів інтенсифікації процесів приготування сусла. Проведене узагальнення результатів літературного аналізу і розрахунків за всіма розділами роботи дозволило обґрунтувати оптимальні технологічні, технічні та організаційні рішення для підвищення ефективності роботи варильного відділення. Особливу увагу приділено розробці принципово-апаратурної схеми, в якій реалізовано впроваджені рішення щодо інтенсифікації ключових стадій виробництва сусла. За результатами проекту запропоновано та впроваджено такі основні заходи інтенсифікації варильного процесу:

- Інтенсивне затирання із застосуванням ферментних препаратів. Оптимізовано температурно-часовий режим затирання солоду, а також додано мультиензимний комплекс Ceremix 2XL для переробки несоложеної сировини. Це дозволило швидше ферментативно розщепити крохмаль, зменшити в'язкість затору і підвищити вихід екстракту, що особливо важливо при використанні несолодженої сировини у складі затору.

- Використання високопродуктивного фільтр-апарата. У схемі передбачено фільтр-апарат типу GEA LAUTERSTAR 2.0 з централізованим відведенням сусла, подвійними ножами, автоматизованим регулюванням і відмінними показниками екстракції, приблизно 98,7% та більшою продуктивністю.

- Рекуперація тепла за системою EquiTherm. Запроваджено сучасну систему енергозбереження EquiTherm, яка дозволяє повторно використовувати тепло, що виділяється при кип'ятінні та охолодженні сусла. Інтегрування системи дозволяє спрямовувати частину теплової енергії пари та гарячого сусла на нагрівання наступної порції затору й інші технологічні потреби. Це рішення скорочує витрати пари і гарячої води, знижуючи сумарне споживання теплової енергії варильним відділенням.

- Прискорене освітлення сусла із використанням карагінану. Перед стадією осадження застосовано додавання карагінану як допоміжного засобу для освітлення. Це сприяє інтенсивному випадінню білково-поліфенольних комплексів і хмелевого осаду, прискорюючи освітлення сусла та поліпшуючи його колоїдну стабільність. У результаті скорочується час відстоювання сусла і підвищується якість напівпродукта перед бродінням.

- Використання зональних теплообмінників для прискореного охолодження сусла зменшує час перебування гарячої рідини у температурному діапазоні, сприятливому для розвитку мікроорганізмів, що знижує мікробіологічний ризик зараження. Така багатоступенева схема дає змогу у подальшому ефективно рекуперувати енергію, яку можна

| | | | | | | |
|-------|------|----------|--|------|-------------------|------|
| | | | | | Загальні висновки | Арк. |
| | | | | | | 85 |
| Змін. | Лист | № докум. | | Дата | | |

використати для підігріву технологічних потоків або санітарних потреб.

- Автоматизація та цифровий контроль якості процесу. Проектом передбачено використання сучасного автоматизованого обладнання з інтегрованою системою керування та впровадження експрес-контролю якості сусла. Зокрема, встановлено аналізатори з технологією NIR для моніторингу ключових показників: екстрактивність, колір, вміст цукрів тощо, в режимі реального часу. Це дозволяє оперативно коригувати режими, забезпечувати стабільність фізико-хімічних параметрів сусла і гарантувати повторюваність якості пива від варки до варки.

Реалізація наведених рішень комплексно підвищує технологічну, енергетичну, економічну та екологічну ефективність роботи варильного відділення.

Оптимізація процесів затирання і кип'ятіння дала змогу скоротити повний цикл приготування сусла, що підвищує добову продуктивність без втрати якості сусла. Використання ферментів і фільтр-апарата забезпечило більш повне використання сировини. Стабільність показників сусла для всього запланованого асортименту пива підтримується на високому рівні завдяки автоматизованому контролю, що підтверджує надійність обраних технологічних рішень.

Скорочення тривалості теплових процесів у варильному відділенні та впровадження системи EquiTherm дозволили суттєво знизити витрати теплової енергії. За попередніми оцінками, запропоновані заходи дають змогу зменшити сукупне споживання пари та гарячої води приблизно на 25–30% порівняно з традиційною технологією.

Інтенсифікація процесів забезпечує прямий економічний ефект за рахунок енергозбереження, підвищення виходу продукції та зменшення втрат сировини. Зниження витрат на одиницю продукції та раціональне використання ресурсів підвищують загальну рентабельність виробництва. Запропоновані рішення зменшують екологічне навантаження пивоварного виробництва. Енергозбереження та скорочення витрат води безпосередньо ведуть до зниження обсягів викидів в атмосферу та обсягу стічних вод. Раціональне використання побічних продуктів як вторинної сировини або кормових добавок мінімізує кількість відходів, що потребують утилізації. Проектне варильне відділення повністю відповідає сучасним вимогам екологічної безпеки та принципам сталого виробництва.

Таким чином, розроблена принципово-апаратна схема варильного відділення пивзаводу дозволяє завдяки комплексу інтенсивних технологічних рішень забезпечити випуск 8 млн дал пива на рік із підвищеною продуктивністю та зниженими витратами ресурсів. Досягнуте поліпшення технологічних, енергетичних, економічних показників підтверджує доцільність впровадження інноваційних рішень у пивоварінні.

| | | | | | | |
|-------|------|----------|--|------|-------------------|------|
| | | | | | Загальні висновки | Арк. |
| | | | | | | 86 |
| Змін. | Лист | № докум. | | Дата | | |

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. ДСТУ 3888: 2015 Пиво. Загальні технічні умови. [Чинний від 2015-11-01]. Київ: Держспоживстандарт України, 2015. 16 с
2. Analytica EBC [Електронний ресурс]. — 2018 European Brewery Convention. URL: <https://brewup.eu/ebc-analytica> (дата звернення: 16.06.2025).
3. Virkajaervi I., Rajunen E., Heinz V. Wort production comprises ultrasound treatment during at least initial stage of conventional mashing [Виробництво сусла із застосуванням ультразвукової обробки на початковому етапі затирання] : пат. DE 10156829 A1. Опубл. 08 трав. 2003. URL: <https://patents.google.com/patent/DE10156829A1/en>
4. Isenberg R. Method for producing a beer wort and/or for boiling mash and a device for carrying out said method [Спосіб одержання пивного сусла та/або варіння затору та пристрій для його здійснення] : пат. EP 1025201 B1. Опубл. 19 трав. 2004. URL: <https://patents.google.com/patent/EP1025201B1/en>
5. Основи технології пивоваріння [Електронний ресурс] // Електронна бібліотека ТДАТУ. – Режим доступу: https://elib.tsatu.edu.ua/dep/mtf/ophv_18/page2.html (дата звернення: 29.05.2025)
6. Романова З.М., Романова О.С., Косоголова Л.О. Інтенсифікація процесів пивоваріння за участі ферментів. Екологічна безпека та природокористування. 2020. № 3. С. 1–9. URL: [https://jrnл.nau.edu.ua/index.php/ecobiotech/article/view/12119/16351](https://jrnل.nau.edu.ua/index.php/ecobiotech/article/view/12119/16351)
7. Hammer Mill [Електронний ресурс] // Craft Beer & Brewing. – Режим доступу: <https://beerandbrewing.com/dictionary/85NIYlyMsh/>
8. German brewing in the 1970's – wort production [Електронний ресурс] // Shut up about Barclay Perkins. – 09.02.2015. – Режим доступу: <https://barclayperkins.blogspot.com/2015/02/german-brewing-in-1970s-wort-production.html>
9. Mash Filter (Meura 2001) [Електронний ресурс] // Aegir Brewing Systems. – Режим доступу: <https://www.aegirbrewingsystems.com/mash-filter>
10. Scientific Articles about Brewing Enzymes [Електронний ресурс] // Novozymes. – Режим доступу: <https://biosolutions.novozymes.com/en/brewing/insights/article/scientific-articles-about-brewing-enzymes>
11. The MEURABREW: the brewhouse of the future! [Електронний ресурс] // Meura. – Режим доступу: <https://www.meura.com/documents/machines/meurameurabrew.pdf>
12. The Crisp Guide to Wort Boiling [Електронний ресурс] // Crisp Malt. – Режим доступу: <https://crispmalt.com/news/the-crisp-guide-to-wort-boiling/>

| | | | | | | |
|-------|------|----------|--|------|----------------------------|------|
| | | | | | Список використаних джерел | Арк. |
| | | | | | | 87 |
| Змін. | Лист | № докум. | | Дата | | |

13. GEA redesigns wort boiling saving up to 60% energy [Електронний ресурс] // GEA. – Режим доступу: <https://www.gea.com/en/news/trade-press/2023/gea-wort-boiling-saving-energy/>

14. The effect of hydrodynamic cavitation on isomerization of hop alpha acids during wort boiling [Електронний ресурс] // ScienceDirect. – Режим доступу:
<https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0960308524000166>

15. EquiTherm – the basis for energy-efficient brewing [Електронний ресурс] // Kronos. – Режим доступу:
<https://www.kronos.com/en/company/press/magazine/trend/equitherm-the-basis-for-energy-efficient-brewing.php>

16. KICK Carrageenan® Kettle Finings [Електронний ресурс] // Gusmer Enterprises. – Режим доступу:
<https://www.gusmerenterprises.com/catalog/brewing/brewing-processing-aids/kettle-finings/>

17. Carrageenan [Електронний ресурс] // BeerGuevara. – Режим доступу: <https://beerguevara.com/product/carrageenan/>

18. Cooling method of wort [Електронний ресурс] // Tiantai. – Режим доступу:
https://www.craftbreweryequipment.com/News_Blog/Beer_Brewing_Tech/Cooling_method_of_wort_2744.htm

19. Wort Cooling Method [Електронний ресурс] // Down the Road Brewery. – Режим доступу: <https://www.downtheroadbrewery.com/wort-cooling-method.html>

20. Inline Near-Infrared Spectroscopy Enables Automated Optimization of the Beer Fermentation Process [Електронний ресурс] // tec5USA. – Режим доступу:
https://www.tec5usa.com/wp-content/uploads/2021/07/AN_Beer_Fermentation_Monitoring-v4-1.pdf

21. The Brewing Industry and the Opportunities for Real-Time Quality Analysis Using Infrared Spectroscopy [Електронний ресурс] // MDPI. – Режим доступу: <https://www.mdpi.com/2076-3417/10/2/616>

22. Fox, G. The Brewing Industry and the Opportunities for Real-Time Quality Analysis Using Infrared Spectroscopy [Електронний ресурс] // Applied Sciences. – 2020. – Vol. 10, No. 2. – Article 616. – Режим доступу:
<https://www.mdpi.com/2076-3417/10/2/616>

23. Beverages [Електронний ресурс] // Bruker. – Режим доступу:
<https://www.bruker.com/en/applications/food-analysis-and-agriculture/food-quality/beverages.html>

24. Stewart, G. G. High gravity brewing – the pros and cons [Електронний ресурс] // New Food Magazine. – Режим доступу:
<https://www.newfoodmagazine.com/article/1550/high-gravity-brewing-the-pros-and-cons/>

25. Evaluating the physiology and fermentation performance of the lager

| | | | | | | |
|-------|------|----------|--|------|----------------------------|------|
| | | | | | Список використаних джерел | Арк. |
| Змін. | Лист | № докум. | | Дата | | 88 |

yeast during very high gravity brewing with increased temperature adaptation [Електронний ресурс] // ScienceDirect. – Режим доступу: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0023643822012476>

26. Udeh, H. O., & Kgatla, T. E. Role of magnesium ions on yeast performance during very high gravity fermentation [Електронний ресурс] // Journal of Brewing and Distilling. – 2013. – Vol. 4, No. 2. – Рр. 19–45. – Режим доступу:

https://www.researchgate.net/publication/361649499_Role_of_magnesium_ions_on_yeast_performance_during_very_high_gravity_fermentation

27. Casey, G. P., Chen, E. C.-H., & Ingledew, W. M. High-Gravity Brewing: Production of High Levels of Ethanol Without Excessive Concentrations of Esters and Fusel Alcohols [Електронний ресурс] // Agraria.

– Режим доступу: https://www.agraria.com.br/extranet_2016/uploads/AgromalteArquivo/high_graviti_ii_ing_1601581109058.pdf

28. Enzymes, Process Updates Drive Sustainable Brewing [Електронний ресурс] // Kerry. – Режим доступу: <https://www.kerry.com/insights/kerrydigest/2018/enzymes-process-updates-drive-sustainable-brewing>

29. Diacetyl control [Електронний ресурс] // Novozymes. – Режим доступу: <https://biosolutions.novozymes.com/sites/default/files/inline-files/Diacetyl%20control.pdf>

30. Combating chill haze with Brewers Clarex [Електронний ресурс] // Royal Avebe – Режим доступу: <https://rahrbsg.com/combating-chill-haze-with-brewers-clarex/>.

31. Boiling [Електронний ресурс] / Charles W. Bamforth // Craft Beer & Brewing. – Режим доступу: <https://beerandbrewing.com/dictionary/RZV7tB05MV/>.

32. GEA redesigns wort boiling saving up to 60% energy [Електронний ресурс] // GEA Group. – 2023. – Режим доступу: <https://www.gea.com/en/news/trade-press/2023/gea-wort-boiling-saving-energy/>.

33. Water Knowledge [Електронний ресурс] / Martin Brungard // Bru'n Water. – Режим доступу: <https://www.brunwater.com/water-knowledge>.

34. Merlin Boiling System [Електронний ресурс] // The Dogs of Beer. – Режим доступу: <https://thedogsofbeer.wordpress.com/tag/merlin-boiling-system/>.

35. Keene B. When Investing in a Mash Filter Press Makes Sense [Електронний ресурс] // Brewing Industry Guide. – 2022. – Режим доступу: <https://brewingindustryguide.com/when-investing-in-a-mash-filter-press-makes-sense/>.

36. Clingman A. Member Highlight: Sierra Nevada Brewing Co Leading the Way for Sustainability and Energy Efficiency [Електронний ресурс] // NC

| | | | | | | |
|-------|------|----------|--|------|--------------------------------|------|
| | | | | | Список використаної літератури | Арк. |
| Змін. | Лист | № докум. | | Дата | | 89 |

Sustainable Energy Association. – 2022. – Режим доступу: <https://www.energync.org/blog/member-highlight-sierra-nevada-brewing-co-leading-the-way-for-sustainability-and-energy-efficiency/>.

37. Continual Hopping [Електронний ресурс] // Dogfish Head Craft Brewed Ales. – Режим доступу: <https://www.dogfish.com/continual-hopping>

38. Технологія солоду, пива та безалкогольних напоїв у задачах і прикладах: навч. посіб. / А.Є. Мелетьєв та ін. ; під ред. А.Є. Мелетьєва. Київ: НУХТ, 2007. 256 с.

39. ДСТУ 4282:2018 Солод пивоварний ячмінний. Загальні технічні умови. [Чинний від 2004-1-01]. Київ: Держспоживстандарт України, 2004. 14 с.

40. Кунце В., Мит Г. Технология солода и пива: пер. с нем. СанктПетербург: Профессия, 2009. 1100 с

41. ДСТУ 3769-98 Ячмінь. Технологічні вимоги. [Чинний від 1999-01-01]. Київ: Держспоживстандарт України, 1998. 11 с.

42. ДСанПіН 2.2.4-171-10 Вода питна. «Державні санітарні норми та правила «Гігієнічні вимоги до води питної, призначеної для споживання людиною». [Чинний від 12.05.2010 р.]. Зареєстровано в міністерству юстиції України 1 липня 2010 р. за № 452/17747. (Нормативний документ Мінздраву України. Державні санітарні норми та правила)

43. ДСТУ 4621:2006 Кислота молочна харчова. Загальні технічні умови. [Чинний від 2008-03-01]. Київ: Держспоживстандарт України, 2007. 23 с.

44. Мелетьєв А.Є., Годосійчук С.Р., Кошова В.М. Технохімічний контроль виробництва солоду, пива і безалкогольних напоїв: підруч. ; за ред. А.Є. Мелетьєва. Вінниця: Нова Книга, 2007. 392 с.

45. Курсове і дипломне проектування: методичні рекомендації щодо складання принципів і апаратурно-технологічних схем та умовно графічних зображень в апаратурно-графічних схемах для студентів денної і заочної форм навчання спеціальності «Технологія продуктів бродіння і виноробство» за ОКР «бакалавр», «спеціаліст», «магістр» / уклад. П.Л. Шиян, В.Л. Прибильський, А.М. Куц та ін. Київ: НУХТ, 2012. 67 с. (№ 8116)

46. Обладнання підприємств переробної і харчової промисловості: підруч. / І.С. Гулий, М.М. Пушанко, Л.О. Орлов та ін. ; за ред. І.С. Гулого. Вінниця: Нова книга, 2001. 576 с

47. ISO 22000 | Food Safety Management System [Електронний ресурс]. — Режим доступу: <https://iso-certify.com/en/iso-22000/> (дата звернення: 16.06.2025).

48. DNV — порівняння HACCP та ISO 22000 [Електронний ресурс]. — Режим доступу: <https://www.dnv.com/assurance/food-and-beverage/difference-between-haccp-and-iso-22000/> (дата звернення: 16.06.2025).

| | | | | | | |
|-------|------|----------|--|------|--------------------------------|------|
| | | | | | Список використаної літератури | Арк. |
| | | | | | | 90 |
| Змін. | Лист | № докум. | | Дата | | |

49. HACCP Principles & Application Guidelines [Електронний ресурс]. — Режим доступу: <https://www.fda.gov/food/hazard-analysis-critical-control-point-haccp/haccp-principles-application-guidelines> (дата звернення: 16.06.2025).

50. Difference between HACCP and ISO 22000 [Електронний ресурс]. — Режим доступу: <https://www.dnv.com/assurance/food-and-beverage/difference-between-haccp-and-iso-22000/> (дата звернення: 16.06.2025).

51. Співпраця — Уманське пиво [Електронний ресурс]. — Режим доступу: <https://umanpivo.ua/ua/cooperation> (дата звернення: 16.06.2025).

52. Brewing Quality Control and Quality Management – Brewer World [Електронний ресурс]. — Режим доступу: <https://www.brewer-world.com/brewing-quality-control-and-quality-management/> (дата звернення: 16.06.2025).

53. Environmental Policy — Carlsberg Ukraine [Електронний ресурс]. — Режим доступу: https://carlsbergukraine.com/media/nbsewesq/environmental-policy_eng_dec-2020.pdf (дата звернення: 16.06.2025).

54. Environmental Policy. December 2020 [Електронний ресурс] / Carlsberg Ukraine. — Режим доступу: https://carlsbergukraine.com/media/nbsewesq/environmental-policy_eng_dec-2020.pdf (дата звернення: 16.06.2025).

55. Brewery and Distillery Energy Efficient Toolkit [Електронний ресурс]. — Режим доступу: <https://www.ncat.org/energy/energy-toolkit/brewery-and-distillery/> (дата звернення: 16.06.2025).

56. Guidance Note for Establishing BAT in the Brewing Industry [Електронний ресурс] / The Brewers of Europe. — Режим доступу: <https://brewersofeurope.eu/uploads/mycms-files/documents/archives/publications/guidance.pdf> (дата звернення: 16.06.2025).

57. Carlsberg wins award for World’s most water-efficient brewery [Електронний ресурс] / Carlsberg Group. — Режим доступу: <https://www.carlsberggroup.com/newsroom/carlsberg-wins-award-for-world-s-most-water-efficient-brewery/> (дата звернення: 16.06.2025).

58. World’s First Large-Scale Carbon-Neutral Brewery Now in Operation [Електронний ресурс] / EcoWatch. — Режим доступу: <https://www.ecowatch.com/worlds-first-large-scale-carbon-neutral-brewery-now-in-operation-1891169851.html> (дата звернення: 16.06.2025).

59. Охорона праці на пивоварнях [Електронний ресурс] / OPPB.com.ua. — Режим доступу: <https://oppb.com.ua/news/v-пывоварнях-dolzhyu-soblyudat-pravylya-ohrany-truda> (дата звернення: 16.06.2025).

60. Про затвердження Правил охорони праці для працівників

| | | | | | | |
|-------|------|----------|--|------|--------------------------------|------|
| | | | | | Список використаної літератури | Арк. |
| | | | | | | 91 |
| Змін. | Лист | № докум. | | Дата | | |

виробництва солоду, пива та безалкогольних напоїв : Наказ Міністерства соціальної політики України від 18 квітня 2017 р. № 635. Відомості Верховної Ради України. Режим доступу: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/z0633-17> (дата звернення: 16.06.2025).

61. Про затвердження Державних санітарних норм і правил для підприємств, що виробляють солод, пиво та безалкогольні напої (ДСанПіН 4.4.4.-152-2008) : Наказ Міністерства охорони здоров'я України від 11 грудня 2007 р. № 811 // База даних "Законодавство України" / Верховна Рада України. — Режим доступу: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/z0633-17> (дата звернення: 16.06.2025).

62. ISO 45001 (охорона здоров'я і безпека праці) [Електронний ресурс] / Всеукраїнська експертна служба «Укрекспертиза». — Режим доступу: <https://ves.in.ua/iso-45001-okhorona-zdorov-ya-i-bezpeka-pratsi/> (дата звернення: 16.06.2025).

| | | | | | | |
|-------|------|----------|--|------|--------------------------------|------|
| | | | | | Список використаної літератури | Арк. |
| | | | | | | 92 |
| Змін. | Лист | № докум. | | Дата | | |