

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
Донецький національний університет економіки і торгівлі
імені Михайла Туган-Барановського
Навчально-науковий інститут ресторанно-готельного бізнесу та туризму
Кафедра загальноінженерних дисциплін та обладнання

ДОПУСКАЮ ДО ЗАХИСТУ
Гарант освітньої програми
«Обладнання переробної і харчової
промисловості»
Цвіркун Л.О.
« ____ » _____ 2024 року

**ПОЯСНЮВАЛЬНА ЗАПИСКА
ДО КВАЛІФІКАЦІЙНОЇ РОБОТИ**
на здобуття ступеня вищої освіти «Бакалавр»
зі спеціальності 133 «Галузеве машинобудування»
за освітньою програмою «Обладнання переробної і харчової промисловості»
на тему: **«ТЕХНІЧНЕ ОСНАЩЕННЯ ЦЕХУ ДЛЯ ВИРОБНИЦТВА ПИВА»**

Виконав:
здобувач вищої освіти Каюн Олександр Володимирович
(прізвище, ім'я, по-батькові) (підпис)

Керівник: доцент, к.п.н., Цвіркун Л.О.
(посада, науковий ступінь, вчене звання, прізвище та ініціали) (підпис)

Засвідчую, що у кваліфікаційній
роботі немає запозичень з праць інших
авторів без відповідних посилань

Здобувач вищої освіти _____
(підпис)

Кривий Ріг
2024

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ

ДОНЕЦЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ ЕКОНОМІКИ І ТОРГІВЛІ
ІМЕНІ МИХАЙЛА ТУГАН-БАРАНОВСЬКОГО

Навчально-науковий інститут ресторанно-готельного бізнесу та туризму
Кафедра загальноінженерних дисциплін та обладнання

Форма здобуття вищої освіти денна

Ступінь бакалавр

Галузь знань Механічна інженерія

Освітня програма Обладнання переробної і харчової промисловості

ЗАТВЕРДЖУЮ:

Гарант освітньої програми «Обладнання
переробної і харчової промисловості»

Цвіркун Л.О.

« » 2024 року

ЗАВДАННЯ
НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ ЗДОБУВАЧУ ВИЩОЇ ОСВІТИ

Каюну Олександровичу Володимировичу

(прізвище, ім'я, по-батькові)

1. Тема кваліфікаційної роботи: «Технічне оснащення цеху для виробництва пива»

Керівник роботи к.п.н., Цвіркун Л.О.

(науковий ступінь, вчене звання, прізвище та ініціали)

Затверджено: наказом першого проректора ДонНУЕТ імені Михайла Туган-Барановського від « 15 » листопада 2023 р. № 353-с.

2. Строк подання здобувачем ВО роботи « 30 » травня 2024 р.

3. Вихідні дані до роботи:

1. Технічна документація до устаткування.

2. Монографії, наукові статті, автореферати дисертацій, тези доповідей на наукові конференції.

3. Навчальна і методична література, інформація мережі Інтернет.

4. Зміст пояснювальної записки:

1. Вступ.

2. Технологічний процес виготовлення пива.

3. Технічне оснащення цеху малих пивоварних підприємств.

4. Аналіз результатів досліджень.

5. Висновки.

6. Список використаних джерел.

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

Обладнання для нетермічної обробки пива.

Схема промислової ємності для бродіння (ферментатори).

Апаратно технологічна схема міні пивоварні.

Моделювання бульбашкових потоків.

6. Дата видачі завдання «23» листопада 2023 р.

7. Календарний план

№ з/п	Назва етапів кваліфікаційної роботи	Строк виконання етапів роботи
1	Вступ	31.01.2024-15.02.2024
2	Технологічний процес виготовлення пива	16.12.2024-10.03.2024
3	Технічне оснащення цеху малих пивоварних підприємств	11.03.2024-15.04.2024
4	Аналіз результатів досліджень	16.04.2024-30.04.2024
5	Висновки по роботі	01.05.2024-12.05.2024
6	Оформлення роботи і подання до захисту	16.05.2024-05.06.2024

Здобувач вищої освіти

(підпис)

Каюн О.В.

(прізвище та ініціали)

Керівник роботи

(підпис)

Цвіркун Л.О.

(прізвище та ініціали)

РЕФЕРАТ

Обсяг і структура бакалаврської роботи. Повний обсяг бакалаврської роботи – 50 сторінка, в тому числі основного тексту – 42 сторінки. Робота містить 15 рисунків, 2 таблиці. Список використаних джерел складається з 15 найменувань.

Об'єкт роботи – апаратно технологічна схема міні пивоварні.

Предмет роботи – технологічний процес виготовлення пива.

Мета роботи – технічне оснащення цеху для виробництва пива.

У роботі зазначено, що пиво – це газований, ферментований алкогольний напій, який був одним із перших напоїв виготовлених людиною. Напій є п'ятим за споживанням в даний час і є найбільш вживаним алкогольним напоєм у світі. Пиво традиційно виготовляється із використанням чотирьох основних інгредієнтів: води, солоду, хмелю та дріжджів. Різні види пива виникають в результаті поєднання різних інгредієнтів і технологій пивоваріння у виробництві пива.

На основі аналізу, було зазначено, що виробництво пива – це складний технологічний процес, який поєднує фізичні, хімічні та біологічні процеси. Правильний вибір параметрів на кожному етапі виробництва гарантує необхідну якість і можливість найбільш оптимального управління процесом. Пивоваріння можна розділити на три основні технологічні етапи: отримання сусла, спиртове бродіння і дозрівання, стабілізація та переробка пива.

Запропоновано алгоритм оптимізації основних процесів виробництва пива: процес подрібнення за рахунок врахування властивостей зерна солоду, бо воно не однорідне, тому по-різному може впливати на склад сусла та його властивості; затирання за рахунок збільшення турбулентності, а саме завдяки правильному перемішуванню під час затирання, включаючи відповідну форму мішалки (пропелерний змішувач); процес кип'ятіння сусла залежить від температури, тому зміни, які пов'язані з температурою кипіння найбільше впливатимуть на якість пива, що потребує чіткого регулювання; процес бродіння за рахунок контролювання основних параметрів бродіння, а саме температури, рівня кисню, швидкості реакції, дріжджів.

Запропоновано апаратно технологічну схему міні пивоварні. Апаратно технологічна схема забезпечує подрібнення, приготування пивного сусла та його охолодження, зброджування сусла та витримку пива, розлив пива. Обладнання забезпечує регулювання та контроль температури у суслотоварильному апараті, температуру у фільтраційному апараті, температуру в ферментаторах, регульовану швидкість обертання мішалок.

Розглянуто моделювання потоку бульбашок в склянці. Якщо келих звужується донизу потік спрямовується вниз біля стінки та вгору у внутрішній частині і будуть спостерігатися бульбашки, що тонуть. Якщо келих розширюється донизу потік протилежний описаному вище і буде видно лише бульбашки, що піднімаються вгору. Якщо застосовувати ідеально прямий циліндричний келих то всі бульбашки в пиві разом піднімуться знизу на гору.

КЛЮЧОВІ СЛОВА: пиво, ферментатор, ємність для дозрівання, солод, пивоварня, сусло, бродіння, кип'ятіння сусла, фільтрація, пастеризація.

					ДонНУЕТ.133.ГМБ-20.2024.ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		4

ЗМІСТ

ВСТУП	6
РОЗДІЛ 1. ТЕХНОЛОГІЧНИЙ ПРОЦЕС ВИГОТОВЛЕННЯ ПИВА	7
1.1 Основні інгредієнти для виготовлення пива	9
1.2 Технологія виробництва пива	12
1.3 Обладнання для виготовлення пива	15
РОЗДІЛ 2. ТЕХНІЧНЕ ОСНАЩЕННЯ ЦЕХУ МАЛИХ ПИВОВАРНИХ ПІДПРИЄМСТВ	20
2.1 Оптимізація процесів виготовлення пива	20
2.2 Обґрунтування обладнання для міні пивоварні	26
РОЗДІЛ 3. АНАЛІЗ РЕЗУЛЬТАТІВ ДОСЛІДЖЕНЬ	32
3.1 Реалізація апаратно технологічної схеми міні пивоварні	32
3.2 Моделювання потоку бульбашок в рідині	35
ВИСНОВКИ	39
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ	41
ДОДАТКИ	42

					ДонНУЕТ.133.ГМБ-20.2024.ПЗ			
<i>Зм.</i>	<i>Арк.</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>				
<i>Розроб.</i>	<i>Каюк</i>				Технічне оснащення цеху для виробництва пива	<i>Літ.</i>	<i>Арк.</i>	<i>Аркуші</i>
<i>Перевір.</i>	<i>Цвіркун</i>						5	1
<i>Н. Контр.</i>	<i>Омельченко</i>					ДонНУЕТ Кафедра ЗІДО		
<i>Затверд.</i>	<i>Цвіркун</i>							

ВСТУП

Актуальність роботи. У роботі зазначено, що пиво – це газований, ферментований алкогольний напій, який був одним із перших напоїв виготовлених людиною. Напій є п'ятим за споживанням в даний час і є найбільш вживаним алкогольним напоєм у світі. Вживання пива та пивоваріння були частиною людської діяльності з самого початку цивілізації. Пиво традиційно виготовляється із використанням чотирьох основних інгредієнтів: води, солоду, хмелю та дріжджів. Різні види пива виникають в результаті поєднання різних інгредієнтів і технологій пивоваріння у виробництві пива.

Мета та задачі дослідження. Метою бакалаврської роботи є технічне оснащення цеху для виробництва пива.

Практична та наукова новизна. На основі аналізу, було зазначено, що виробництво пива – це складний технологічний процес, який поєднує фізичні, хімічні та біологічні процеси. Правильний вибір параметрів на кожному етапі виробництва гарантує необхідну якість і можливість найбільш оптимального управління процесом. Пивоваріння можна розділити на три основні технологічні етапи: отримання сусла, спиртове бродіння і дозрівання, стабілізація та переробка пива.

Запропоновано алгоритм оптимізації основних процесів виробництва пива: процес подрібнення за рахунок врахування властивостей зерна солоду, бо воно не однорідне, тому по-різному може впливати на склад сусла та його властивості; затирання за рахунок збільшення турбулентності, а саме завдяки правильному перемішуванню під час затирання, включаючи відповідну форму мішалки (пропелерний змішувач); процес кип'ятіння сусла залежить від температури, тому зміни, які пов'язані з температурою кипіння найбільше впливатимуть на якість пива, що потребує чіткого регулювання; процес бродіння за рахунок контролювання основних параметрів бродіння, а саме температури, рівня кисню, швидкості реакції, дріжджів.

Запропоновано апаратно технологічну схему міні пивоварні. Апаратно технологічна схема забезпечує подрібнення, приготування пивного сусла та його охолодження, зброджування сусла та витримку пива, розлив пива. Обладнання забезпечує регулювання та контроль температури у суслотоварильному апараті, температуру у фільтраційному апараті, температуру в ферментаторах, регульовану швидкість обертання мішалок.

Розглянуто моделювання потоку бульбашок в склянці. Якщо келих звужується донизу потік спрямовується вниз біля стінки та вгору у внутрішній частині і будуть спостерігатися бульбашки, що тонуть. Якщо келих розширюється донизу потік протилежний описаному вище і буде видно лише бульбашки, що піднімаються вгору. Якщо застосовувати ідеально прямий циліндричний келих то всі бульбашки в пиві разом піднімуться знизу на гору.

					ДонНУЕТ.133.ГМБ-20.2024.ПЗ			
<i>Зм.</i>	<i>Арк.</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>				
<i>Розроб.</i>	<i>Каюк</i>				Технічне оснащення цеху для виробництва пива	<i>Літ.</i>	<i>Арк.</i>	<i>Аркушів</i>
<i>Перевір.</i>	<i>Цвіркун</i>						6	1
<i>Н. Контр.</i>	<i>Омельченко</i>				ДонНУЕТ Кафедра ЗІДО			
<i>Затверд.</i>	<i>Цвіркун</i>							

РОЗДІЛ 1 ТЕХНОЛОГІЧНИЙ ПРОЦЕС ВИГОТОВЛЕННЯ ПИВА

1.1 Основні інгредієнти для виготовлення пива

Пиво – це газований, ферментований алкогольний напій, який був одним із перших напоїв виготовлених людиною. Напій є п'ятим за споживанням в даний час і є найбільш вживаним алкогольним напоєм у світі. Вживання пива та пивоваріння були частиною людської діяльності з самого початку цивілізації. Перше пиво в основному виготовлялося із зерна, води та спонтанного бродіння завдяки наявності диких дріжджів, незадовго до того, як було винайдено хліб. За науковими даними, вважається, що єгиптянами було вперше задокументовано процес пивоваріння близько 5000 років до нашої ери. Також зазначається, що перші пивовари були частиною первісних культур Месопотамії [1, 2]. Народження сучасного пива припало на раннє Середньовіччя, коли Німецькі монахи представили хміль як гіркий і смаковий засіб. Раніше пиво варили на власному заводі в невеликих масштабах, але з початком промислової революції його виробництво перейшло до масового виробництва. Пиво почало вироблятися комерційно шляхом контрольованого бродіння суслу, рідин багатих на цукор, сполук азоту та сірки, мікроелементів витягнутих із солодового ячменю.

Варіння пива продовжується здійснюватися і в наші дні з відносно невеликими змінами в основній рецептурі. Ячмінний солод є основним інгредієнтом, який подрібнюється та нагрівається у воді для вилучення його поживних речовин, що забезпечує отримання розчину багатого цукром та білками, який називається суслем. Це ідеальне середовище в якому дріжджі можуть рости і бродити. Останнім часом додається хміль до киплячого суслу, оскільки було виявлено, що хміль має антибактеріальні властивості, які надають ферментованому пиву освіжаючого гіркого смаку.

Пиво традиційно виготовляється із використанням чотирьох основних інгредієнтів: води, солоду, хмелю та дріжджів. Різні види пива виникають в результаті поєднання різних інгредієнтів і технологій пивоваріння у виробництві пива. Вода є основною сировиною, що використовується для пивоваріння, що становить близько 94% всього пива. Термін «солод» визначає сировину отриману в результаті пророщування в контрольованих умовах будь-якого злаку (наприклад, ячменю, рису, кукурудзи, пшениці тощо) [1, 2, 3]. Серед багатьох інших сполук, солод містить три дуже цінні складові з точки зору пивоваріння: крохмаль, білки та гідролітичні ферменти.

Основа пива забезпечується ячменем, точніше ячмінним солодом і загалом використовується кілька сотень грамів на один літр пива. Солод можна

					ДонНУЕТ.133.ГМБ-20.2024.ПЗ			
<i>Зм.</i>	<i>Арк.</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>				
<i>Розроб.</i>	<i>Каюн</i>				Технічне оснащення цеху для виробництва пива	<i>Літ.</i>	<i>Арк.</i>	<i>Аркушів</i>
<i>Перевір.</i>	<i>Цвіркун</i>						7	13
<i>Н. Контр.</i>	<i>Омельченко</i>					ДонНУЕТ Кафедра ЗІДО		
<i>Затверд.</i>	<i>Цвіркун</i>							

частково замінити багатими на крохмаль допоміжними речовинами, такими як рис, кукурудза або пшениця. Коли суспензію ячмінного солоду та пивоварної води («сусло») нагрівають до температури близько 60°C солодові ферменти розщеплюються в крохмаль і білки, що призводить до змішування цукрів і пептидів або амінокислот. Для цього ячмінь необхідно піддати контрольованому пророщуванню під час якого ці ферменти утворюються в ячмінному зерні перед затиранням. Такий пророщений ячмінь відомий як ячмінний солод.

Крохмаль є основним джерелом вуглеводів у пивному суслі та гідролізується ферментами для перетворення його на цукри, що зброджуються, які, у свою чергу, визначають вміст алкоголю в кінцевому пивному продукті. Перетворення крохмалю в цукор припиняється нагріванням. Залежно від умов (час, температура), отримують блідий, бурштиновий або навіть темний солод, колір якого зумовлений карамелізацією цукрів. Колір пива залежить від кольору використаного солоду, що впливає на виразність смаку, який часто є характерною особливістю темного пива.

Хміль не менш вагомий інгредієнт у виготовленні пива. Після фільтрації цукровий розчин «сусло» передається в заварювальний котел, де кип'ятиться протягом не менше однієї години з додаванням хмелю. Найважливіший актив хмелю – це гіркуватий смак, який надається особливо світлому пиву. Крім того, хміль необхідний для стабілізації пивної піни [4].

Дріжджі – це одноклітинні організми, які належать до царства грибів. Смак і аромат будь-якого пива значною мірою визначається штамом дріжджів, які використовуються разом зі складом сусла. В даний час пиво відносять до однієї з наступних категорій: ель, лагер і ламбік. Основним критерієм, який розділяє ці категорії є види дріжджів, що використовуються у виробництві пива: штами *Saccharomyces cerevisiae* (дріжджі верхового бродіння) відповідають за ельове пиво, *Saccharomyces pastorianus* (дріжджі низового бродіння) генерують світле пиво, а штами місцевих дріжджів (дикі дріжджі), які присутні в пивній сировині генерують ламбічне пиво.

Пивоваріння – це масштабний комплексний процес, який перетворює воду, зерна та хміль у пиво і досягається це здебільшого за допомогою дріжджів. В основному велика різноманітність пива пояснюється різними умовами (температура, вид зерна тощо) та типами дріжджів, що застосовуються при виготовленні пива. Серед основних сортів пива, які найчастіше зустрічаються слід виділити наступні:

Світле пиво. Виготовляють з використанням дріжджів, які осідають на дні використаної ємності. Таким чином, усі дріжджі та інші матеріали осідають на дні, що призводить до прозорого пива. Безбарвне світле пиво. Вода, яка використовується для цього типу пива, зазвичай, твердіша, з вищим вмістом кальцію та магнію, ніж вода, яка використовується для інших різновидів пива. Безбарвне світле пиво світліше ніж світле пиво [2]. Ель. Пиво виготовлене з використанням дріжджів у верхній частині пивоварних чанів, що призводить до отримання мутнішого пива. Вони, як правило, мають більший вміст алкоголю, ніж лагери. Дуже темний ель. Більш темний колір і особливий смак виходить завдяки підсмажуванню солоду перед варінням. Це зазвичай призводить до

					ДонНУЕТ.133.ГМБ-20.2024.ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		8

сильнішого смаку та більшого вмісту алкоголю. Дуже темний, майже чорний ель. Темний колір і смажений смак пов'язаний з підсмаженням ячменю або солоду.

1.2 Технологія виробництва пива

Виробництво пива – це складний технологічний процес, який поєднує фізичні, хімічні та біологічні (мікробіологічні та біохімічні) процеси. Правильний вибір параметрів на кожному етапі виробництва гарантує необхідну якість і можливість найбільш коректного управління процесом. Пивоваріння можна розділити на три основні технологічні етапи: отримання суслу; спиртове бродіння і дозрівання; стабілізація та переробка пива. Кожен з цих етапів містить низку технологічних операцій, часто з параметрами, що переплітаються, які в тій чи іншій мірі впливають на якість готового напою. Процес пивоваріння можна розділити на такі основні операції, а саме: помел, затирання, фільтрація суслу, кип'ятіння суслу, охолодження, обробка суслу, бродіння, дозрівання, фільтрація та пастеризація.

Деякі з цих етапів пивоваріння не є обов'язковими для виробництва пива. Однак, великі промислові пивоварні вважають за краще використовувати їх, прагнучи кращого сприйняття споживачами кінцевого продукту. Технологію виробництва пива представлено на рисунку 1.1.



Рисунок 1.1 – Технологія виробництва пива [3]

Етап помелу спрямований на рівномірне зменшення солодового зерна. Вихідна сировина (ячмінний солод) надходить у солодовий бункер і далі подрібнюється до необхідного гранулометричного складу у вальцьових чи роторних дробарках. Дрібно подрібнений солод дає кращу ефективність ніж

					ДонНУЕТ.133.ГМБ-20.2024.ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		9

солод грубого подрібнення. Зовнішнє лушпиння зерен ячменю є важливою частиною процесу фільтрації (відділення сусла) тому їх необхідно зберегти якомога неушкодженими. Дрібне подрібнення підвищує ефективність екстракту, але пошкоджене лушпиння гірше фільтрує сусло, що ускладнює фільтрацію. Неушкоджене ячмінне лушпиння полегшує фільтрацію, але крохмалистий ендосперм також залишається недоторканим, а це означає, що альфа- і бета-амілаза не можуть легко дістатися до крохмалю.

Затирання зерна для пива, як розчавлювання винограду для вина, як пресування яблук для сидру або збір меду для медовухи. Це фундаментальний процес, який робить можливим пиво, метод, за допомогою якого пивовари використовують природні ферменти в солодовому ячмені для перетворення крохмалю на ферментований цукор. Процес затирання полягає в змішуванні з водою подрібненого солоду для отримання якомога більшої кількості екстракту. Під час затирання солоду відбувається кілька процесів, але процесом номер один є перетворення крохмалю на цукор.

Сусло – це рідина, яку пивовар робить після процесу затирання, де зерна розщеплюються в гарячій воді, а крохмаль стає цукром. Процес затирання проводиться у двох заторних ємностях – заторному чані та заторному котлі. У заторному чані подрібнений солод змішується з водою і нагрівається до температури 45°C–50°C. Після витримування при цій температурі частина сировини відбирається з нижньої частини заторного чану у заторний котел в якому вона кип'ятиться (відварюється) при температурі близької до 100°C. Перемелене зерно змішують з водою різної температури та перемішують. Температура оптимізована для ферментування солоду. Відбувається розчинення зернових компонентів, розрив структура клітинної стінки зерна, екстракція і гідроліз крохмалю, цукрів, білків. Сусло (водний розчин) відокремлюють від сировини за температури 78°C [3]. Зернову сировину промивають гарячою водою, щоб витягти якомога більше екстракту. Сусло кип'ятять при температурі 100°C і додають хміль, що сприяє випаровуванню води. Затирання включає в себе отримання суміші подрібненого солоду разом з водою контрольованої температури за заздалегідь встановленою програмою. Ця операція спрямована на розчинення солодових речовин, які безпосередньо розчиняються у воді, що забезпечує коагуляцію білків, випаровування небажаних летких речовин, утворення смакових сполук і розвиток кольору. Залежно від кількості відборів розрізняють декілька способів проведення процесу затирання.

Однотемпературне інфузійне затирання. Більшість пивоварів застосовують однотемпературне затирання. У заторі з одним настоюванням додається певна кількість гарячої води до подрібненого солоду для досягнення певної температури затору. Брагу витримують при такій температурі близько години. Зміна температури браги змінює бродильність сусла. Низька температура браги ідеально підходить для багатьох бельгійських елів і освіжаючих літніх лагерів.

Багатоступінчаста температура затору. У заторі з багатоступінчастою температурою брага проходить через низку температур, які утримуються

						ДонНУЕТ.133.ГМБ-20.2024.ПЗ	Арк.
							10
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата			

протягом певного періоду часу. Типовий режим затирання може включати наступне:

- білок відпочиває при температурі 45–54°C
- бета-амілаза знаходиться при температурі 60–65°C
- альфа-амілаза відпочиває при температурі 71–74°C
- розтирання при 77°C.

Таку технологію застосовують коли солод не повністю модифікований. Домашні пивовари, які хочуть виконати ступінчасту температуру затору, зазвичай використовують заторний чан прямого випалу або подібну посудину для підвищення температури затору за допомогою різних етапів. При певному плануванні домашні пивовари, які готують брагу в ізольованому охолоджувачі, можуть зробити багатоступінчасту брагу, додавши настої окропу для досягнення означених кроків.

Затирання з поділом подрібненого солоду на складові полягає в тому, що складові частини помелу (лушпиння, велика крупка і борошно) переробляються окремо. Велика крупка затирається у заторному котлі в якому вона змішується з водою, що має температуру 48°C, нагрівається до температури оцукрювання, що дорівнює 70°C і протягом 20 хвилин оцукрюється. Після цього суміш нагрівають до кипіння. Одночасно в заторному казані в теплій воді затирають лушпиння. У цей же котел при безперервному перемішуванні перекачують прокип'ячену відварку великої крупки. Температуру суспензії піднімають до 70°C – 75°C [1, 2, 5]. При безперервному перемішуванні їх переводять із заторного чана в заторний котел і одночасно додають солодове борошно. Усі три частини дооцукровують, нагрівають до остаточної температури затирання і перекачують у фільтраційний чан. Перевагою цього способу є те, що велика крупка може піддаватися тривалому кип'ятінню, а оболонки, які не кип'ятяться, зберігаються для фільтрації.

На малих пивоварних заводах, зазвичай, затирається лише одне чи два варіння, на великих заводах до 12 варок на добу, що передбачає тривалість затирання трохи більше двох годин. При такому графіку приготування сусла на стадії затирання необхідно використовувати лише прискорений спосіб. Температура початку затирання дорівнює 62°C, а тривалість всього процесу займає до двох годин. Для успішного проведення прискореного затирання потрібно добре розчинений солод [5, 6]. Після закінчення затирання водний розчин екстрактивних речовин (пивне сусло) необхідно відокремити від часток солодового зерна (дробини), що не розчинилися. Надалі цільовим продуктом є саме розчин екстрактивних речовин – пивне сусло. Поділ затора на пивне сусло та дробину здійснюється за допомогою гідродинамічного процесу – процесу фільтрування. В якості фільтруючого матеріалу, зазвичай, використовується дробина. Зазвичай процес фільтрування затора проводиться у дві стадії, які полягають у зборі першого сусла та вилуговування дробини. Під першим суслем у технології виробництва пива розуміється, що пройшло через шар дробини, сусло. Під вилуговуванням дробини розуміється одержуваний з дробини екстракт при промивання її гарячою водою. Більше повне видалення з дробини цільових екстрактивних речовин дозволяє отримати більше готового продукту з одиниці сировини. Від ефективності проведення процесу

					ДонНУЕТ.133.ГМБ-20.2024.ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		11

фільтрування також залежить рентабельність пивоварного виробництва. Фільтрування затору виробляється у спеціальних апаратах.

Фільтрація сусла відбувається в ємності (фільтраційному чані). Сусло фільтрується за допомогою солодового лушпиння, що служить фільтруючим шаром, і в результаті виходить прозоре сусло, вільне від лушпиння, проростків та інших нерозчинних матеріалів. Фільтруючий шар додатково промивають водою з метою збільшення вилучення цукру і, отже, збільшення виходу процесу. Після закінчення процесу відібрана частина затора повертається з заторного котла, тим самим шляхом, у заторний чан. Потім затор надходить на фільтрувальну установку в якій поділяється на сусло та дробину [3, 14]. Дробина видаляється з подальшого технологічного процесу, а сусло подається до збірки сусла і далі до теплообмінника для підігріву сусла. Далі підігріте сусло надходить у котел для відварювання сусла, в якому воно змішується з попередньо подрібненим хмелем і проходить термічний процес (кип'ятіння). Внаслідок проведення цього процесу відбувається розчинення ізомеризованих сполук – кислот, що надають пиву гіркий смак, утворення та коагуляція білкових та дубильних речовин, руйнування всіх ферментів, що є в суслі, підвищення кольоровості сусла та інші фізико-хімічні зміни його складу, що визначають органолептичні властивості цільового продукту. Подача хмелю у суслівідварочний здійснюється з хмелевих бачків.

І хоча фільтрація сусла видаляє частину нерозчинених частинок зерна, основною причиною фільтра для сусла є видалення відпрацьованого хмелю. Хміль при перенесенні у процес бродіння може ускладнити бродіння. Навіть без охолоджувача відпрацьований хміль значно ускладнює процес очищення. Таким чином, фільтрація сусла перед бродінням може освітлити сусло і зробити процес бродіння більш простим.

Отримане після фільтрування сусло необхідно прокип'ятити протягом 1-2 годин. При цьому в сусло додають хміль, що містить гіркі та ароматичні речовини. У процесі кип'ятіння сусла вирішуються наступні завдання, а саме:

- розчинення цільових компонентів хмелю; підвищення кислотності та кольоровості сусла;
- утворення та коагуляція частинок білкових та дубильних речовин; стерилізація сусла;
- руйнування всіх ферментів, які раніше були присутні в суслі; утворення редуруючих цукрів.

Стадія кип'ятіння включає в себе кілька цілей, таких як: біохімічна стабілізація складу сусла, освітлення за допомогою коагуляції і осадження дубильних речовин і білків, стерилізація для усунення бактерій, екстракція гірких сполук-прекурсорів (α -кислот) з хмелю, ізомеризація α -кислот на гіркі молекули, що забезпечують гіркоту пива (ізо- α -кислоти), екстракція ароматичних сполук хмелю, що сприяють смаку та аромату пива, випаровування небажаних летких сполук [4].

Обробка сусла є наступним етапом кип'ятіння сусла, що дозволяє видалити осаджений хміль і білки, охолодити і аерувати. Після відділення осаду сусло охолоджується до температури бродіння, яка диктується штамом дріжджів, який буде використовуватися в бродінні. Після охолодження сусла в

					ДонНУЕТ.133.ГМБ-20.2024.ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		12

бродильну ємність впорскується кисень з метою отримання бажаної концентрації кисню для росту дріжджів під час бродіння.

Після закипання сусло потрібно швидко охолодити, щоб воно досягло температури придатної для бродіння. Охолодження сусла може проводитися в одну або дві стадії. У разі двостадійного охолодження в секції попереднього охолодження гаряче сусло охолоджується від температури 95°C – 98°C до температури 10°C – 15°C холодною технічною водою і потім надходить у секцію глибокого охолодження де охолоджується крижаною водою до температури 5°C – 7°C [1, 2, 3]. У разі одностадійного охолодження гарячого сусла пластинчастий апарат компонується у вигляді однієї секції та використовується крижана вода з температурою 1°C – 2°C. Принциповою відмінністю є те, що при одностадійному охолодженні витрата штучно охолодженої води більша, ніж у випадку двостадійного охолодження, а, отже, енергетичні витрати на отримання штучного холоду буде більшим.

Бродіння є процес за допомогою якого глюкоза перетворюється на етанол і вуглекислий газ. Протягом багатьох років єдиним відомим методом бродіння пива було повільне періодичне бродіння, яке проводилося в одній ферментаційній ємності [1, 2]. Цей метод мав недоліки в економічному та якісному аспектах. Повільний час бродіння означав, що потрібна велика кількість резервуарів для розміщення всіх партій бродіння пива (що призводить до високих витрат на посудини та пов'язаних з цим витрат на утримання цих посудин на необхідному рівні температури та тестування якості кожної партії). Крім того, не було гарантії, що пиво буде мати постійний смак.

Останнім часом використовується безперервна ферментація, яка включає переробку частини ферментованого пива, що повертається в сусло на початку процесу бродіння, результатом є безперервний потік пива з іншого закінченого процесу. Етап варіння сусла в безперервній системі може здійснюватися у відповідний час пивоваріння. Безперервне бродіння використовує систему холодного зберігання сусла. Уварене сусло охолоджують до 0°C (сусло не замерзає при цій температурі через високий вміст цукру) і зберігається в резервуарах для зберігання, а білковий матеріал (який інакше зробив би пиво каламутним або «туманним») випадає в осад. Сусло залишається в резервуарі для зберігання доки його не буде потрібно передавати на бродіння.

На етапі бродіння відбувається додавання дріжджів, які починають поглинати амінокислоти, мінеральні речовини та інші поживні речовини. Після цього дріжджі в результаті складних клітинних біохімічних шляхів ініціюють вироблення великої кількості різноманітних сполук, таких як етанол, CO₂, які виділяються в матрицю пива. Широкий спектр сполук, що утворюються дріжджами є важливими продуктами бродіння пива, які впливають на хімічний склад, колір і на сенсорні якості пива.

Під час бродіння споживаються цукри сусла, при цьому утворюються нові дріжджові клітини з утворенням етанолу та CO₂, а також смаковими сполуками. Тому необхідно контролювати різні елементи бродіння, щоб виробляти готове пиво за планом. Ключовими елементами є: температура, рівень кисню, швидкість реакції, вибір дріжджів. Всі ці параметри впливають

					ДонНУЕТ.133.ГМБ-20.2024.ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		13

на аромат і смакові сполуки, що утворюються під час бродіння. Розглянемо етапи бродіння [7].

1. Етапи бродіння пива – фаза затримки. Після того, як дріжджі були подрібнені, вони переходять у фазу, яку називають фазою затримки. Незважаючи на очевидну відсутність будь-якого помітного бродіння процес відбувається. Дріжджі поглинають кисень суслу, що має вирішальне значення для розмноження та здорового росту дріжджів. Дріжджі – живий організм, тому вони потребують кисню. Ось чому аерація суслу важлива в комерційному пивоварінні. Дріжджам потрібен кисень, щоб рости, а також виробляти життєво важливі складові клітинної стінки. Крім того, що дріжджі поглинають кисень, вони поглинають необхідні вітаміни та мінерали для росту.

2. Етапи бродіння пива – активна фаза. Залежно від типу пива процес бродіння можна побачити візуально активним через 24–48 годин після початку процесу. Дріжджі виходять із фази із запізненням (фаза затримки може становити всього 30 хвилин). Кількість дріжджових клітин швидко збільшується під час активної фази. Дріжджі починають споживати цукор та утворюється CO₂ і видно шар піни, який відображає ріст дріжджів. У міру збільшення кількості клітин виробляється етанол і смакові сполуки. Якщо використовувати нейтральні дріжджі то вони можуть трохи пахнути оливковою олією.

3. Етапи бродіння пива – стаціонарна фаза. Коли пиво переходить у стаціонарну фазу, ріст дріжджів сповільнюється. Більшість смакових і ароматичних сполук вже вироблені. До них відносяться сивушний спирт, складні ефіри і сполуки сірки. На початку стаціонарної фази пиво все ще вважається «зеленим», оскільки смаки ще не збалансувалися. Під час стаціонарної фази відбувається кондиціонування пива.

Під час бродіння можуть утворюватися небажані сполуки, які негативно впливають на смакові якості пива. З цієї причини проводиться дозрівання (іноді його називають етапом кондиціонування), коли пиво поміщається в резервуари і охолоджується до температур від 0 до 10°C. Дозволяючи дріжджам повільно метаболізувати небажані смакові сполуки, які далі видаляються. Крім того, дозрівання також дозволяє твердим матеріалам (нерозчинним при більш низьких температурах) осідати і випадати в осад в результаті чого виходить прозоре пиво [1, 2]. Дозрівання сприяє покращенню смаку та колоїдної стабільності пива, а також забезпечує важливі органолептичні характеристики кінцевого продукту.

Якщо передбачається додаткове освітлення пива, яке зазвичай відбувається у процесі промислового виробництва, то виконується етап фільтрації. Основною метою пивної фільтрації є збільшення утримання дріжджових клітин. В даний час використовуються три різних підходи до освітлення пива: тупикова фільтрація, фільтрація з перехресним потоком і динамічна мікрофільтрація. Вони дозволяють розливати пиво в пляшки після цього.

Пастеризація пива – це м'який термічний процес, який можна виконувати при температурі близько 60°C протягом кількох хвилин (зазвичай від 15 до 20 хвилин) або при температурі від 70 до 90°C протягом кількох секунд відповідно

					ДонНУЕТ.133.ГМБ-20.2024.ПЗ	Арк.
						14
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

до принципу високотемпературного короткого часу. Пастеризація спрямована на інактивацію бродильних дріжджів і потенційних мікроорганізмів, які в іншому випадку сприяли б небажаним хімічним реакціям. Пастеризація пива має перевагу в тому, що подовжує термін придатності пива, але вона також може негативно впливати на його органолептичні властивості (тобто колір, смак і аромат).

1.3 Обладнання для виготовлення пива

Останніми роками нетермічні технології набули популярності у зв'язку з мінімальною обробкою та високою поживною якістю. На застосуванні імпульсів електричного поля високої інтенсивності заснована нетермічна технологія. Вона одночасно сприяє мікробній інактивації, одночасно значно зменшуючи несприятливі зміни сенсорних, фізичних та поживних властивостей (наприклад, кольору, смаку, текстури та харчової цінності). Принципова схема установки безперервного режиму роботи, яка заснована на застосуванні імпульсів електричного поля високої інтенсивності для пастеризації з системою охолодження представлено на рисунку 1.2.

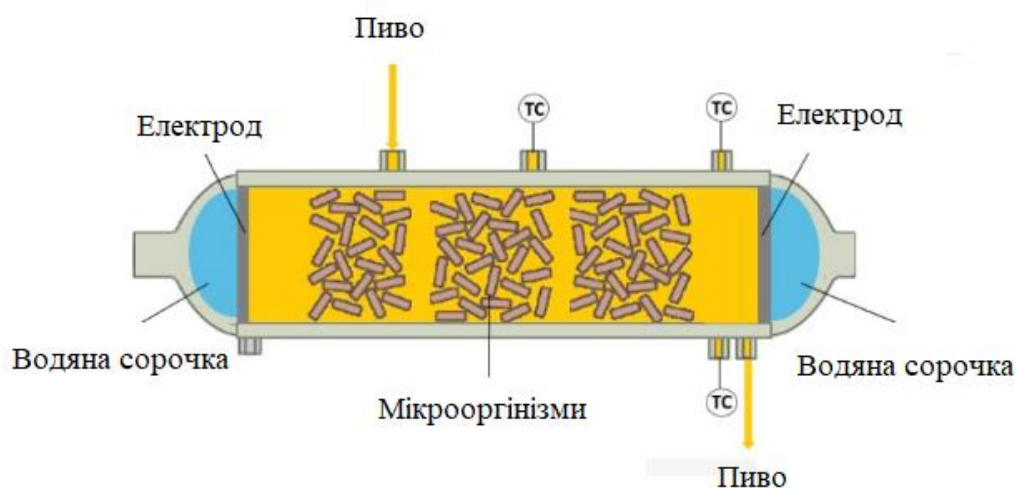


Рисунок 1.2 – Застосування імпульсів електричного поля високої інтенсивності

Технологія полягає в застосуванні коротких імпульсів електричного поля високої інтенсивності (тобто порядку 10 – 80 кВ/см), що подаються в напій (провідний харчовий продукт), поміщений між набором електродів [1, 2]. Їжа пропускає електричний струм, оскільки містить кілька іонів і заряджених молекул. Електричний струм протікає через їжу і передається в кожену точку її матриці, що призводить до нетермічної мікробної інактивації за допомогою електропорації. Технологія має великий потенціал для використання з метою пастеризації в безперервному режимі роботи. Технологія вважається перспективною на різних етапах процесу пивоваріння. Вона має великий потенціал для покращення смаку, гіркоти, каламутності та мікробіологічної

стабільності пива, одночасно скорочуючи час обробки та витрати на виробництво.

Новою нетермічною технологією виробництва пива є ультразвукова технологія. Вона може використовувати відновлювану енергію, виробляти менше відходів та зменшувати використання води та розчинників. Під час цієї операції енергія передається заданій рідині шляхом поширення ультразвукових хвиль у діапазоні частот від 20 до 100 кГц протягом короткого періоду, який може тривати до кількох хвилин. В цих хвилях чергуються зони стиснення і розрідження, що призводить до утворення і колапсу дрібних кавітаційних бульбашок [1, 2, 5]. Кавітуючі бульбашки створюють мікропотоки та високі гідродинамічні напруги зсуву, які пошкоджують клітинні мембрани і, отже, інактивують бактерії, цвіль та дріжджі, тим самим сприяючи передбачуваній безпеці харчових продуктів. На рисунку 1.3 представлено схематичне зображення ультразвукового агрегату безперервної потужності та системи охолодження.

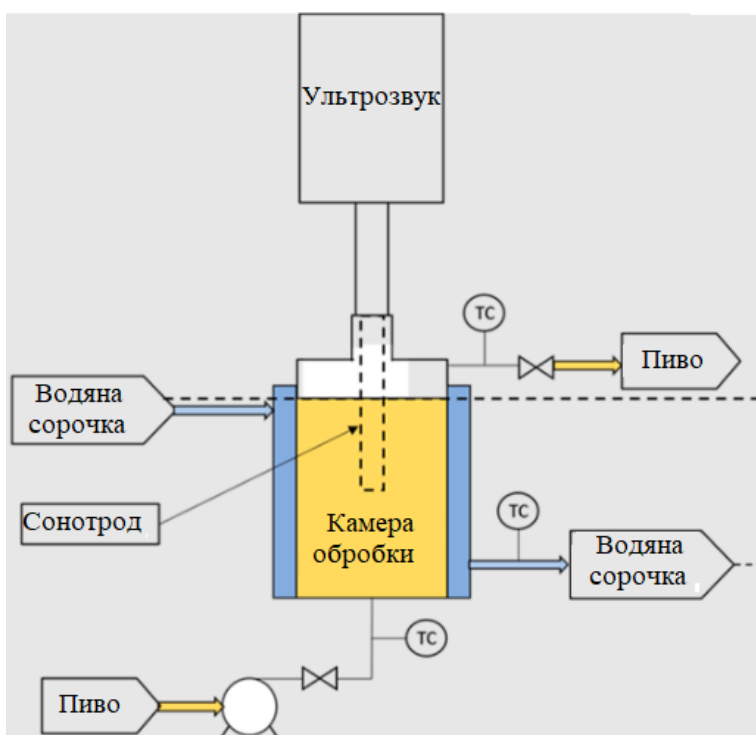


Рисунок 1.3 – Застосування ультразвуку у виробництві пива

Технологія заснована на використанні ультразвуку, який сприяє збільшенню вихідного продукту, скорочення термінів обробки, зниження витрат на експлуатацію та технічне обслуговування, поліпшення смаку, аромату і кольору, знищення патогенних мікроорганізмів при більш низьких температурах. Крім того, ультразвукова технологія прискорює транспортування відходів від клітин, а також кисню та поживних речовин, необхідних для росту клітин, що, відповідно, забезпечує швидший ріст мікроорганізмів та більш ефективне бродіння пива.

Омічний нагрів є ще одним прикладом нової технології безперервної термічної обробки харчових продуктів, який в даний час привертає все більше уваги. Технологію часто називають «нагріванням Джоуля», оскільки Джеймс Прескотт Джоуль у 1841 році виявив, що тепло, що виділяється за рахунок потоку електричного струму, прямо пропорційне опору дроту, помноженому на один квадрат електричного струму [1, 2, 6]. В даний час ця технологія відома як «омічний» нагрів, оскільки вона залежить від електричного опору напівпровідникового матеріалу. Однак, розсіювання тепла завжди є супутнім ефектом застосування електричного поля. У зв'язку з цим дану технологію також можна назвати помірним електричним полем. На рисунку 1.4 представлено схематичне зображення технології безперервної термічної обробки харчових продуктів (омічний нагрів).

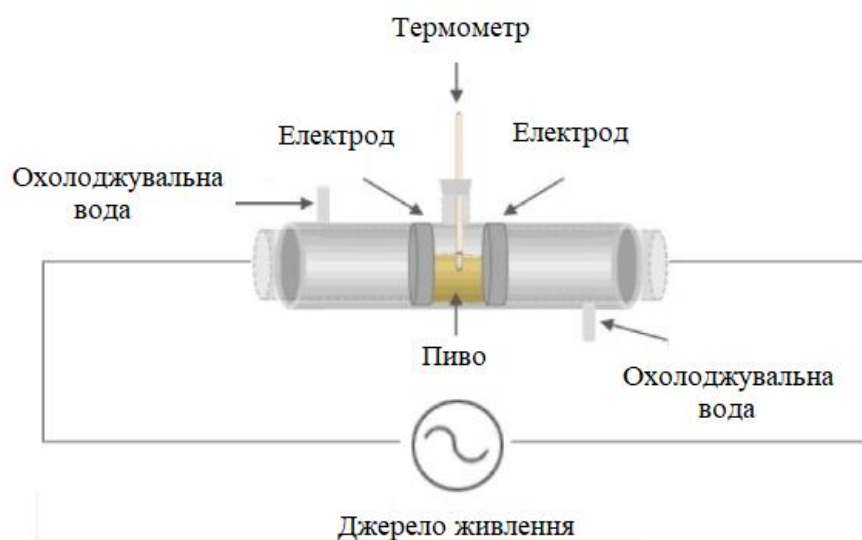


Рисунок 1.4 – Омичний нагрів у виробництві пива

Принцип роботи омичного нагріву полягає у виробленні тепла шляхом проходження змінного електричного струму через електрично резистивний матеріал, наприклад, систему харчування з рідкими частинками. На обох кінцях корпусу виробу на електроди подається напруга. Регулювання відстані між електродами або прикладеної напруги змінить напруженість прикладеного електричного поля. Однак, електропровідність сировини та його чутливість до температури є найважливішими факторами. Електропровідність суслу і пива буде різною. Вона дуже залежить від мінерального складу води, а також від загальної концентрації розчиненої речовини.

Дана технологія сприяє швидкому та рівномірному нагріванню продукту, має значні переваги перед традиційними методами обробки напоїв. До переваг омичного нагріву можна віднести швидкий рівномірний нагрів, а також можливість забезпечення одночасного нагріву твердої і рідкої фаз. Ця технологія може нагрівати продукти з більшою в'язкістю, комбінації рідинчастинки та харчові частинки, і з нею легко працювати завдяки системі миттєвого включення та вимкнення (після вимкнення системи немає залишкового тепла). Омичний нагрів має високу енергоефективність, оскільки

					ДонНУЕТ.133.ГМБ-20.2024.ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		17

близько 95% електричної енергії, що використовується в цьому процесі, перетворюється в тепло [1, 2, 6]. Враховуючи, що ОН допускає прямий спосіб нагріву – тепло розсіюється всередині зразка – немає необхідності виробляти тепло (немає необхідності в котлах) і передавати його, тим самим зменшуючи споживання води та втрати тепла.

Ще одним методом нетермічної технології є метод, який полягає у застосуванні високого тиску. На відміну від термічної обробки, обробка під тиском не погіршує якість їжі. Тиск миттєво і рівномірно розподіляється по всій сировині, що сприяє отриманню продукції без надмірно оброблених ділянок. Незалежно від розміру або форми продукту тиск миттєво і рівномірно передається по всьому зразку. Термічна пастеризація все ще поширена як завершальний етап комерційного виробництва пива. Однак, високий тиск досліджується, як потенційна альтернатива тепловому підходу, протягом десятиліть [1, 2, 5]. Наприклад, після нагрівання протягом 10 хв при 60°C зразки піддавали впливу 600 МПа протягом 5 хв. Результати показали, що застосування даної технології не змінює колір або основні хімічні компоненти пива. Крім того в оброблених зразках пива не було виявлено молочнокислих бактерій, а загальна кількість дріжджів і цвілі зменшилася. Технологію обробки сировини під тиском представлено на рисунку 1.5.

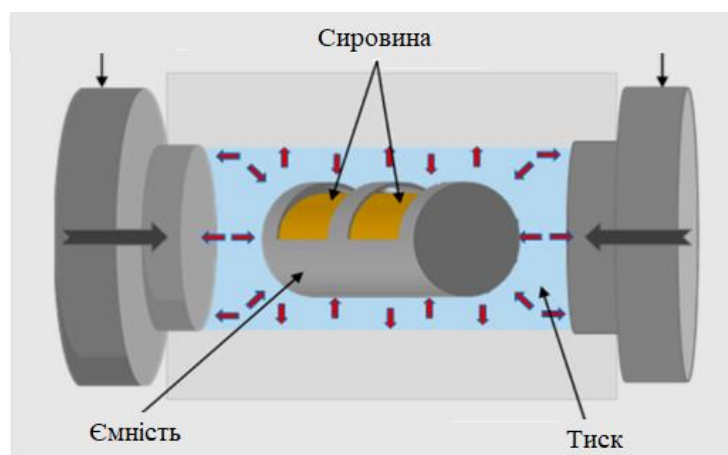


Рисунок 1.5 – Технологія обробку сировини під тиском

На основі вище зазначеного можна вважати, що пиво – це газований, ферментований алкогольний напій, який був одним із перших напоїв виготовлених людиною. Напій є п'ятим за споживанням в даний час і є найбільш вживаним алкогольним напоєм у світі. Пиво традиційно виготовляється із використанням чотирьох основних інгредієнтів: води, солоду, хмелю та дріжджів. Різні види пива виникають в результаті поєднання різних інгредієнтів і технологій пивоваріння у виробництві пива.

Пивоваріння – це масштабний комплексний процес, який перетворює воду, зерна та хміль у пиво і досягається це здебільшого за допомогою дріжджів. В основному велика різноманітність пива пояснюється різними умовами (температура, вид зерна тощо) та типами дріжджів, що застосовуються при виготовленні пива. Виробництво пива – це складний технологічний процес,

					ДонНУЕТ.133.ГМБ-20.2024.ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		18

який поєднує фізичні, хімічні та біологічні (мікробіологічні та біохімічні) процеси. Правильний вибір параметрів на кожному етапі виробництва гарантує необхідну якість і можливість найбільш оптимального управління процесом. Пивоваріння можна розділити на три основні технологічні етапи: отримання сусла, спиртове бродіння і дозрівання, стабілізація та переробка пива. Кожен з цих етапів містить низку технологічних операцій, часто з параметрами, що перетинаються, які в тій чи іншій мірі впливають на якість готового напою.

Сконцентровано увагу, що процес пивоваріння можна розділити на такі основні операції, а саме: помел, затирання, фільтрація сусла, кип'ятіння сусла, охолодження, обробка сусла, бродіння, дозрівання, фільтрація та пастеризація. Деякі з цих етапів пивоваріння не є обов'язковими для виробництва пива. Однак, великі промислові пивоварні вважають за краще використовувати їх, прагнучи кращого сприйняття споживачами кінцевого продукту. Пивоваріння можна розділити на три основні технологічні етапи: отримання сусла, спиртове бродіння і дозрівання, стабілізація та переробка пива. Кожен з цих етапів містить низку технологічних операцій, часто з параметрами, що перетинаються, які в тій чи іншій мірі впливають на якість готового напою.

Затирання зерна для пива, як розчавлювання винограду для вина, як пресування яблук для сидру або збір меду для медовухи. Це фундаментальний процес, який робить можливим пиво, метод, за допомогою якого пивовари використовують природні ферменти в солодовому ячмені для перетворення крохмалю на ферментований цукор. Процес затирання полягає в змішуванні з водою подрібненого солоду з метою отримання якомога більшої кількості екстракту. Під час затирання солоду відбувається кілька процесів, але процесом номер один є перетворення крохмалю на цукор. Сусло – це рідина, яку пивовар робить після процесу затирання, де зерна розщеплюються в гарячій воді, а крохмаль стає цукром.

Розглянуто нетермічні технології обробки пива та вплив даних технологій на якість сировини. Застосування імпульсів електричного поля високої інтенсивності одночасно сприяє мікробній інактивації, одночасно значно зменшуючи несприятливі зміни сенсорних, фізичних та поживних властивостей. Новою нетермічною технологією виробництва пива є ультразвукова технологія. Вона може використовувати відновлювану енергію, виробляти менше відходів та зменшувати використання води та розчинників. Омичний нагрів є ще одним прикладом нової технології безперервної термічної обробки харчових продуктів, яку часто називають «нагріванням Джоуля». Омичний нагрів допускає прямий спосіб нагріву – тепло розсіюється всередині зразка і передає його, тим самим зменшуючи споживання води та втрати тепла. Ще одним методом нетермічної технології є метод, який полягає у застосуванні високого тиску. Тиск миттєво і рівномірно розподіляється по всій сировині, що сприяє отриманню продукції без надмірно оброблених ділянок. Незалежно від розміру або форми продукту тиск миттєво і рівномірно передається по всьому зразку.

					ДонНУЕТ.133.ГМБ-20.2024.ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		19

РОЗДІЛ 2 ТЕХНІЧНЕ ОСНАЩЕННЯ ЦЕХУ МАЛИХ ПИВОВАРНИХ ПІДПРИЄМСТВ

2.1 Оптимізація процесів виготовлення пива

Виробництво пива – це складний процес в якому основними інгредієнтами є вода, солод (джерело цукру), дріжджі та хміль. Однак можна додавати і інші компоненти, такі як фрукти, шоколад і зерна кави [6]. Правильний вибір параметрів на кожному етапі виробництва гарантує необхідну якість і можливість найбільш коректного управління процесом. Пивоваріння можна розділити на три основні технологічні етапи: отримання сусла, спиртове бродіння і дозрівання, стабілізація та переробка пива. Кожен з цих етапів містить низку технологічних операцій, які в тій чи іншій мірі впливають на якість готового напою. Процес пивоваріння можна розділити на такі основні операції а саме: помел, затирання, фільтрація сусла, кип'ятіння сусла, охолодження, обробка сусла, бродіння, дозрівання, фільтрація та пастеризація.

1. Оптимізація процесів помелу солоду. При помелі солоду компоненти ендосперму звільняються від лушпиння, задля виникненням сприятливих умов для процесів затирання та отримання максимальної кількості екстракту. Вибір способу помелу солоду залежить від способу відфільтровування браги. При використанні класичного фільтраційного чана використовуються вальцьові млини в яких одна з цілей помелу полягає в збереженні цілісності лушпиння. При застосуванні заторних фільтрів використовують молоткові млини, які дозволяють тонко подрібнювати сировину. Збереження цілісності лушпиння призвело до розробки чотирьох груп методів помелу: сухий, мокрий, сухий помел з кондиціонуванням і мокрий помел з кондиціонуванням [8]. Тонкий помел зернової сировини необхідний для швидкого і повного вилучення екстрактивних речовин. Тонкий помел не завжди доцільний, враховуючи, що зерна солоду не однорідні, а складаються з різних частин, які по-різному впливають на склад сусла та властивості. На практиці використовується так званий «оптимальний ступінь помелу», який дає співвідношення між окремими фракціями солодового борошна. Іншою важливою умовою процесу помелу є врахування фізико-хімічного складу сировини.

2. Оптимізація процесу затирання. Процес затирання полягає в змішуванні з водою подрібненого солоду з метою отримання якомога більшої кількості екстракту. Змішування солодового борошна з водою і подальше оцукрювання солоду є основною стадією, яка впливає на якісний і кількісний склад сусла. В результаті цих двох стадій, які скорочено називають затиранням

					ДонНУЕТ.133.ГМБ-20.2024.ПЗ		
<i>Зм.</i>	<i>Арк.</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>			
<i>Розроб.</i>	<i>Каюн</i>				<i>Літ.</i>	<i>Арк.</i>	<i>Аркушів</i>
<i>Перевір.</i>	<i>Цвіркун</i>					20	12
<i>Н. Контр.</i>	<i>Омельченко</i>				ДонНУЕТ Кафедра ЗІДО		
<i>Затверд.</i>	<i>Цвіркун</i>						

розчинних речовин, які присутні в солоді, переходять у сусло, а наявні високомолекулярні речовини розчиняються в суслі переважно через ферментативні реакції. В основному, чим вище турбулентність тим краще відбувається процес затирання.

Оптимізувати процес можна за рахунок збільшення турбулентності, а саме завдяки правильному перемішуванню під час затирання, включаючи відповідну форму мішалки (пропелерний змішувач) та спеціальну поверхню затору/чайника. На рисунку 2.1 представлено процес затирання. В таблиці 2.1 наведено основні показники процесу.

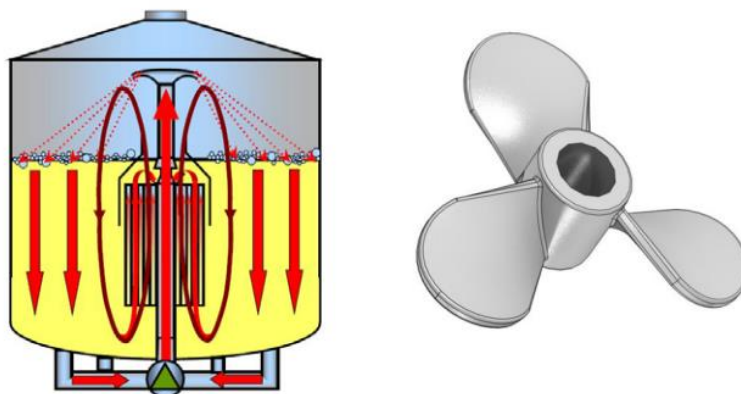


Рисунок 2.1 – Збільшення турбулентності під час затирання (пропелерний змішувач)

Методи затирання поділяються на три групи: інфузійні, відварні та комбіновані. Зазвичай вибір режиму затирання проводиться в залежності від показників якості сировини, типу виробленого пива та технологічного обладнання, що застосовується. В останні роки завдяки поліпшенню якості виробляємої сировини та використанню ферментних препаратів інфузійний метод є дуже популярним в технології виробництва пива [4, 8]. Це пов'язано з тим, що вся брага оцукрюється одночасно при температурі 60–72°C, а при відварюванні окремі частини браги (1/3–1/2) оцукрюють, потім кип'ятять і додають до основної кількості (1/2–2/3).

Таблиця 2.1 – Основні показники процесу затирання

Процес	Обладнання
Затирання	
Об'єм браги, V	5800 л
Щільність браги, ρ_m	1,06 кг/л
Теплоємність затору c_p	$3.6 \frac{kJ}{kg \cdot K}$
Температура затирання T_{zm}	333 К

Температура затору для
транспортування T_3

351 К

Розрахуємо кількість тепла, яке необхідне для здійснення процесу затирання [6]

$$Q = m \cdot h$$

$$Q = m \cdot c_p \cdot \Delta T$$

$$Q = \rho_M \cdot V \cdot c_p \cdot (T_3 - T_{3m})$$

$$Q = \rho_M \cdot V \cdot c_p \cdot (T_3 - T_{3m}) \cdot f$$

$$Q = \rho_M \cdot V \cdot c_p \cdot (T_3 - T_{3m}) \cdot f =$$

$$= 1.06 \cdot 5,800 \cdot 3.6 \cdot (351 - 333) \cdot 1.05 =$$

$$418,310 \text{ кДж} = 116.2 \text{ кВт}$$

3. Оптимізація процесу фільтрації сусла. Розділення затору на дві основні фази досягається шляхом фільтрації пивоварного відпрацьованого зерна. Затор характеризується високою концентрацією твердої фази, який при утриманні на бар'єрі розшаровується залежно від відносної щільності частинки. Таким чином, утворюється проникний додатковий фільтраційний шар, через який сусло, а потім воду для барботування фільтрують [5, 6, 8]. Фільтрація визначається кількістю і розміром капілярів. За інших рівних умов, капіляри довші з товстим шаром фільтрації, що призводить до погіршення стану швидкості фільтрації. Одночасно відбувається дифузія екстрактивних речовин із частинок браги, що стікає. Ефективне вилучення і високий вихід екстрактивних речовин досягається шляхом використання дрібних частинок, у яких шлях, який проходять речовини, мінімізований.

Швидкість проходження частинок також забезпечує високе співвідношення поверхня/діаметр, що прискорює дифузію. Цей процес також прискорюється підвищенням температури, але за рахунок потреби у в'язкості браги, температура не повинна перевищувати 78°C. Наявність зв'язку між гідродинамічним процесом очищення та дифузією екстрактивних речовин передбачає компроміс ступеню подрібнення та питомим навантаженням на поверхню фільтрації. Висока температура суспензії зменшує кількість рідини в'язкої фази і, отже, збільшує швидкість фільтрації. Проте надмірна температура підйому не йде на користь процесу. Причиною цього є оцукрювання в нерозчиненому крохмалі і збільшення в'язкості рідини.

Отже, оптимізація пов'язана, в першу чергу, зі зміною способу і режиму фрезерування. Грубий помел забезпечує пухкий і високопроникний шар, але отримане сусло каламутне і часто з незавершеними ферментативними процесами у фазі затирання. Сприятливий тонкий помел для вилучення


					ДонНУЕТ.133.ГМБ-20.2024.ПЗ	Арк.
						22
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

екстракту, але ускладнює фільтрацію через утворення щільного русла з дрібними капілярами, які швидко забиваються дрібними частинками.

4. Оптимізація процесу кип'ятіння сусла. З технічної точки зору найважливішим елементом даного процесу є енергія споживання. Енергія, яка використовується у вигляді водяної пари для концентрації сусла повинна мінімізуватися шляхом прийняття ряду технічних рішень. Процес варіння сусла є надзвичайно енергоємний. Прийняті технічні рішення повинні не впливати на якість сусла, отриманого в кінці кип'ятіння. Відомо, що кількість хімічних реакцій, що відбуваються в суслі, збільшується з підвищенням температури кипіння. Виявлено, що варіння при низькому тиску і температурі близько 104–110°C не значно скорочує час на переробку сусла. Режими кипіння в інтервалі температур 118–140°C значно скорочують час кипіння, але це в основному пов'язано зі збільшенням енерговитрат на варіння сусла [2, 7, 8]. Оптимізація процесу кип'ятіння пов'язана з вибором режиму кип'ятіння, щоб максимально забезпечити мету процесу. Оскільки процес залежить від температури, можна очікувати, що зміни пов'язані з температурою кипіння найбільше впливатимуть на якість кипіння.

Підвищення температури кипіння, відповідно тиску сусла, призводить до прискорення процесів суслоутворення, утворення кольорових сполук, прискорення процесу випаровування тощо. Це свідчить про те, що кипіння при високій температурі можуть зменшити витрати на електроенергію. З іншого боку, прискорене кип'ятіння сусла порушує піноутворення готового пива. Підвищення температури кипіння на кожні 4°C зменшує час кипіння вдвічі. Однак, різні процеси, які відбуваються в суслі, характеризуються різними температурними коефіцієнтами i , отже, швидкостями при якому вони відбуваються істотно відрізняються. Проте кип'ятіння при атмосферному тиску дає задовільні результати щодо якості сусла.

Таблиця 2.2 – Основні показники процесу кип'ятіння

Процес	Обладнання
Кип'ятіння сусла	
Щільність води, ρ_v	965 кг/м ³
Щільність сусла, ρ_c	1,030 кг/м ³
Питома теплоємність, c_p	4,1 кДж/кг К
Різниця температур ΔT між входом і виходом з котла	5 К
Ентальпія випаровування, r	2250 кДж/к
Технологія забезпечує швидкість випаровування E	6%/год

Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата

Розрахуємо як часто сусло повинно циркулювати, щоб досягти бажаного випаровування [4]

$$n = \frac{E \cdot \rho_{\text{води}} \cdot r}{\rho_{\text{сусла}} \cdot c_p \cdot \Delta T} = \frac{0,06 \cdot 965 \cdot 2,250}{1,030 \cdot 4,1 \cdot 5} = 6,2$$

Потрібно 6 циклів на годину.

5. Оптимізація процесу бродіння. Центральне місце у створенні пива займає процес бродіння, який можна вважати серцевиною всього виробництва, оскільки умови бродіння помітно впливають на аромат і смак пива. Процес бродіння пива – це періодичний процес, у якому дріжджі використовуються для виробництва етанолу з ячмінного солоду (процес зазвичай займає 7 днів). Етап бродіння має вирішальне значення для отримання пива високої якості, оскільки саме у процесі бродіння, крім етанолу, виробляються всі поживні, смакові та запахові компоненти. На цьому етапі в сусло (речовина багата цукрами) вводять дріжджі зі стадії кипіння при потрібній температурі. Основною хімічною реакцією є перетворення цих цукрів на етанол і вуглекислий газ, а також зростання біомаси та виділення тепла [7]. При цьому відбувається кілька вторинних реакцій, що утворюють кілька компонентів у більш низьких концентраціях, які сприяють розвитку смакових і ароматичних характеристик.

Сусло, отримане на попередніх технологічних етапах, охолоджують до температури бродіння і використовують для виробництва пива. Смако-ароматичні властивості напою утворюється у процесі основного бродіння і дозрівання. Процес бродіння є біохімічним і виконується різними видами дріжджів, які перетворюють сусло в готове пиво з певним якісним і кількісним складом. Формування якісного продукту в органолептичному відношенні вимагає знання процесу бродіння, який є вирішальним для якості кінцевого продукту.

Оптимізація процесу бродіння полягає в контролюванні основних елементів процесу бродіння, а саме температура, рівень кисню, швидкість реакції, вибір дріжджів. Всі ці параметри впливають на аромат і смакові сполуки, що утворюються під час бродіння. Серед цих факторів найважливішою є температура, оскільки вона допомагає прискорити бродіння, але повинна залишатися контрольованою, щоб уникнути загибелі дріжджів (вище 30°C), утворення небажаних побічних продуктів і росту бактерій, що може пошкодити кінцевий продукт. Тому необхідно здійснювати суворий контроль температури всередині ферментера, щоб забезпечити якість продукції та зменшити коливання між партіями.

Прогресування ферментації залежить від швидкості висіву дріжджів, вмісту розчиненого кисню, тиску і температури партії. Температура системи сильно впливає на ріст дріжджів і швидкість метаболізму (поки дріжджові клітини зберігаються при температурі нижче 30°C і не пошкоджені, більш висока температура прискорює бродіння). Поза межами цієї критичної температури, етанол і летючий присмак, складні показники втрат є надто серйозними в поєднанні з підвищеним виробленням небажаних речовин і

					ДонНУЕТ.133.ГМБ-20.2024.ПЗ	Арк.
						24
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

зростання бактерій. Пивовари контролюють температуру ферментера у вузькому діапазоні під час партійного прогресування, щоб прискорити бродіння яке гарантує, що дріжджі не деактивуються через денатурацію і не утворюються небажані ароматичні сполуки.

Для виробництва пива на практиці використовують два основних вида дріжджів: верхового бродіння або ельні дріжджі та дріжджі низового або лагерного бродіння. Перша група відноситься до видів *Saccharomyces cerevisiae*, друга, за останньою класифікацією, відноситься до виду *Saccharomyces pastorianus* [4, 8]. Основна відмінність між двома видами це температура бродіння. Процес верхового бродіння здійснюють при температурі 15–25°C, тоді як штами низового бродіння характеризуються температурою в діапазоні між 8°C і 15°C.

Після введення цукру, який може бродити, пиво вимагає подальшої обробки перед розливом і споживанням: свіже зелене пиво має бути дозрілим, газованим і готовим. Тривалість бродіння залежить від продукту та бажаного смаку. Таким чином, лагери бродять при температурі близько 10°C, що потребує часу бродіння приблизно один тиждень (160 годин). Елі ферментуються при більш високих температурах (~22 °C) і потребують менший час, від 3 до 4 днів. Різноманітність пивоварних заводів і операцій у всьому світі викликало величезну різноманітність типів ферментерів. Багато ферментерів являють собою циліндроконічні посудини з нержавіючої сталі. Вони сприяють циркуляції та змішуванню через CO₂ бульбашки, оскільки вміст не перемішується механічно: рівномірної температури посудини легше і швидше досягти [5, 8, 10]. Ферментатори, зазвичай, містять сорочку охолодження, контроль температури сусла, щоб відповідати встановленому профілю. Більші резервуари можуть включати окремі механізми охолодження конічної та циліндричної частин, враховуючи контроль схеми циркуляції (рис. 2.2).

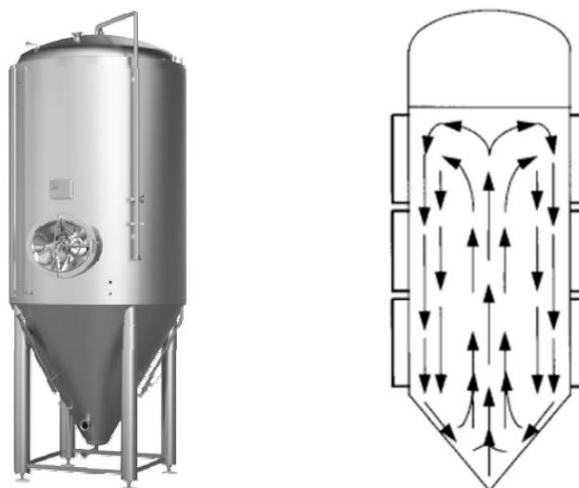


Рисунок 2.2 – Промислова ємність для бродіння

Основні процеси в циркуляційних ферментаційних резервуарах:
– пиво має найвищу щільність, приблизно при 3°C;

					ДонНУЕТ.133.ГМБ-20.2024.ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		25

– завдяки різним рівням щільності існує природна конвекція (циркуляція) в ємності для бродіння.

Розглянемо, що відбувається під час первинної ферментації бродіння ($>3^{\circ}\text{C}$) і дозрівання ($<3^{\circ}\text{C}$) у резервуарі (рис. 2.3).

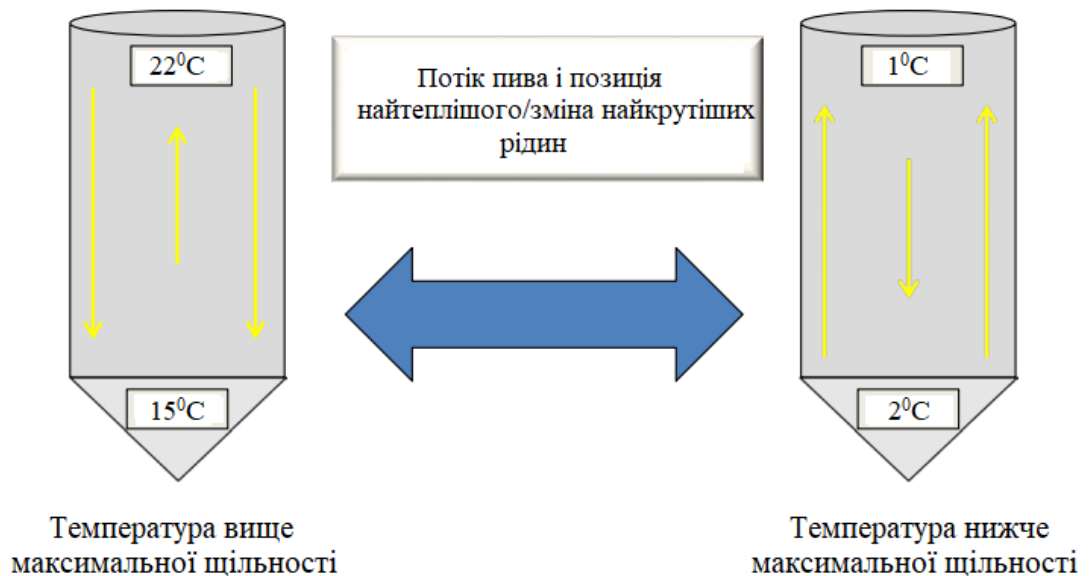
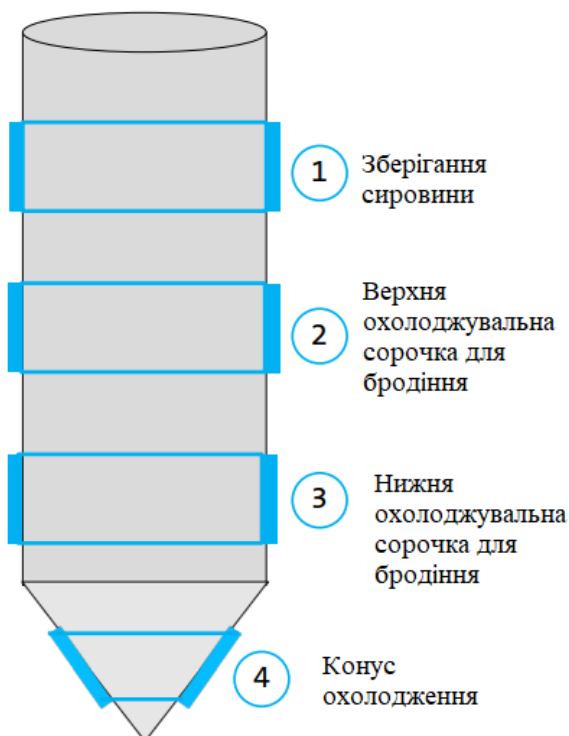


Рисунок 2.3 – Процес первинної ферментації ($>3^{\circ}\text{C}$) і дозрівання ($<3^{\circ}\text{C}$) у резервуарі

– під час первинного бродіння найхолодніша рідина знаходиться на дні резервуара;



– під час дозрівання найтепліше пиво знаходиться на дні резервуара;

– під час первинного бродіння верхня частина охолоджуємої сорочки має бути ввімкнена (зона 2).

– коли зелене пиво охолоджується до температури дозрівання то всі сорочки охолодження повинні бути активовано (1+2+3+4)

– після досягнення температури дозрівання охолодження конуса достатньо (4).

2.2 Обґрунтування обладнання для міні пивоварні

Процес виробництва пива можна розділити на два етапи. Перша фаза, пивоваріння, виконується всередині варильного цеху, де для отримання суслу використовується суміш солоду, води та хмелю. Друга фаза, бродіння і дозрівання, здійснюється в спеціально призначених для цього ємностях (ферментаторах і ємностях для дозрівання). Ці резервуари використовуються для перетворення суслу в молоде пиво, яке потім проходить процес дозрівання з метою отримання кінцевого продукту – пива.

Усередині варильного цеху подрібнений солод (круп) змішують з гарячою водою, розтирають і фільтрують, а потім отримане сусло кип'ятять. Під час кип'ятіння пивовари додають хміль та інші «прянощі». Далі осад необхідно видалити, а потім сусло охолодити і перекачати в ферментери. Це дуже короткий і спрощений опис того, що відбувається всередині пивоварні. Весь процес набагато складніший, що вимагає знання про хімічні та фізичні процеси, які відбуваються всередині пивоварні.

Функції, які повинен забезпечувати пивоварний цех:

- регулювання температури;
- точне вимірювання температури та тривалість кожної фази процесу пивоваріння, що має вирішальне значення для якості кінцевого продукту;
- варильний цех повинен мати відповідну кількість поверхонь нагріву (подушкова плита), які дозволяють швидко досягти і підтримувати потрібну температуру продукту;
- точна та ефективна система контролю температури надзвичайно важлива в харчовій промисловості. Температура впливає практично на всі біологічні, фізичні та хімічні процеси, що відбуваються під час обробки харчових продуктів і впливає на кінцеві властивості продукту [11]. Система контролю температури відводить користувачеві активну роль і дозволяє регулювати процеси, що відбуваються всередині резервуара, і направляти їх в потрібному напрямку. Вибір відповідного методу охолодження та обігріву також сприяє енергоефективній та економічній роботі пристрою;
- змішування браги – брагу необхідно безперервно перемішувати під час нагрівання. Тому змішувач затору/фільтратор повинен бути оснащений мішалкою. Безперервне перемішування запобігає перегріву продукту на дні ємності і покращує однорідність затору, а значить, температура браги більш однорідна, а сама брага більш рівномірно зволожена. Таке середовище створює ідеальні умови для того, щоб обрана група ферментів почала розщеплювати компоненти в солоді до того, як температура браги підвищиться до такої міри, що вони стануть неактивними, а інші типи ферментів продовжать цей процес;
- температура браги не повинна перевищувати 78°C, бо крохмаль, який виділяється при більш високих температурах, більше не може розщеплюватися і може розвинути неприємний присмак в кінцевому продукті;
- регулювання потоку продукту між ємностями і технологічними пристроями;
- грамотно спроектована система з'єднань труб, регулюючих клапанів і насосів полегшує роботу пивовара. Ручне перемикання труб між ємностями не

					ДонНУЕТ.133.ГМБ-20.2024.ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		27

потрібне. Потрібно просто відкрити відповідні вентиля та активувати насос, щоб запустити обраний процес (барботування, фільтрація, охолодження суслу, перекачування між ємностями);

– регулярне чищення пивоварні та обладнання необхідне для приготування якісного пива без неприємного присмаку. На стінках баків і теплообмінника накопичуються покриття, яке може знизити тепловіддачу і погано позначитися на смакових якостях продукту. Внутрішні поверхні всіх резервуарів і труб пивоварні, які контактують з продуктом під час роботи, поліруються. Гладкі поверхні забезпечують швидке та ефективне промивання системи.

Пивовари всього світу використовують різні ємності для здійснення процесу бродіння і дозрівання. У сучасному пивоварінні ця фаза в основному виконується в резервуарах з нержавіючої сталі. Резервуари можуть бути як атмосферними так і під тиском; за конструкцією їх можна додатково розділити за формою та положенням (вертикальні або горизонтальні, циліндричні); з/без обладнання для контролю температури, а також ізольовані чи неізольовані.

Для обрання ємності бродіння та дозрівання необхідно враховувати наступні чинники [9, 11]:

– потужність пивоварного цеху та план пивоваріння, тобто скільки суслу можна зробити з однієї партії, скільки партій буде робитися щодня/щотижня. Бродіння та дозрівання залежать від стилю пива, бо з деякими сортами пива вони можуть тривати кілька тижнів. Потрібно мати відповідну кількість ферментерів і ємностей для дозрівання, щоб максимально оптимізувати ці процеси. Нову партію можна виготовити лише тоді, коли є порожні ферментери;

– температура ділянки де будуть встановлені резервуари. Неізольовані резервуари підходять для приміщень, які оснащені охолоджуючим пристроєм, здатним підтримувати відповідну температуру. Для кращого контролю процесу бродіння і дозрівання рекомендовано використовувати ізольовані резервуари (з сорочкою охолодження). Коливання температури продукту в баку мінімальні, а енергоспоживання значно нижче, якщо використовувати теплоізольовані баки;

– технологія бродіння. Який спосіб бродіння буде проводитися: низове бродіння (бродіння відбувається повільніше, здійснюється при температурі приблизно 5–13°C) або верхове бродіння (процес відбувається швидше, здійснюється при температурі приблизно 15–20°C).

Розглянемо з якого технологічного обладнання складається пивоварня.

1. Варильний цех – це сукупність взаємопов'язаних технологічних ємностей: змішувач затору, фільтратор та інше. Крім технологічних ємностей, необхідним є бак для приготування гарячої води та джерело незабрудненої (чистої) холодної води, що забезпечить безперебійний робочий процес. На практиці пивоварні зазвичай мають різні комбінації технологічних посудин. Варильний цех може мати невелику кількість комбінованих ємностей, а може складатися з набору окремих ємностей, кожна з яких використовується для здійснення певного процесу.

									Арк.
									28
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата	ДонНУЕТ.133.ГМБ-20.2024.ПЗ				

Вода є важливим інгредієнтом пива, але вона також необхідна для технологічного процесу (охолодження, підігрівання) та для цілей очищення, тому її споживання в процесі варіння пива досить значне. Саме тому важливо підходити до приготування води так само серйозно як і до будь-якої іншої частини процесу варіння пива – шляхом планування. Резервуари для підготовки та зберігання води є більш економічними та роблять процес більш ефективним. Наприклад, вода може нагріватися за рахунок надлишкового тепла, що виділяється в процесі пивоваріння, в той час як ізольовані баки мають мінімальні втрати тепла.

Баки для гарячої води використовуються для зберігання і при необхідності повторного нагрівання гарячої води, яка необхідна в процесі заварювання. Баки оснащені нагрівальною сорочкою (подушковою пластиною) у циліндричній та/або нижній частині. Різні зони нагріву можна регулювати окремо. Резервуар можна підключити до системи варильного цеху, щоб вода могла нагріватися за рахунок надлишкового тепла, що виділяється в процесі охолодження сусла [6, 8, 11]. Резервуари для холодної води використовуються для охолодження та зберігання холодної води, необхідної в процесі варіння пива. Холодна вода, що протікає через пластинчастий теплообмінник, охолоджує сусло. Надлишок тепла, який виробляється при цьому, передається воді, яка, відповідно, прогріває її. Потім ця вода зберігається в баку для гарячої води, що робить весь процес енергоефективним і водозберігаючим.

2. Циліндроконічні ферментери є найбільш широко використовуваними резервуарами на пивоварнях. Вони використовуються для проведення спиртового бродіння (первинного бродіння) при значеннях температури і тиску, що підходять для того сорту пива. Головною перевагою циліндроконічного ферментера є його універсальне застосування, так як його можна використовувати як для первинного, так і для вторинного бродіння. Ближче до кінця основного процесу бродіння дріжджі починають осідати на дні посудини. Відкладення, які збираються в конічній частині ємності, видаляються і таким чином відокремлюються від сусла. Потім вторинне бродіння можна проводити в тому ж резервуарі (при більш високому тиску і більш низьких значеннях температури) або перемістити молоде пиво в інший резервуар через стелажний з'єднувач. Закритий ферментер захищає сусло від інфікування навколишніми мікроорганізмами і не вимагає таких високих рівнів стерильності середовища, які необхідні при роботі з відкритими ферментерами [6, 8]. Як циліндрична, так і конічна частини ферментерів оснащені сорочками охолодження, вони ізольовані та захищені водонепроникною ізоляційною оболонкою. Температура в баку регулюється за допомогою терморегулятора. Всі ферментери можуть бути підключені до головної шафи управління, яка потім використовується для моніторингу та програмування температурних тенденцій у резервуарах.

3. Ємності для дозрівання використовуються для зберігання молодого пива, яке ще має пройти певні хімічні процеси. Оскільки ці процеси відбуваються при більш високому тиску, резервуари повинні бути сконструйовані таким чином, щоб вони могли витримувати підвищений тиск. Обов'язкова комплектація напірного бака включає запобіжний клапан і додатковий клапан скидання вакууму/тиску, який використовується для

					ДонНУЕТ.133.ГМБ-20.2024.ПЗ	Арк.
						29
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

налаштування та регулювання тиску всередині резервуара. Надійна система контролю тиску в циліндроконічному резервуарі необхідна для забезпечення безпеки користувача [11]. Регулюючи рівень тиску можна мати великий вплив на інтенсивність дозрівання та кінцеві властивості пива (регулювання вмісту вуглекислого газу в пиві; вищий тиск означає вищий вміст CO₂). Вторинне бродіння решти ферментованого екстракту в молодому пиві відбувається протягом тривалого періоду часу і при низьких температурах. Тому баку потрібна ефективна система регулювання температури для досягнення та підтримки потрібної температури продукту. Резервуари для дозрівання використовуються для остаточного дозрівання пива, ароматизації, карбонізації та короткочасного зберігання пива перед наповненням його в бочки, пляшки, банки або іншу упаковку.

Для міні-пивоварні оберемо компакту варильна камера ВНМ 500. Вона представляє собою систему з двох технологічних ємностей, які встановлюються на компактній несучій рамі. Обладнання можна використовувати як для однотемпературного так і для багатоступінчастого інфузійного затирання при різних температурах (рис. 2.4).



Рисунок 2.4 – Варильна камера ВНМ 500

Варильний цех ВНМ 500

3 ферментери ZMI 1000 л

1 резервуар для дозрівання LMI 1000 л

1 бак для гарячої води WTX 1200 л

1 резервуар для холодної води СТХ 1200 л

Орієнтовний план пивоваріння: 1 варка/тиждень, 2 заміси/варка

2 партії по 500 л = 1000 л/тиждень

1000 л x 52 тижні = 52 000 л/рік

Для цієї кількості сусла, враховуючи, що тижнева кількість виробленого сусла залишатиметься в ферментері приблизно 3 тижні знадобляться три ферментери об'ємом 1000 л і один резервуар для дозрівання на 1000 л, а також резервуари для підготовки води та зберігання води.

На основі вище зазначеного можна вважати, що процес виробництва пива можна розділити на два етапи. Перша фаза, пивоваріння, виконується всередині варильного цеху, де для отримання сусла використовується суміш солоду, води та хмелю. Друга фаза, бродіння і дозрівання, здійснюється в спеціально

					ДонНУЕТ.133.ГМБ-20.2024.ПЗ	Арк.
						30
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

призначених для цього ємностях (ферментаторах і ємностях для дозрівання). Ці резервуари використовуються для перетворення сусла в молоде пиво, яке потім проходить процес дозрівання з метою отримання кінцевого продукту – пива.

Запропоновано алгоритм оптимізації основних процесів виробництва пива: процес подрібнення за рахунок врахування властивостей зерна солоду, бо воно не однорідне, тому по-різному може впливати на склад сусла та його властивості; затирання за рахунок збільшення турбулентності, а саме завдяки правильному перемішуванню під час затирання, включаючи відповідну форму мішалки (пропелерний змішувач); процесу фільтрації сусла, яке пов'язане, в першу чергу, зі зміною способу і режиму фрезерування, бо сприятливий тонкий помел для вилучення екстракту ускладнює фільтрацію через утворення щільного потоку, який може забивати фільтруюче обладнання дрібними частинками; процес кип'ятіння сусла залежить від температури тому зміни, які пов'язані з температурою кипіння, найбільше впливатимуть на якість пива, що потребує чіткого регулювання; процес бродіння за рахунок контролювання основних параметрів бродіння, а саме температури, рівня кисню, швидкості реакції, дріжджів.

Здійснено обґрунтування обладнання для міні пивоварні, а саме варильного цеху та ємностей для бродіння. Усередині варильного цеху подрібнений солод (круп) змішують з гарячою водою, розтирають і фільтрують, а потім отримане сусло кип'ятять. Під час кип'ятіння пивовари додають хміль та інші «прянощі». Далі осад необхідно видалити, а потім сусло охолодити і перекачати в ферментери. Варильний цех – це сукупність взаємопов'язаних технологічних ємностей: змішувач затору, фільтратор та інше. Крім технологічних ємностей, необхідним є бак для приготування гарячої води та джерело незабрудненої (чистої) холодної води, що забезпечить безперебійний робочий процес. Варильний цех може мати невелику кількість комбінованих ємностей, а може складатися з набору окремих ємностей, кожна з яких використовується для здійснення певного процесу.

Обладнанням для бродіння є циліндроконічні ферментери, які є найбільш широко використовуваними резервуарами на пивоварнях. Вони використовуються для проведення спиртового бродіння (первинного бродіння) при значеннях температури і тиску, що підходять для того сорту пива. Головною перевагою циліндроконічного ферментера є його універсальне застосування, так як його можна використовувати як для первинного, так і для вторинного бродіння. Ємності для дозрівання використовуються для зберігання молодого пива, яке ще має пройти певні хімічні процеси.

Обрано для міні пивоварні варильну камеру ВНМ 500. Вона представляє собою систему з двох технологічних ємностей, які встановлюються на компактній несучій рамі. Обладнання можна використовувати як для однотемпературного так і для багатоступінчастого інфузійного затирання при різних температурах. На основі розрахунків для цієї кількості сусла, враховуючи, що тижнева кількість виробленого сусла залишатиметься в ферментері приблизно 3 тижні підібрано три ферментери об'ємом 1000 л і один резервуар для дозрівання на 1000 л, а також резервуари для підготовки води та зберігання води.

					ДонНУЕТ.133.ГМБ-20.2024.ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		31

РОЗДІЛ 3 АНАЛІЗ РЕЗУЛЬТАТІВ ДОСЛІДЖЕНЬ

3.1 Реалізація апаратно технологічної схеми міні пивоварні

Пиво – це алкогольний напій, який виготовлено шляхом варіння та бродіння із зернових культур, як правило, солодового ячменю, а також кукурудзи та хмелю для отримання злегка гіркуватого смаку. Вважається, що ячмінне пиво має багато корисних властивостей, якщо споживати його в помірних кількостях. Як і будь-яка інша сировина пиво має відповідати якісним показникам. Контроль якості, в основному, зосереджений на оцінці параметрів, пов'язаних з бульбашками та піною та має вирішальне значення для газованих напоїв через їх взаємозв'язок з хімічними компонентами, а також їх вплив на сенсорні характеристики, такі як сприйняття смаків та ароматів. Споживча оцінка та прийнятність газованих напоїв в основному ґрунтуються на карбонізації, піні та бульбашках.

Процес виробництва пива можна розділити на два етапи. Перша фаза, пивоваріння, виконується всередині варильного цеху, де для отримання суслу використовується суміш солоду, води та хмелю. Друга фаза, бродіння і дозрівання, здійснюється в спеціально призначених для цього ємностях (ферментаторах і ємностях для дозрівання). Ці резервуари використовуються для перетворення суслу в молоде пиво, яке потім проходить процес дозрівання з метою отримання кінцевого продукту – пива.

Усередині варильного цеху подрібнений солод (круп) змішують з гарячою водою, розтирають і фільтрують, а потім отримане сусло кип'ятять. Під час кип'ятіння пивовари додають хміль та інші «прянощі». Далі осад необхідно видалити, а потім сусло охолодити і перекачати в ферментери. Це дуже короткий і спрощений опис того, що відбувається всередині пивоварні. Весь процес набагато складніший, що вимагає знання про хімічні та фізичні процеси, які відбуваються всередині пивоварні. Розглянемо реалізацію технологічного обладнання міні пивоварні (рис. 3.1).

Варильний цех – це сукупність взаємопов'язаних технологічних ємностей: змішувач затору, фільтраційний чан, ємність для кип'ятіння. Крім технологічних ємностей, необхідним є бак для приготування гарячої води та джерело незабрудненої (чистої) холодної води, що забезпечить безперебійний робочий процес. На практиці пивоварні, зазвичай, мають різні комбінації технологічних посудин. Варильний цех може мати невелику кількість комбінованих ємностей, а може складатися з набору окремих ємностей, кожна з яких використовується для здійснення певного процесу.

					ДонНУЕТ.133.ГМБ-20.2024.ПЗ		
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата			
Розроб.	Каюн				Літ.	Арк.	Аркушів
Перевір.	Цвіркун					32	7
Н. Контр.	Омельченко				ДонНУЕТ Кафедра ЗІДО		
Затверд.	Цвіркун						

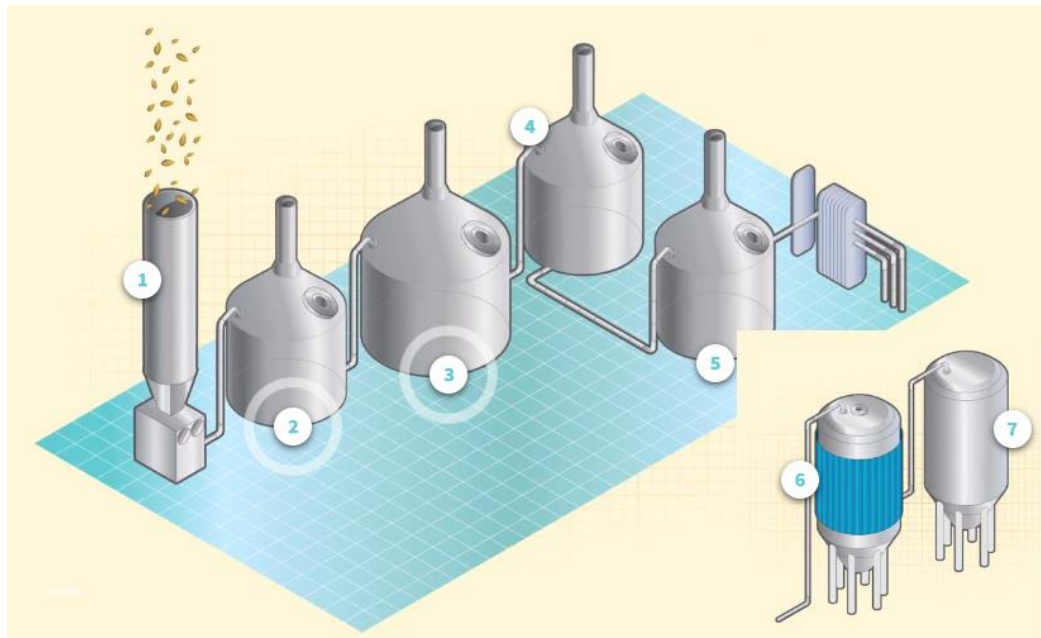


Рисунок 3.1 – Апаратно технологічна схема міні пивоварні

На рисунку 3.1 позначено: 1 – подрібнювач, 2 – заторний чан, 3 – фільтраційний чан, 4 – ємкість для кип'ятіння, 5 – ємність для охолодження, 6 – ферментатор, 7 – ємність для дозрівання.

1. Сусло подрібнюється разом для створення крупи. Це робиться для подрібнення зерна і вилучення цукрів.

2. Перетворення браги (процес затирання) здійснюється у заторному чані. Крупа змішується з підігрітою водою в заторному чані. Цей процес затирання перетворює крохмаль у зернах на цукор.

3. Затор перекачується із заторного чану у фільтраційний чан, який відокремлює тверді речовини від солодкої рідини, яка називається суслим.

4. Сусло переходить в ємкості де його кип'ятять і додають хміль. Хміль забезпечує неповторний смак. Складові компоненти варильного цеху наведено на рисунку 3.2.

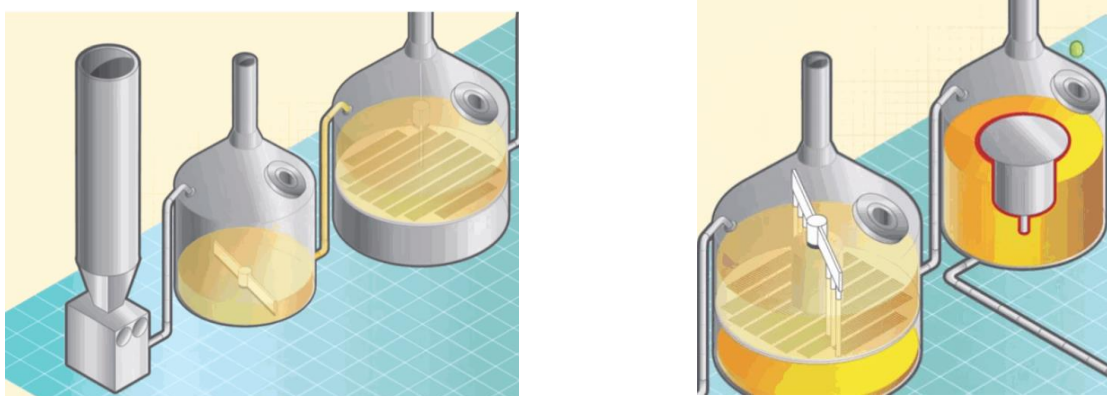


Рисунок 3.2 – Компоненти варильного цеху

5. Процес сепарації та охолодження. Сусло переміщується у вир, який видаляє частинки, що залишилися. Рідина готова до охолодження та бродіння (рис. 3.2).

Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата



Рисунок 3.3 – Процес сепарації та охолодження

Пластинчастий теплообмінник складається з кількох профільованих пластин з нержавіючої сталі, які з'єднані між собою. Пластини встановлюються на спеціальні опорні вали і закріплюються на компактній рамі з нержавіючої сталі. Продукт і теплоносій протікають через пластини окремими проточними трактами в протилежних напрямках.

Теплообмінники, найбільш придатні для використання в пивоварній промисловості, виготовлені з нержавіючої сталі. Нержавіюча сталь є стійким до корозії матеріалом, який при регулярному очищенні не вимагає спеціального та/або додаткового догляду. Пластини з нержавіючої сталі забезпечують хорошу теплопередачу між середовищами без великих втрат тепла. Призначення теплообмінника полягає в зниженні температури сусла під час його передачі з чайника в ферментер [11]. Температура сусла повинна знижуватися до тих пір, поки не досягне значення, придатного для запуску процесу бродіння. Після кип'ятіння сусло має протікати через пластинчастий теплообмінник у напрямку протилежному охолоджуючому середовищу. Отже, температура сусла поступово знижується, а температура холодоносія зростає.

6. Бродіння. Пиво охолоджується, а в сусло додають дріжджі, щоб сприяти бродінню. Дріжджі споживають цукор і створюють CO_2 і спирт.

Термін шипучість відноситься до утворення та росту великої кількості бульбашок, які піднімаються через рідину, поки не досягнуть поверхні де розпадаються. У газованих напоях цей цикл повторюється з наростаючою частотою протягом різних періодів часу. Ця частота залежить від часу росту і часу провалу зародження бульбашок [13]. Бульбашка складається з невеликої кульки газу, відокремленої від рідкого середовища будь-якою з двох меж розділу. У газованих напоях тип бульбашок складається з однієї поверхні. Дуже важливою властивістю є поверхневий натяг, який відповідає за спільну підтримку двох половин бульбашки. Таким чином, поверхневий натяг відповідає за різницю тиску між внутрішньою і зовнішньою частинами бульбашки. Внутрішній тиск обернено пропорційний розміру бульбашки, отже, чим менше бульбашка, тим вище внутрішній тиск. Основним газом, відповідальним за утворення бульбашок у газованих напоях є CO_2 , що обумовлений високою розчинністю у воді, яка має тенденцію до збільшення при більш високому тиску і більш низьких температурах. Радіус бульбашок обумовлений або розширенням або стисненням газу всередині бульбашки, або

					ДонНУЕТ.133.ГМБ-20.2024.ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		34

потоком газу. Якщо газ потрапить у бульбашку та вона виросте, тоді як коли газ покине бульбашку вона зменшиться.

7. Дозрівання. Зелене пиво має витримуватися. У міру дозрівання воно набуває більш повного смаку та гладкості. Обладнання для бродіння і дозрівання представлено на рисунку 3.4.

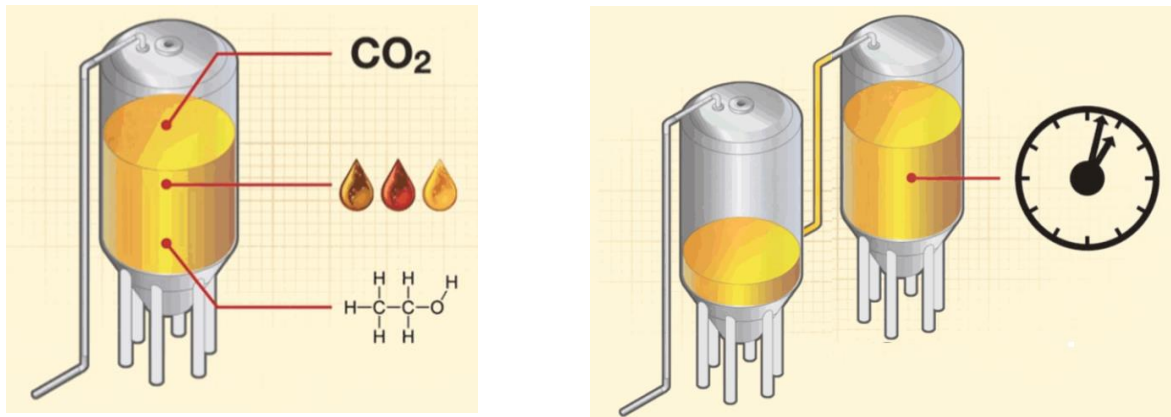


Рисунок 3.4 – Обладнання для бродіння і дозрівання

Піноутворення залежить від температури рідини і концентрації CO_2 в напої. Перевага віддається більш низьким температурам, особливо для пива та ігристого вина, оскільки розчинність CO_2 підвищується і, отже, дозволяє уникнути надмірного піноутворення, якого часто бажають споживачі. Крім того, текстура піни залежить від розподілу бульбашок за розміром. Таким чином, коли присутня більша кількість дрібних бульбашок і частка рідини в піні більша це призводить до кремоподібної піни, якій часто віддають перевагу споживачі. Навпаки, коли розподіл бульбашок за розмірами більший це призводить до утворення грубої піни [13]. Якість, поведінка піни та газофазні параметри є трьома основними методами оцінки включення повітря або газу в їжу та напої: якість харчових продуктів включає параметри, які пов'язані із зовнішнім виглядом; реологією та/або текстурою продукту. Найбільш важливими параметрами піни є піноутворюваність (здатність до утворення піни) і стійкість піни. Газофазні параметри відносяться до оцінки розподілу бульбашок за розміром, індивідуальної поведінки бульбашок і вмісту газу.

3.2 Моделювання потоку бульбашок в рідині

Багатофазна система визначається як суміш фаз твердої, рідкої і газу. Типовими прикладами є краплі води, що падають у повітря, бульбашки газу піднімаються в рідину і тверді частинки, що переносяться рідиною. Багатофазні потоки часто класифікуються за характером системи: дисперсні потоки (частинки або краплі в рідині або газі, бульбашки в рідині), відокремлені потоки і перехідні потоки [12]. У багатьох випадках, коли в явищах течії переважає одна фаза, а величини інших, неважливих фаз невеликі (наприклад, пилоподібний газопотік, дрібні бульбашки газу в рідині), багатофазний потік на практиці описується як однофазний потік і всіма ефектами вторинних фаз нехтують.

					ДонНУЕТ.133.ГМБ-20.2024.ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		35

Дослідження багатофазних потоків за допомогою математичного моделювання може проводитися в декількох масштабах. Найменший масштаб може становити кілька часток мікрометрів, а найбільші – до метрів або десятків метрів. Ці масштаби можуть охоплювати близько восьми порядків, причому найбільша шкала довжини може бути в сто мільйонів разів більшою за найменшу луску. З цієї причини моделювання багатофазного потоку прийнято ділити на різні шкали [12]. У менших масштабах може бути детально змодельована форма фазової межі, наприклад, форма межі розділу газ-рідина між бульбашкою газу і рідиною. Такі моделі можуть називатися роздільними багатофазними поточковими моделями. Методи, що використовуються для опису таких моделей, прийнято називати методами відстеження поверхні. Моделі розділеного багатофазного потоку представлено на рисунку 3.5.

Моделі розділеного багатофазного потоку детально описують межу фази, тоді як дисперсні багатофазні моделі потоку мають справу лише з об'ємними частками однієї фази, дисперсними в безперервній фазі. Помітна принципова різниця між двома підходами для моделей розділеного і дисперсного багатофазного потоку. В обох прикладах описано присутності газової та рідкої фаз. Однак, у роздільній моделі багатофазного потоку різні фази є ексклюзивними, і між ними існує різка фазова межа, де функція фазового поля різко змінюється. У моделі дисперсного багатофазного потоку газова і рідка фази можуть бути визначені в одній точці простору і часу, тоді як в окремих багатофазних моделях потоку в даний момент і час є або газ або рідина.

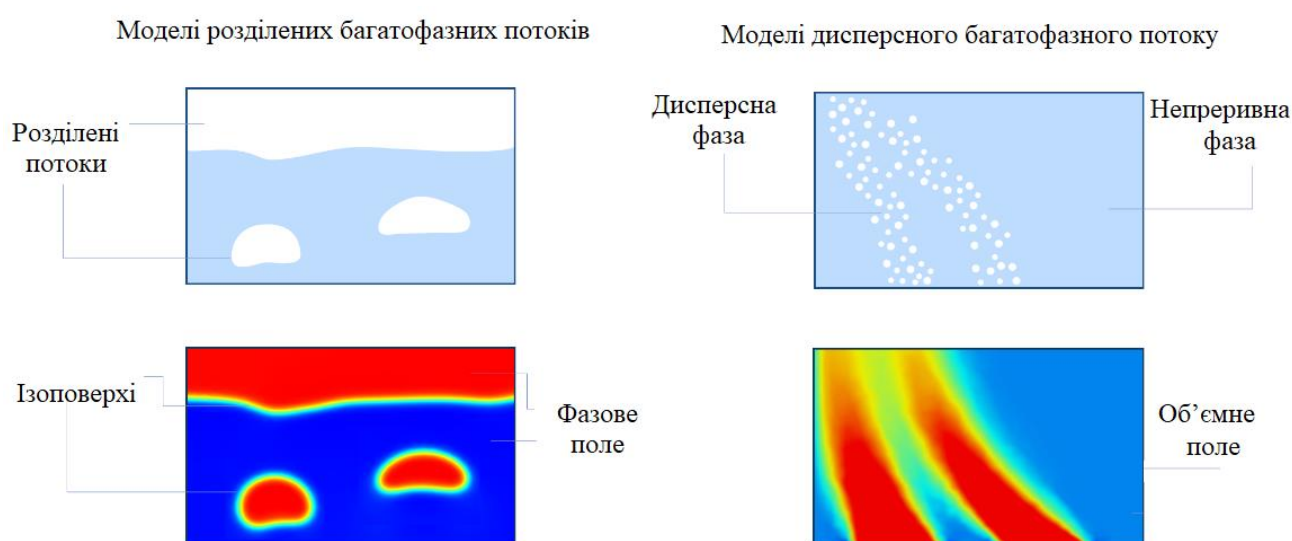


Рисунок 3.5 – Моделі розділеного багатофазного потоку [10]

Модель бульбашкового потоку використовується для бульбашок газу в рідинах. Оскільки внеском імпульсу від дисперсної фази нехтують, модель справедлива лише тоді, коли дисперсна фаза має щільність, яка на кілька порядків менша за безперервну фазу [10, 12]. Модель суміші схожа на модель бульбашкового потоку, але вона враховує імпульсний внесок дисперсної фази. Вона, зазвичай, використовується для моделювання бульбашок газу або твердих частинок, диспергованих у рідкій фазі. Модель суміші також може

обробляти довільну кількість дисперсних фаз. Як модель суміші, так і модель бульбашкового потоку припускає, що дисперсна фаза знаходиться в рівновазі з безперервною фазою, тобто дисперсна фаза не може прискорюватися щодо безперервної фази. Отже, модель суміші не може працювати з великими твердими частинками, диспергованими в газі.

Піна зазвичай утворюється за рахунок надлишку CO_2 , розчиненого в рідині. Якщо тиск падає, наприклад, при відкритті пляшки, пиво більше не може утримувати розчинений газ. Відбувається «перенасичення» і CO_2 переходить в газову фазу. Це пов'язано з ефектом, який залежить від того, наскільки рівномірний розмір бульбашок. Бульбашки в деяких міцних видах пива складаються із суміші вуглекислого газу та азоту, на відміну від звичайного пива, яке містить лише вуглекислий газ. Науковці у своїх роботах не відстежують окремо кожен бульбашку азоту в склянці, а замість цього відстежують об'ємну частку бульбашок в пиві. Було доведено, що потік у склянці пива, що утворює міцні бульбашки залежить від форми келиха [10, 13]. Якщо келих звужується донизу потік спрямовується вниз біля стінки та вгору у внутрішній частині і будуть спостерігатися бульбашки, що тонуть. Якщо контейнер розширюється донизу потік протилежний описаному вище і буде видно лише бульбашки, що піднімаються вгору. Моделювання бульбашкових потоків представлено на рисунку 3.6.

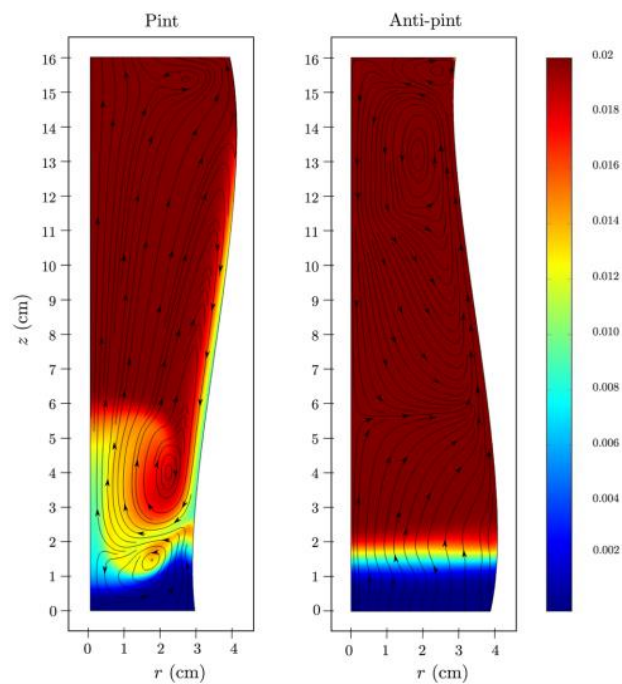


Рисунок 3.6 – Моделювання бульбашкових потоків [10, 13]

Слід зазначити, якщо бульбашки різного розміру то проміжки між більшими заповнюють дрібні бульбашки. У цьому процесі відбувається фізичний механізм, який гарантує, що менші бульбашки поступово втрачають газ до більших шляхом дифузії, змушуючи піну розчинятися швидше. При більш низьких температурах бульбашки, швидше за все, будуть однакового розміру, що дозволяє уникнути ефекту і, отже, зберігається довше. У будь-

					ДонНУЕТ.133.ГМБ-20.2024.ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		37

якому випадку, геометрія скла та розмір бульбашок має вирішальне значення для стабільності піни.

Форма келиха дуже важлива для створення цього ефекту. Було помічено, що бульбашки опускаються для келихів, які розширюються до верху і піднімаються для келихів, які розширюються до низу. Через секунду-дві після заливки рідина близька до стану спокою. Через плавучість рідина з нижчою щільністю підніметься вгору, а рідина з більшою щільністю опуститься. Це схоже на природний процес конвекції, коли гарячіша і, отже, легша рідина піднімається вгору по відношенню до більш щільної та холодної рідини. У цьому випадку рідина з більшою щільністю – це вільна від бульбашок область близько до стінки, тоді як більш легка рідина має найвищу концентрацію бульбашок. Тому рідина буде опускатися впритул до стінки і підніматися в центрі склянки.

В склянці спостерігається схема циркуляції, коли рідина піднімається в центрі склянки і опускається впритул до стінки. Швидкість бульбашок у фіктивній нерухомій рідині буде зростати за рахунок плавучості. У моделі бульбашкового потоку ця швидкість буде кінцевою швидкістю бульбашок. Однак навколишня рідина тоне швидше, ніж кінцева швидкість бульбашок. Бульбашки «хочуть піднятися вгору», але їх тягне вниз навколишня рідина [10, 12, 13]. З іншого боку, у склянці, яка звужується вгорі, бульбашки, що піднімаються, створюють тонкий шар суміші нижчої щільності (вища концентрація бульбашок) близько до стінки і циркуляція потоку зворотна. Пиво стікає вниз біля стінок келиха, тягнучи за собою крихітні бульбашки, а потім вгору всередині.

Якщо застосовувати ідеально прямий циліндричний келих то всі бульбашки в пиві разом піднімуться знизу. Однак пінтові келихи зазвичай вузчі в низу та ширші вгорі. Під широкою пласкою серединою скла більше простору, ніж під його кутовими стінками, а значить, з середини піднімається більше бульбашок, ніж з боків. Ця більша щільність бульбашок у середині пінтового келиха призводить до своєрідного фонтану пива з сильним висхідним потоком бульбашок із середини, що в кінцевому підсумку призводить до того, що напій стікає вниз уздовж його боків, а потім назад вгору.

На основі вище зазначеного можна вважати, що контроль якості в основному зосереджений на оцінці параметрів пов'язаних з бульбашками та піною, що має вирішальне значення для газованих напоїв через їх взаємозв'язок з хімічними компонентами, а також їх вплив на сенсорні характеристики, такі як сприйняття смаків та ароматів. Споживча оцінка та прийнятність газованих напоїв в основному ґрунтуються на карбонізації, піні та бульбашках.

Запропоновано апаратно технологічну схему міні пивоварні. Здійснено підбір обладнання, а саме компактну варильна камера ВНМ 500. Апаратно технологічна схема забезпечує подрібнення, приготування пивного сусла та його охолодження, зброджування сусла та витримку пива, розлив пива. Обладнання забезпечує регулювання та контроль температури у сусловарильному апараті, температуру в фільтраційному апараті, температуру в ферментаторах, швидкість обертання мішалок.

					ДонНУЕТ.133.ГМБ-20.2024.ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		38

ВИСНОВКИ

Бакалаврська робота присвячена технічному оснащенню цеху для виробництва пива. У роботі зазначено, що пиво – це газований, ферментований алкогольний напій, який був одним із перших напоїв виготовлених людиною. Напій є п'ятим за споживанням в даний час і є найбільш вживаним алкогольним напоєм у світі. Вживання пива та пивоваріння були частиною людської діяльності з самого початку цивілізації. Пиво традиційно виготовляється із використанням чотирьох основних інгредієнтів: води, солоду, хмелю та дріжджів. Різні види пива виникають в результаті поєднання різних інгредієнтів і технологій пивоваріння у виробництві пива.

Зазначено, що виробництво пива – це складний технологічний процес, який поєднує фізичні, хімічні та біологічні процеси. Правильний вибір параметрів на кожному етапі виробництва гарантує необхідну якість і можливість найбільш оптимального управління процесом. Пивоваріння можна розділити на три основні технологічні етапи: отримання сусла, спиртове бродіння і дозрівання, стабілізація та переробка пива. Кожен з цих етапів містить низку технологічних операцій, часто з параметрами, що перетинаються, які в тій чи іншій мірі впливають на якість готового напою.

Сконцентровано увагу, що процес пивоваріння можна розділити на такі основні операції, а саме: помел, затирання, фільтрація сусла, кип'ятіння сусла, охолодження, обробка сусла, бродіння, дозрівання, фільтрація та пастеризація. Затирання зерна для пива, як розчавлювання винограду для вина, як пресування яблук для сидру або збір меду для медовухи. Це фундаментальний процес, який робить можливим пиво, метод, за допомогою якого пивовари використовують природні ферменти в солодовому ячмені для перетворення крохмалю на ферментований цукор. Процес затирання полягає в змішуванні з водою подрібненого солоду з метою отримання якомога більшої кількості екстракту. Під час затирання солоду відбувається кілька процесів, але процесом номер один є перетворення крохмалю на цукор. Сусло – це рідина, яку пивовар робить після процесу затирання, де зерна розщеплюються в гарячій воді, а крохмаль стає цукром.

Розглянуто нетермічні технології обробки пива та вплив даних технологій на якість сировини. Застосування імпульсів електричного поля високої інтенсивності одночасно сприяє мікробній інактивації, одночасно значно зменшуючи несприятливі зміни сенсорних, фізичних та поживних властивостей. Ультразвукова технологія може використовувати відновлювану енергію, виробляти менше відходів та зменшувати використання води та розчинників. Омічний нагрів допускає прямий спосіб нагріву – тепло розсіюється всередині зразка і передає його, тим самим зменшуючи

					ДонНУЕТ.133.ГМБ-20.2024.ПЗ			
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата	Технічне оснащення цеху для виробництва пива	Літ.	Арк.	Аркушів
Розроб.	Каюн						39	2
Перевір.	Цвіркун							
Н. Контр.	Омельченко							
Затверд.	Цвіркун					ДонНУЕТ Кафедра ЗІДО		

споживання води та втрати тепла. Метод із застосуванням високого тиску. Тиск миттєво і рівномірно розподіляється по всій сировині, що сприяє отриманню продукції без надмірно оброблених ділянок.

Запропоновано алгоритм оптимізації основних процесів виробництва пива: процес подрібнення за рахунок врахування властивостей зерна солоду, бо воно не однорідне, тому по-різному може впливати на склад суслу та його властивості; затирання за рахунок збільшення турбулентності, а саме завдяки правильному перемішуванню під час затирання, включаючи відповідну форму мішалки (пропелерний змішувач); процесу фільтрації суслу, яке пов'язане, в першу чергу, зі зміною способу і режиму фрезерування, бо сприятливий тонкий помел для вилучення екстракту ускладнює фільтрацію через утворення щільного потоку, який може забивати фільтруюче обладнання дрібними частинками; процес кип'ятіння суслу, який залежить від температури, тому зміни пов'язані з температурою кипіння найбільше впливатимуть на якість пива, що потребує чіткого регулювання; процес бродіння за рахунок контролювання основних параметрів бродіння, а саме температури, рівня кисню, швидкості реакції, дріжджів.

Вважається, що процес виробництва пива можна розділити на два етапи. Перша фаза, пивоваріння, виконується всередині варильного цеху, де для отримання суслу використовується суміш солоду, води та хмелю. Друга фаза, бродіння і дозрівання, здійснюється в спеціально призначених для цього ємностях (ферментаторах і ємностях для дозрівання). Ці резервуари використовуються для перетворення суслу в молоде пиво, яке потім проходить процес дозрівання з метою отримання кінцевого продукту – пива.

Обрано для міні пивоварні варильну камеру ВНМ 500. Вона представляє собою систему з двох технологічних ємностей, які встановлюються на компактній несучій рамі. Обладнання можна використовувати як для однотемпературного так і для багатоступінчастого інфузійного затирання при різних температурах. На основі розрахунків для цієї кількості суслу, враховуючи, що тижнева кількість виробленого суслу залишатиметься в ферментері приблизно 3 тижні підібрано три ферментери об'ємом 1000 л і один резервуар для дозрівання на 1000 л, а також резервуари для підготовки води та зберігання води.

Запропоновано реалізацію апаратно технологічної схеми мікропивоварні. Апаратно технологічна схема забезпечує подрібнення, приготування пивного суслу та його охолодження, зброджування суслу та витримку пива, розлив пива. Обладнання забезпечує регулювання та контроль температури у суслотоварильному апараті, температуру у фільтраційному апараті, температуру в ферментаторах, регульовану швидкість обертання мішалок.

Розглянуто моделювання потоку бульбашок в склянці. Якщо келих звужується донизу потік спрямовується вниз біля стінки та вгору у внутрішній частині і будуть спостерігатися бульбашки, що тонуть. Якщо келих розширюється донизу потік протилежний описаному вище і буде видно лише бульбашки, що піднімаються вгору. Якщо застосовувати ідеально прямий циліндричний келих то всі бульбашки в пиві разом піднімуться знизу на гору.

					ДонНУЕТ.133.ГМБ-22м.2023.ПЗ	Арк.
						40
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. The role of emergent processing technologies in beer production. URL: <https://www.mdpi.com/2306-5710/9/1/7#>.
2. Технологія виробництва пива на заводах. Режим доступу: <https://alcheek.com/industrial-technology-of-beer-production/>
3. Сидоров Ю.І. Сучасні процеси і обладнання для виробництва пива // *Biotechnologia АСТА*. 2013. V. 6. С. 58 – 67.
4. Мелетьєв А.Є., Ляшенко М.І., Проценко Л.В. Удосконалення технології пива з використанням хмелю нових сортів // *Наук. пр. Укр. Держ. ун-ту харч. технологій*. К.: УДУХТ. 2000. № 8. С. 52–54.
5. Теоретичні основи харчових технологій. Пивоваров П.П. та ін.; за ред. П.П. Пивоварова. Харків: ХДУХТ, 2011. 363 с.
6. Кравченко М.Ф., Антоненко А.В. Теоретичні основи харчових технологій. К. Київ. нац. торг.-екон. ун-т, 2011. 516 с.
7. Stages of beer fermentation – fermentation timeline. URL: <https://www.asianbeernetwork.com/stages-of-beer-fermentation-fermentation-timeline/>.
8. Vesela Shopska, Rositsa Denkova-Kostova. Modeling in brewing – a review // *Processes* 2022. Vol. 24 p.
9. Оптимізація процесів на пивоварні. Режим доступу: <https://viravix.com/pivovarnja/inzhinring/optimizacija-procesv/>.
10. Modeling fermentation in beer brewing yields a better product. URL: <https://www.comsol.com/blogs/modeling-fermentation-in-beer-brewing-yields-a-better-product/>.
11. Beer fermentation and maturation tanks. URL: <https://sk-skrjlj.com/en/beer-fermentation-and-maturation-tanks>.
12. The bubbles in Guinness really DO sink and the discovery could lead to pints of stout that pour far faster. URL: <https://www.dailymail.co.uk/sciencetech/article-2152243/The-bubbles-Guinness-really-DO-sink--discovery-lead-pints-stout-pour-far-faster.html>.
13. Bubbles, foam formation, stability and consumer perception of carbonated drinks: a review of current, new and emerging technologies for rapid assessment and control. URL: <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC6963625/>.
14. Виробництво пивоварень та обладнання для виробництва пива та фруктових алкогольних напоїв. Режим доступу: <https://www.czechminibreweries.com/uk/>.
15. Технологія виробництва пива. Режим доступу: <https://www.czechbrewerysystem.com/uk/beer-production-technology>.

					ДонНУЕТ.133.ГМБ-22м.2023.ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		41