

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ ХАРЧОВИХ ТЕХНОЛОГІЙ

Інститут (факультет) Навчально-науковий інженерно-технічний
інститут ім. акад. І.С. Гулого

Кафедра Технологічного обладнання та комп'ютерних технологій
проектування

«До захисту в ЕК»
Директор інституту(декан факультету)
Сергій БЛАЖЕНКО
(ім'я та прізвище)
_____ (підпис)

« ____ » _____ 20__ р.

«До захисту допущено»
Завідувач кафедри
Микола ЯКИМЧУК
(ім'я та прізвище)
_____ (підпис)

« ____ » _____ 20__ р.

КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА
НА ЗДОБУТТЯ ОСВІТНЬОГО СТУПЕНЯ МАГІСТРА

зі спеціальності _____ 133 «Галузеве машинобудування»
освітньо-професійної програми Інжиніринг харчових та біотехнологічних виробництв
на тему: Модернізація апарату деаерації пивоварного сусла в потоці
продуктивністю 25т/год.

Виконав: здобувач II курсу, групи ОХ-2-4М

Фузік Єгор Євгенійович
(прізвище, ім'я, по батькові повністю) _____ (підпис)

Керівник: Якобчук Роман Леонідович
(прізвище, ім'я, по батькові повністю) _____ (підпис)

Консультанти _____ (підпис)
(ім'я та прізвище) _____ (підпис)
_____ (підпис)
(ім'я та прізвище) _____ (підпис)
_____ (підпис)
(ім'я та прізвище)

Рецензент _____ (підпис)
(ім'я та прізвище)

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

Здобувач _____
(підпис)

НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ ХАРЧОВИХ ТЕХНОЛОГІЙ

Інститут Навчально-науковий інженерно-технічний інститут ім. акад. І. С. Гулого

Кафедра Технологічного обладнання та комп'ютерних технологій проектування
Освітній ступінь магістр

Спеціальність 133 «Галузеве машинобудування»
(шифр і назва)

Освітня програма «Інжиніринг харчових та біотехнологічних виробництв
(шифр і назва)

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри ТОКТП

проф. Микола ЯКИМЧУК

(власне ім'я і ПРІЗВИЩЕ)

« 02 » _____ 12 _____ 2024 _ року

З А В Д А Н Н Я **НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ ЗДОБУВАЧА**

Фузіку Єгору Євгенійовичу

(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема роботи Модернізація апарату деаерації пивоварного суслу в потоці продуктивністю 25т/год

керівник роботи Якобчук Роман Леонідович, доц., канд. тех. наук

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

затвержені наказом закладу вищої освіти від « 01 » 10 _____ 2024 р. № 859-кс

2. Строк подання здобувачем роботи 02.12.2024 р.

3. Вихідні дані до роботи 1. Технічний паспорт обладнання.

2. Альбом галузевого обладнання. 3. Навчальна та спеціальна література

4. Зміст пояснювальної записки (перелік питань, які потрібно розробити):
Реферат; Зміст; Вступ; Аналіз сучасного стану об'єкта дослідження, вибір і обґрунтування основного напрямку дослідження; Розробка нового технічного рішення об'єкта дослідження; Дослідна частина та узагальнення результатів; Розрахункова частина; Автоматизація; Заходи з охорони праці; Маркетингове обґрунтування проекту; Висновки; Список використаних джерел

5. Перелік графічного матеріалу (з точним зазначенням обов'язкових креслень):
Загальний вигляд обладнання – 7 аркуші; Складальні одиниці обладнання – 2 аркуші; Технологія машинобудування – 1 аркуш.

6. Консультанти розділів роботи

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультантів	Підпис, дата	
		завдання видав	завдання прийняв

7. Дата видачі завдання: 02.10.2024 р.

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ п/п	Назва етапів кваліфікаційної роботи	Строк виконання етапів кваліфікаційної роботи	Примітка
1	<i>Вступ</i>	03.10.2024 р.	
2	<i>Аналіз сучасного стану об'єкта дослідження, вибір і обґрунтування основного напрямку дослідження</i>	04.10.2024 р.	
3	<i>Розробка нового технічного рішення об'єкту дослідження</i>	20.10.2024 р.	
4	<i>Дослідна частина та узагальнення результатів</i>	01.11.2024 р.	
5	<i>Розрахункова частина</i>	15.11.2024 р.	
6	<i>Принципи автоматизованого управління об'єктом проектування</i>	20.11.2024 р.	
7	<i>Заходи з охорони праці та охорони довкілля</i>	21.11.2024 р.	
8	<i>Маркетингове обґрунтування проекту</i>	23.11.2024 р.	
9	<i>Висновки</i>	25.11.2024 р.	
10	<i>Список використаних джерел</i>	26.11.2024 р.	
11	<i>Графічна частина формату А1 – 10 шт.</i>	28.11.2024 р.	
12	<i>Подача кваліфікаційної роботи на кафедру</i>	02.12.2024 р.	

Здобувач _____

(підпис)

Єгор Фузік
(власне ім'я і ПРІЗВИЩЕ)

Керівник роботи _____

Роман ЯКОБЧУК

Реферат

У кваліфікаційній роботі запропоновано модернізацію апарату для деаерації пивоварного сусла в потоці. Модернізація передбачає заміну застарілого обладнання на сучасний енергоефективний пристрій, що забезпечить покращення технологічного процесу видалення розчинених газів із сусла, скорочення тривалості циклу, зниження енергоспоживання та підвищення якості кінцевого продукту.

У роботі особлива увага приділена екологічним аспектам, енергозбереженню та відповідності вимогам охорони праці. Проєкт містить рекомендації щодо монтажу, технічного обслуговування та експлуатації модернізованого обладнання, а також економічне обґрунтування його впровадження.

Мета роботи. Оптимізація процесу деаерації пивоварного сусла шляхом впровадження сучасного обладнання, що дозволить мінімізувати негативний вплив кисню на процес бродіння, забезпечити стабільну якість пива та зменшити експлуатаційні витрати.

Ціль дослідження. Розробка та впровадження енергоефективного апарату деаерації, який забезпечить високий рівень видалення розчинених газів із сусла, скоротить тривалість технологічного циклу та відповідатиме сучасним екологічним стандартам.

Об'єкт дослідження. Технологічний процес деаерації пивоварного сусла в потоці з використанням сучасного обладнання.

Предмет дослідження. Ефективність видалення розчинених газів із пивного сусла, вплив модернізації обладнання на тривалість технологічного циклу, енергозбереження, якість продукту та експлуатаційні витрати.

<i>Відповідальна організація</i> НУХТ	<i>Технічне узгодження</i> Якимчук Р.Л.	<i>Вид документа</i> Пояснювальна записка		<i>Статус документа</i>		
<i>Власник документа</i> НУХТ	<i>Розробник документа</i> Фузик Е.Е.	<i>Назва, додаткова назва</i> Реферат	230608.КР.15.000 ПЗ			
	<i>Документ затверджено</i> Якимчук М.В.		<i>Інд. змін.</i>	<i>Дата видання</i>	<i>Мова</i> UA	<i>Аркуш</i> 1/4

Основні результати виконаної роботи:

- Проведено аналіз існуючих систем деаерації та виявлено їхні недоліки.
- Запропоновано конструктивні рішення для модернізації апарату деаерації з використанням сучасних технологій.
- Виконано розрахунки, які підтверджують доцільність та економічну ефективність впровадження новітнього обладнання.
- Розроблено рекомендації щодо експлуатації та обслуговування апарату, а також заходи для забезпечення його безпечної роботи.

Кваліфікаційна робота складається з 6 розділів пояснювальної записки, в яких висвітлено аналіз проблем, обґрунтування вибору обладнання та детальний план модернізації процесу деаерації. Графічна частина представлена на 10 аркушах формату А1.

Ключові слова: деаерація, пивоварне сусло, бродіння, кисень, енергоефективність, якість.

Abstract

In the qualification work, a modernization of the apparatus for the deaeration of brewing wort in the flow is proposed. The modernization involves replacing outdated equipment with a modern energy-efficient device, which will improve the technological process of removing dissolved gases from the wort, reduce cycle duration, decrease energy consumption, and enhance the quality of the final product.

The work pays special attention to ecological aspects, energy saving, and compliance with occupational safety standards. The project includes recommendations for the installation, maintenance, and operation of the upgraded equipment, along with an economic justification for its implementation.

Objective of the work. Optimization of the brewing wort deaeration process by introducing modern equipment that minimizes the negative impact of oxygen on the fermentation process, ensures stable beer quality, and reduces operational costs.

Research goal. Development and implementation of an energy-efficient deaeration apparatus that provides a high level of dissolved gas removal from the wort, shortens the technological cycle, and meets modern environmental standards.

Object of the study. The technological process of brewing wort deaeration in the flow using modern equipment.

Subject of the study. Efficiency of removing dissolved gases from brewing wort, the impact of equipment modernization on cycle duration, energy saving, product quality, and operational costs.

Main results of the work:

- An analysis of existing deaeration systems was conducted, identifying their shortcomings.
- Structural solutions for modernizing the deaeration apparatus using modern technologies were proposed.
- Calculations were carried out to confirm the feasibility and economic efficiency of implementing the new equipment.

- Recommendations for the operation and maintenance of the apparatus were developed, as well as measures to ensure its safe use.

The qualification work consists of six sections of the explanatory note, which include an analysis of problems, justification of equipment selection, and a detailed plan for modernizing the deaeration process. The graphical part is presented on 10 sheets of A1 format.

Keywords: deaeration, brewing wort, fermentation, oxygen, energy efficiency, quality.

ЗМІСТ

стор.

Реферат.....	
Вступ.....	
1. АНАЛІЗ СУЧАСНОГО СТАНУ ОБ'ЄКТА ДОСЛІДЖЕННЯ, ВИБІР І ОБҐРУНТУВАННЯ НАПРЯМКУ ДОСЛІДЖЕННЯ	
1.1. Порівняльний аналіз технічних рішень поставленої задачі	
1.2. Техніко-економічне та соціальне обґрунтування актуальності модернізації.....	
1.3. Висновки.	
2. РОЗРОБКА НОВОГО ТЕХНІЧНОГО РІШЕННЯ ОБ'ЄКТУ ДОСЛІДЖЕННЯ	
2.1. Опис запропонованого технічного рішення.	
2.2. Будова апарату	
2.3. Принцип роботи.	
2.4. Висновки	
3. ДОСЛІДНА ЧАСТИНА ТА УЗАГАЛЬНЕННЯ РЕЗУЛЬТАТІВ	
3.1. Опис експериментальної установки чи імітаційної моделі об'єкту досліджень	
3.2. Методика проведення досліджень	
3.3. Устрій та принцип роботи модернізованого об'єкта проектування	
3.4. Висновки.....	
4. РОЗРАХУНКОВА ЧАСТИНА	
4.1. Розрахунок модернізованого обладнання.....	
4.2. Правила монтажу, та технічного сервісу модернізованого обладнання.	

<i>Відповідальна організація</i> НУХТ	<i>Технічне узгодження</i> Якимчук Р.Л.	<i>Вид документа</i> Пояснювальна записка	<i>Статус документа</i>			
<i>Власник документа</i> НУХТ	<i>Розробник документа</i> Фізик Е.Є.	<i>Назва, додаткова назва</i> Зміст	230608.КР.15.000 ПЗ			
	<i>Документ затверджено</i> Якимчук М.В.		<i>Інд. змін.</i>	<i>Дата видання</i>	<i>Мова</i> UA	<i>Аркуш</i> 1/2

5. АВТОМАТИЗАЦІЯ.....

6. ЗАХОДИ ЩОДО ОХОРОНИ ПРАЦІ.....

7. МАРКЕТИНГОВЕ ОБҐРУНТУВАННЯ ПРОЕКТУ.....

ВИСНОВКИ.....

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ЛІТЕРАТУРНИХ ДЖЕРЕЛ.....

ДОДАТКИ.....

Вступ

Основною метою цієї кваліфікаційної роботи є модернізація апарату деаерації пивоварного сусла у безперервному потоці. Наявність навіть незначної кількості розчинених газів, зокрема кисню, у суслі суттєво впливає на якість фінального продукту, оскільки кисень може викликати окислювальні процеси, що призводять до небажаних смакових нюансів та зниження стабільності пива. Щоб уникнути цих негативних наслідків, сучасні технології пивоваріння передбачають використання деаераційних пристроїв, які ефективно усувають гази з сусла на етапі його підготовки.

Сьогодні більшість пивоварень застосовують традиційні методи деаерації, такі як термічна обробка або вакуумна деаерація, які мають недоліки: висока енерговитратність, тривалість процесу та потреба у великих обсягах води для охолодження. Це призводить до зростання витрат на виробництво та вимоги до вдосконалення технічного оснащення. В умовах жорсткої конкуренції на ринку пивоваріння важливо знайти ефективні рішення, які знижують витрати та підвищують якість кінцевого продукту.

У цій роботі було вивчено сучасні технології, які можуть бути інтегровані в процес деаерації сусла, зокрема мембранні технології та комбіновані системи, що об'єднують кілька методів. Це дозволить знизити вміст кисню в суслі до критично низьких значень і оптимізувати енергетичні витрати.

Мембранні технології демонструють високу ефективність у видаленні газів завдяки використанню напівпроникних мембран, які здатні розділяти розчинені гази від рідини. Цей метод характеризується зменшеними термінами процесу, низьким споживанням енергії та відсутністю потреби в додаткових охолоджувальних системах.

<i>Відповідальна організація</i> НУХТ	<i>Технічне узгодження</i> Якимчук Р.Л.	<i>Вид документа</i> Пояснювальна записка		<i>Статус документа</i>			
<i>Власник документа</i> НУХТ	<i>Розробник документа</i> Фізик Е.Е.	<i>Назва, додаткова назва</i> Вступ	230608.KP.15.000 ПЗ				
	<i>Документ затверджено</i> Якимчук М.В.		<i>Інд. змін.</i>	<i>Дата видання</i>	<i>Мова</i> UA	<i>Аркуш</i> 1/2	

Дослідження показують, що інтеграція мембранних технологій може знизити витрати на електроенергію до 40% в порівнянні з традиційними методами деаерації. Мембранні системи також можуть функціонувати в автоматичному режимі, що знижує потребу в ручній праці та підвищує загальну продуктивність.

Комбіновані системи, що включають етапи попереднього нагріву суслу, вакуумної деаерації та мембранних технологій, можуть суттєво поліпшити якість деаерації і скоротити загальний час процесу. Такі системи універсальні і можуть бути адаптовані до різних типів суслу.

Модернізація апарату деаерації також передбачає ретельний підбір матеріалів, стійких до корозії та легких в очищенні. Використання сучасних сплавів та полімерів забезпечить підвищення надійності обладнання та зменшить витрати на його обслуговування.

На етапі аналітичної частини роботи було оцінено техніко-економічні показники нової системи деаерації в порівнянні з існуючими методами. Основна увага була приділена зменшенню витрат енергії, підвищенню продуктивності та покращенню якості готового продукту. Це дозволило обґрунтувати доцільність модернізації апарату та надати рекомендації щодо його впровадження в промислову експлуатацію.

Особлива увага була також надана вимогам безпеки обладнання та утилізації відходів, що забезпечить відповідність сучасним стандартам екології і безпеки.

Отже, модернізація апарату деаерації пивоварного суслу в потоці є важливим завданням, що може суттєво підвищити ефективність виробництва та якість готового продукту. Інтеграція нових технологій, таких як мембранні системи та комбіновані методи, сприятиме зменшенню витрат і покращенню конкурентоспроможності пивоварних підприємств на ринку.

1. АНАЛІЗ СУЧАСНОГО СТАНУ ОБ'ЄКТА ДОСЛІДЖЕННЯ, ВИБІР І ОБГРУНТУВАННЯ НАПРЯМКУ ДОСЛІДЖЕННЯ

1.1. Порівняльний аналіз технологічних рішень поставленої задачі.

Для досягнення якісного результату деаерації пивоварного суслу важливо використовувати сучасні апарати та технології, що дозволяють ефективно видаляти кисень з рідини. Оскільки присутність кисню в суслі може негативно вплинути на якість готового пива, особливо на його смакові та ароматичні характеристики, видалення кисню стає критично важливим завданням для кожного етапу виробництва.

Основним обладнанням для деаерації є спеціалізовані деаераційні установки. Принцип дії таких апаратів ґрунтується на виведенні розчиненого кисню із суслу в умовах, що сприяють поглинанню кисню інертним газом, зазвичай вуглекислим газом (CO₂) або азотом (N₂). Розподільник інертного газу розміщують в нижній частині апарату, що дозволяє ефективно проводити процес у протитечії. Такий підхід забезпечує максимальне поглинання залишкового кисню, а також дозволяє уникнути окислення суслу під час транспортування до наступних технологічних етапів.

У стандартних схемах деаерації пивоварного суслу використовуються різні типи деаераторів, зокрема барботажні, вакуумні та мембранні. Барботажні апарати передбачають введення інертного газу у вигляді дрібних бульбашок, що сприяє максимальному контакту газу з рідиною. Вакуумні деаератори використовують знижений тиск для видалення кисню, що дозволяє знижувати енерговитрати.

<i>Відповідальна організація</i> НУХТ	<i>Технічне узгодження</i> Якимчук Р.Л.	<i>Вид документа</i> Пояснювальна записка	<i>Статус документа</i>			
<i>Власник документа</i> НУХТ	<i>Розробник документа</i> Фузик Е.Є.	<i>Назва, додаткова назва</i> АНАЛІЗ СУЧАСНОГО СТАНУ ОБ'ЄКТА ДОСЛІДЖЕННЯ	230608.KP.15.001 ПЗ			
	<i>Документ затверджено</i> Якимчук М.В.		<i>Інд. змін.</i>	<i>Дата видання</i>	<i>Мова</i> UA	<i>Аркуш</i> 1/2

Мембранні деаератори діють за принципом селективної проникності, завдяки якій кисень видаляється через мембрану, а рідина проходить далі по технологічному процесу.

Ці апарати відрізняються конструкцією, типом насадок, параметрами ущільнень, принципом подачі інертного газу та іншими особливостями. Барботажні деаератори, що найчастіше використовуються на вітчизняних пивоварнях, зазвичай оснащені інжекторною системою або дифузорами, що сприяє інтенсивному перемішуванню рідини з інертним газом. Вакуумні деаератори потребують додаткових витрат на підтримання зниженого тиску, що робить їх менш економічними, однак вони забезпечують високу ефективність при мінімальному втручанні у хімічний склад сусла.

Деаераційні апарати мають низку переваг. Вони дозволяють підтримувати стабільну якість продукції, мінімізуючи рівень розчиненого кисню до необхідного мінімуму, що позитивно позначається на збереженні смакових якостей пива. Також вони забезпечують можливість регулювання обсягу подачі інертного газу залежно від температури та фізико-хімічних властивостей сусла, що дозволяє виробляти продукт різних сортів та характеристик.

Однією з основних переваг сучасних деаераторів є можливість використання універсальних систем, які можна адаптувати під різні вимоги. Вони забезпечують необхідний рівень деаерації для різних сортів пива та технологічних параметрів, що важливо для забезпечення гнучкості у виробничих процесах пивоварні.

Проте існують і певні недоліки в роботі деаераційного обладнання. Сучасні деаераційні системи часто мають високу вартість обслуговування, зокрема, через необхідність періодичної заміни мембран, ущільнень та інжекторів. Окрім цього, інколи може спостерігатися небажане перенасичення сусла інертним газом, що впливає на процес бродіння та інші технологічні операції, а також збільшує витрати на сировину.

Сучасні пивоварні заводи в Європі широко використовують деаераційне обладнання провідних світових виробників. Серед найбільш популярних моделей можна виділити апарати таких компаній, як "Bucher Unipektin", "Gustav Bucher" та "GEA Group AG" з Німеччини, "Alfa Laval" та "Pall Corporation" з Франції, . Ці компанії пропонують високотехнологічне обладнання, що дозволяє знизити вміст кисню в пиві до рівня, який відповідає міжнародним стандартам якості.

Таким чином, модернізація апаратів деаерації пивоварного суслу є важливим етапом у забезпеченні стабільної якості продукції та зниженні втрат. Сучасні технології деаерації дозволяють знизити енерговитрати, підвищити ефективність процесу та задовольнити високі вимоги до якості пива, що дозволяє виробникам зберігати конкурентні позиції на ринку.

Система деаерації холодної води GEA VARIDOX-C



Рис.1.1. Система деаерації холодної води GEA VARIDOX-C

Вода розпоршується в колоні деаератора і повільно просочується вниз по колонках насадок. На виході з колони вода насичується CO_2 (N_2). Якщо вода буде використовуватися для змішування газованого продукту, можливий варіант попередньої карбонізації, сконфігурований з другою, окремою лінією CO_2 , яка подає CO_2 в деаеровану воду (після колони деаератора).

Система включає датчики швидкості витрати, рівня води або СІР-засобів, а також, за необхідності, кисню. Ці датчики контролюють стан системи та її функціонування. Безпосереднє очищення продуктопроводу та колони здійснюється за допомогою ефективної системи безрозбірного миття (СІР).

ОСОБЛИВОСТІ:

- Низький вміст залишкового кисню: <0,03 мг/л (30 мкг/л)
- Вміст залишкового кисню: <0,02 мг/л (20 мкг/л) і <0,01 мг/л (10 мкг/л), можливо, залежить від висоти конфігурованої колони
- Низька витрата CO₂
- Низькі експлуатаційні витрати, порівняно з технологією деаерації під вакуумом
- Невеликі терміни монтажу (система постачається у попередньо зібраному вигляді)
- Низькі витрати на техобслуговування
- Може бути поставлена для деаерації води зі швидкістю потоку від 20 гл/год до 1000 гл/год.

ТЕХНІЧНІ ХАРАКТЕРИСТИКИ:

- Тиск води на вході: 2 бар
- Температура води: >10°C
- Тиск повітря управління: 6-8 бара
- Матеріали: 1.4301/EPDM
- Тиск CO₂ на вході: 6-8 бар
- Витрата CO₂ : 0,3-0,8 г/л
- Зміст CO₂ у воді: 1,7-2,2 г/л
- Подача CO₂ : 2-3 г/л
- Якість CO₂ : >Ступінь очищення 99,998%

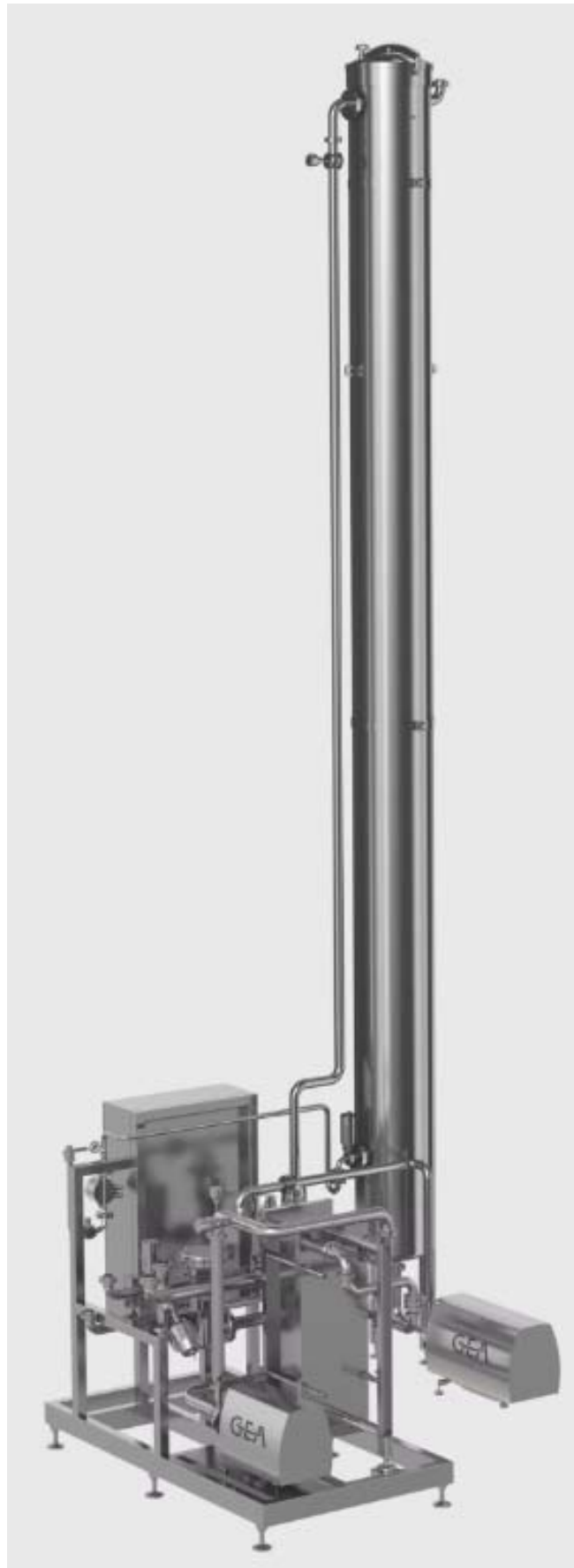


Рис.2. Загальний вигляд GEA VARIDOX-C

Система деаерації гарячої води GEA VARIDOX-C

Кисень у пиві та інших напоях може значно впливати на їх термін зберігання і, що важливо, на смак, роблячи його менш приємним для споживача. Через це важливо забезпечувати використання оптимально деаерованої води для виробництва напоїв, а також для розведення пива. У цьому процесі особливо ефективною є перевірена система деаерації води GEA VARIDOX-H від GEA, яка використовує метод гарячої деаерації, що дозволяє досягти надзвичайно низького рівня залишкового кисню. Це робить систему особливо придатною для багатьох виробничих процесів, а також для застосувань, де потрібен високий рівень очищення.

Важливою перевагою системи GEA VARIDOX-H є пастеризація води. На етапі підготовки вода нагрівається приблизно до 72°C. За цієї температури вона подається в деаераційну колону і повільно стікає вниз по насадках колони. Висока температура значно знижує розчинність кисню у воді, що забезпечує більш ефективне видалення газу. Додаткове очищення від кисню відбувається завдяки подачі CO₂ (або N₂), який рухається знизу вгору, витісняючи залишки кисню.

Коли вода виходить із колони і охолоджується, система забезпечує теплове відновлення на рівні понад 90 % за рахунок регенераційного етапу. Це дозволяє мінімізувати втрати енергії та підвищує загальну економічність процесу. Далі вода охолоджується до потрібної температури, що дає можливість відразу використовувати її у виробничому процесі.

Для забезпечення надійної роботи системи GEA VARIDOX-H передбачено встановлення датчиків витрати, рівня води та, за необхідності, кисню, що дозволяє постійно контролювати функціонування обладнання. У разі потреби GEA VARIDOX-H очищується через продуктопровід; ця операція потрібна рідко, якщо якість вхідної води залишається на високому рівні.



Рис.3. Система деаерації гарячої води GEA VARIDOX-C

ОСОБЛИВОСТІ:

- Низький вміст залишкового кисню: <0,02 мг/л (20 мкг/л)
- Ще більш низькі рівні залишкового кисню <0,01 мг/л (10 мкг/л) або навіть <0,005 мг/л (5 мкг/л) можна досягти за рахунок збільшення висоти колони деаератора
- Пастеризація води (≥ 25 PE)
- Рекуперація тепла $\geq 90\%$
- Низька витрата CO₂
- Нижчі експлуатаційні витрати порівняно з деаерацією під вакуумом
- Невеликі терміни монтажу (система постачається у попередньо зібраному вигляді)
- Низькі витрати на техобслуговування
- Може бути поставлена для деаерації води зі швидкістю потоку від 20 гл/год до 1000 гл/год

ТЕХНІЧНІ ХАРАКТЕРИСТИКИ:

- Тиск води на вході: 2 бар
- Тиск повітря управління: 6-8 бара
- Матеріали: 1.4301/EPDM
- Тиск CO₂ на вході: 6-8 бар
- Витрата CO₂ : 0,05 г/л
- Зміст CO₂ у воді: 0,45 г/л
- Необхідна кількість CO₂ : 0,5 г/л
- Якість CO₂ : >Ступінь очищення 99,998%

Технологічна система деаерації при атмосферному тиску

Alfa Laval Aldox™

Колонка ALDOX видаляє кисень із води, що надходить. Висока десорбція кисню досягається використанням відпарного газу (CO₂ або H₂) над упакованим ліжком, що працює при атмосферному тиску. Вода направляється через розподільник рідини у верхній частині колони та тече вниз проти течії до відпарного газу. Внутрішній ущільнювальний матеріал, спеціально розроблений для цього застосування, забезпечує велику ефективну площу контакту між рідиною та газом. Практично безкиснева вода збирається в нижній частині колонки. Завдяки ефективній конструкції немає потреби у другій колонці чи будь-якій рециркуляції води.

Модуль ALDOX легко інтегрує пастеризацію води для подальшого забезпечення високої якості води. Вода, що надходить, регенеративно нагрівається водою, що виходить, що забезпечує високий ступінь рекуперації тепла. Для остаточного нагрівання до температури пастеризації використовується пара низького тиску або гаряча вода. Об'єм системи та рівень температури забезпечують досягнення правильного рівня PU.

Деаеровану воду можна охолодити до необхідної низької температури на виході під точним контролем. Як варіант, кінцевий етап охолодження може бути запропонований аміаком.



Рис.4. Система деаерації при атмосферному тиску

Alfa Laval Aldox™

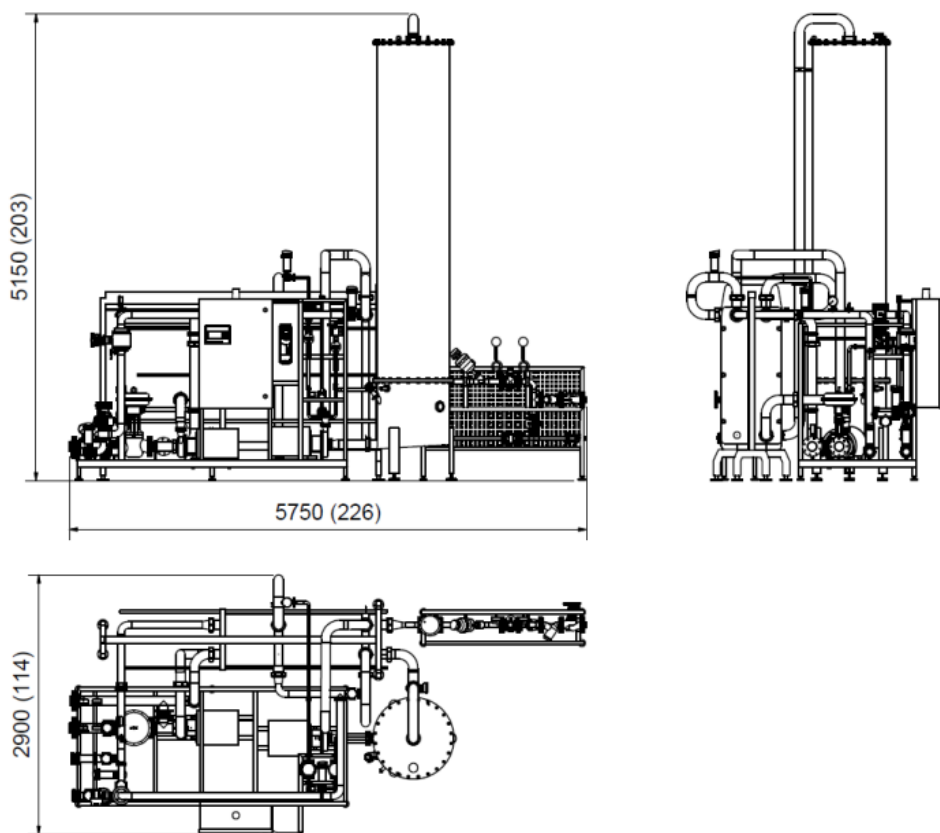


Рис.5. Габаритні розміри Alfa Laval Aldox™

1.2. Техніко-економічне обґрунтування модернізації

Модернізація апарату деаерації пивоварного сусла є надзвичайно важливим кроком для покращення якості продукції на пивоварних підприємствах. Основною метою цього процесу є зниження вмісту розчиненого кисню в пивоварному суслі, що є критично важливим для забезпечення стабільності кінцевого продукту та запобігання окислювальним процесам, які можуть негативно вплинути на смакові характеристики пива. З огляду на технологічні та економічні аспекти, модернізація системи деаерації є стратегічно вигідним кроком, що дозволяє оптимізувати виробничі витрати, покращити якість продукції та зменшити екологічний вплив.

Зниження витрат на енергію та матеріали

Традиційні методи деаерації, такі як термічна обробка або вакуумна деаерація, потребують значних витрат енергії. Ці методи часто пов'язані з високими енергетичними затратами через тривалість процесу та необхідність охолодження сусла за допомогою великих обсягів води. В результаті, пивоварні підприємства змушені витратити значні ресурси на підтримання температури сусла та охолодження його після обробки.

Модернізація апарату деаерації за допомогою мембранних технологій дозволяє значно зменшити енергетичні витрати. Мембранні системи здатні ефективно відокремлювати розчинені гази (включаючи кисень) від рідини без потреби в складних і енерговитратних системах охолодження. Враховуючи, що мембрани можуть працювати при низьких температурах і значно скорочують час обробки, їх застосування дозволяє знизити витрати на енергію на 30-40% порівняно з традиційними методами. Це є важливим фактором у сучасних умовах, коли енергетична ефективність стає одним із основних критеріїв для зниження витрат на виробництво.

Оптимізація виробничих процесів та підвищення продуктивності

Модернізація деаераційного апарату також передбачає вдосконалення самого виробничого процесу. Завдяки інтеграції нових технологій у виробництво, таких як мембранні фільтраційні системи, значно скорочується час, необхідний для досягнення необхідного рівня деаерації сусла. Мембранні системи працюють більш швидко та ефективно, що дозволяє збільшити загальну продуктивність виробництва, не втрачаючи якості кінцевого продукту.

Автоматизація процесу деаерації за допомогою сучасних систем управління дозволяє мінімізувати людський фактор, що, у свою чергу, знижує ймовірність помилок і забезпечує стабільність технологічного процесу. Це забезпечує більш рівномірне та точне видалення кисню з сусла, що має вирішальне значення для забезпечення високої якості пива.

Завдяки оптимізації процесу та зниженню часу обробки сусла, можна значно збільшити продуктивність підприємства. Окрім того, автоматизація дозволяє знизити потребу в ручній праці, що веде до зниження витрат на оплату праці та підвищення загальної ефективності виробництва.

Підвищення якості та конкурентоспроможності продукції

Модернізація апарату деаерації безпосередньо впливає на якість кінцевого продукту. Оскільки розчинений кисень у суслі може спричинити окислення і негативно вплинути на смак пива, ефективне видалення кисню на етапі підготовки сусла є критично важливим для збереження стабільності та якості пива. Технології мембранної деаерації дозволяють досягти значно більш високого рівня очищення сусла від газів, ніж традиційні методи.

Завдяки зниженню рівня кисню, пиво має більш стійкі смакові характеристики, що дозволяє виробникам зберігати високу якість продукту протягом більш тривалого часу. Це є важливою перевагою на ринку, де конкуренція є надзвичайно жорсткою, і навіть незначні покращення якості можуть істотно вплинути на позиції підприємства.

Модернізація також дозволяє покращити гнучкість виробництва, оскільки нові технології можуть бути адаптовані під різні типи сусла, що дозволяє розширити асортимент продукції та задовольняти різноманітні потреби споживачів.

Зменшення негативного впливу на довкілля

Екологічні питання відіграють важливу роль у сучасному виробництві, тому значну увагу при модернізації апарату деаерації слід приділяти зменшенню негативного впливу на довкілля. Традиційні методи деаерації потребують значних обсягів води для охолодження, що збільшує водоспоживання та забруднення водних ресурсів. Використання мембранних систем дозволяє зменшити споживання води та знизити викиди тепла в атмосферу, що є важливим чинником для відповідності сучасним екологічним стандартам.

Більш ефективне використання води і енергії зменшує екологічний слід підприємства, що дозволяє знижувати витрати на утилізацію відходів і покращує екологічний імідж пивоварні. Це також відповідає вимогам з охорони навколишнього середовища, що є важливим аспектом для отримання сертифікатів екологічної безпеки та підтримки сталого розвитку підприємства.

Економічна доцільність інвестицій у модернізацію

Попри те, що модернізація апарату деаерації потребує значних початкових капіталовкладень у нове обладнання, вона є економічно вигідною інвестицією. Витрати на модернізацію окупаються за рахунок значного зниження витрат на енергію, зменшення потреби в воді та охолоджуючих системах, а також зменшення витрат на обслуговування обладнання. Тривалість окупності цих інвестицій, за оцінками, складає від 3 до 5 років, залежно від масштабів підприємства та рівня запроваджених технологій.

До того ж, підвищення якості продукції, що досягається завдяки модернізації, дозволяє збільшити обсяги продажу та розширити ринок збуту.

Підвищення конкурентоспроможності продукту і зменшення виробничих витрат сприяє підвищенню рентабельності підприємства, що дає можливість для подальшого розвитку та впровадження нових технологій.

1.3 Висновок

Модернізація апарату деаерації пивоварного суслу є технічно та економічно обґрунтованим рішенням для пивоварних підприємств. Вона дозволяє значно знизити витрати на енергоресурси, покращити якість продукції, зменшити екологічний вплив та підвищити конкурентоспроможність на ринку. Інвестування в нові технології, зокрема мембранні системи та комбіновані методи, є важливим кроком до досягнення сталого розвитку підприємства та підвищення ефективності виробництва.

2. РОЗРОБКА НОВОГО ТЕХНІЧНОГО РІШЕННЯ ОБ'ЄКТУ ДОСЛІДЖЕННЯ.

2.1 Опис запропонованого технологічного рішення.

Для забезпечення високої якості пива та стабільності його смакових характеристик ключовим є мінімізація вмісту розчиненого кисню в пивному суслі. Наявність кисню спричиняє окислювальні процеси, які знижують термін зберігання продукту та впливають на аромат і смак. Пропоноване технологічне рішення передбачає застосування мембранної технології для деаерації сусла в потоці, що забезпечує ефективне видалення кисню та дозволяє виконувати процес у режимі безперервної обробки.

Мембранна деаерація працює на основі спеціальних мембран, через які проходить лише кисень, залишаючи рідину незмінною. Система мембранної деаерації дозволяє усувати кисень із сусла за допомогою інертного газу або вакууму, який створюється по інший бік мембрани. Цей підхід має кілька суттєвих переваг:

- Ефективне видалення кисню: Мембрани дозволяють знизити вміст кисню до мінімального рівня без додаткової хімічної обробки сусла.
- Збереження якості сусла: Завдяки відсутності значного теплового впливу структура сусла залишається стабільною.
- Енергоефективність: Мембранний процес потребує меншої кількості енергії порівняно з іншими методами деаерації, такими як вакуумна дегазація.

Запропоноване рішення передбачає встановлення мембранного апарату в технологічний ланцюг перед етапом ферментації сусла. Такий підхід дозволяє зменшити вміст кисню та стабілізувати смакові

<i>Відповідальна організація</i> НУХТ	<i>Технічне узгодження</i> Якимчук Р.Л.	<i>Вид документа</i> Пояснювальна записка	<i>Статус документа</i>			
<i>Власник документа</i> НУХТ	<i>Розробник документа</i> Фузик Е.Є.	<i>Назва, додаткова назва</i> <i>Розробка нового технічного рішення об'єкту дослідження</i>	230608.KP.15.002 ПЗ			
	<i>Документ затверджено</i> Якимчук М.В.		<i>Інд. змін.</i>	<i>Дата видання</i>	<i>Мова</i> UA	<i>Аркуш</i> 1/5

властивості напою, збільшити його термін зберігання й уникнути впливу небажаних окислювальних процесів.

2.2. Будова апарату

Апарат для мембранної деаерації пивного сусла складається з таких основних елементів:

1. Мембранний модуль: Серцевина апарату, що містить напівпроникні мембрани, які вибірково пропускають кисень, залишаючи інші компоненти сусла. Мембрани виготовлені з матеріалу, стійкого до впливу вологи та хімічних складових сусла.

2. Система подачі інертного газу або вакууму: По інший бік мембрани встановлюється камера, у якій створюється знижений тиск або подається інертний газ (азот, вуглекислий газ) для підтримки процесу витягування кисню з сусла через мембрану.

3. Теплообмінник: Оскільки процес деаерації може відбуватися без нагріву, теплообмінник часто не є обов'язковим. Проте, для підвищення ефективності видалення кисню в деяких випадках може бути корисним підігрів сусла перед подачею до мембранного модуля.

4. Циркуляційний насос: Забезпечує постійний потік сусла через мембранний апарат, підтримуючи рівномірний тиск і швидкість потоку, що дозволяє забезпечити ефективну роботу мембранної системи.

5. Контрольні датчики та автоматика: Система контролює тиск, вміст кисню та потік інертного газу чи вакууму для регулювання параметрів процесу. Це забезпечує високу точність і стабільність усього процесу деаерації.

6. Відвідні трубопроводи: Канали для подачі та відведення сусла з мембранного апарату, які підтримують безперервність процесу.

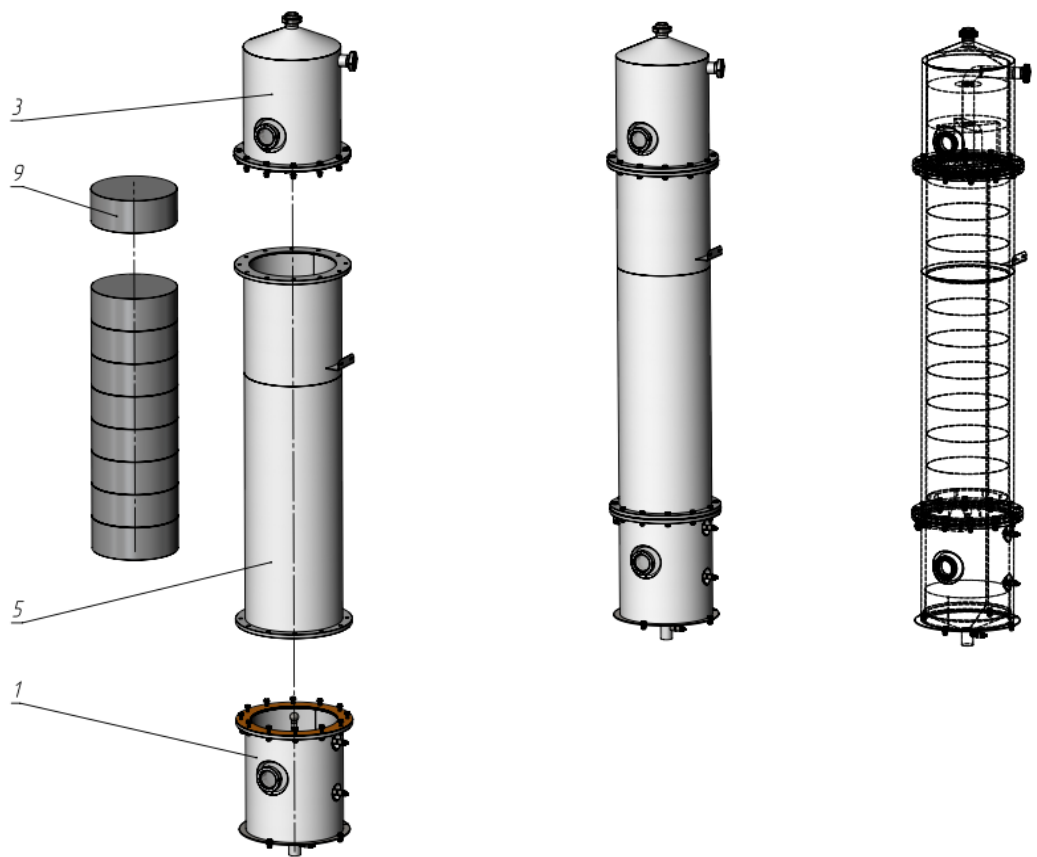


Рис.2.1. Деаераційна колона

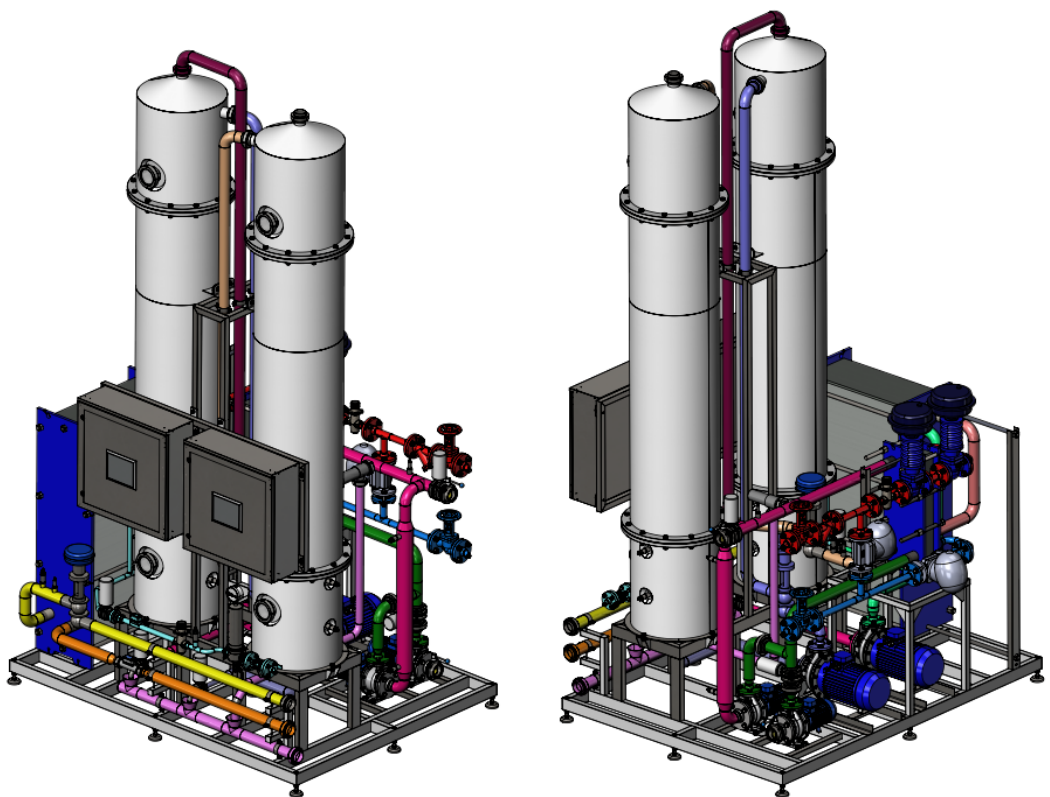


Рис.2.2. Загальний вигляд апарату деаерації

2.3. Принцип роботи

Процес мембранної деаерації базується на вибіркового пропусканні газів через мембрану та складається з таких етапів:

1. подача суслу до мембранного модуля: Сусло подається до апарату з мембранами, через які починається видалення розчиненого кисню. За потреби сусло може попередньо нагріватися у теплообміннику, що дозволяє зменшити розчинність кисню та полегшити його видалення.

2. Видалення кисню через мембрану: У мембранному модулі відбувається процес витягування кисню. Мембрани є напівпроникними — вони пропускають кисень, проте не дають проходити іншим компонентам сусла. На виході з мембрани кисень видаляється за рахунок застосування вакууму або інертного газу. Вакуум сприяє виведенню кисню в газову фазу, а подача азоту чи вуглекислого газу додатково витісняє залишковий кисень.

3. Видалення залишкового кисню: Після проходження крізь мембрану сусло зменшує вміст кисню до мінімального рівня. За потреби залишковий кисень може бути ще раз витіснений інертним газом, щоб забезпечити чистоту сусла перед етапом ферментації.

4. Контроль параметрів: Автоматизована система постійно контролює рівень кисню в суслі, тиск у камері, потік газу або вакууму. Це дозволяє регулювати параметри процесу, щоб підтримувати стабільність деаерації та досягати оптимальних показників.

5. Відведення обробленого сусла: Сусло з мінімальним вмістом кисню спрямовується до наступного етапу — ферментації. Завдяки мембранній деаерації знижується ризик окислювальних процесів, зберігаються смакові та ароматичні властивості пива, а також забезпечується триваліший термін його зберігання.

Мембранна деаерація — це ефективний метод зниження вмісту кисню в суслі. Вона дозволяє підтримувати високу якість продукту та

зменшити ризик негативних змін у процесі ферментації, що сприяє стабільності пива на етапах зберігання та транспортування.

Висновок

Завдяки технічному рішенню забезпечується ефективне збереження тепла і точний контроль за температурою та тиском, що знижує теплові втрати через використання теплової рекуперації. Також система сприяє екологічній безпеці завдяки очищенню викидів, підвищує стабільність якості кінцевого продукту, полегшує процес технічного обслуговування й дозволяє досягти високого рівня автоматизації виробництва.

3. ДОСЛІДНА ЧАСТИНА ТА УЗАГАЛЬНЕННЯ РЕЗУЛЬТАТІВ

Дослідна частина роботи є ключовою ланкою в аналізі впливу модернізації апарату для деаерації сусла на якість готового продукту, технологічні характеристики процесу та економічну ефективність виробництва. Модернізований апарат розроблений для вирішення проблеми високого залишкового рівня кисню у пивному суслі, що негативно впливає на стабільність готового пива, його смакові характеристики та тривалість зберігання.

Для проведення дослідження було створено експериментальну установку, що дозволяє комплексно оцінити всі етапи процесу, від підготовки сусла до завершення бродіння. Основні аспекти роботи полягали у вивченні впливу вдосконаленого технологічного обладнання на:

- ступінь деаерації сусла;
- енергоефективність процесу;
- споживання ресурсів;
- органолептичні та фізико-хімічні показники готового продукту.

Основні напрямки досліджень:

Технологічний аналіз процесу деаерації:

Оцінка змін у технологічному процесі після модернізації апарату дозволила виявити фактори, що сприяють зниженню вмісту кисню. Визначалися оптимальні режими роботи системи, такі як витрати інертного газу, температура сусла та швидкість його проходження через апарат.

Аналіз економічної ефективності:

Було проведено розрахунки економії витрат газу, електроенергії та матеріалів. Результати продемонстрували можливість зниження виробничих витрат до 20% у порівнянні з традиційними системами.

<i>Відповідальна організація</i> НУХТ	<i>Технічне узгодження</i> Якимчук Р.Л.	<i>Вид документа</i> Пояснювальна записка		<i>Статус документа</i>		
<i>Власник документа</i> НУХТ	<i>Розробник документа</i> Фузжк Е.Е.	<i>Назва, додаткова назва</i> Дослідна частина та узагальнення результатів	230608.KP.15.003 ПЗ			
	<i>Документ затверджено</i> Якимчук М.В.		<i>Інд. змін.</i>	<i>Дата видання</i>	<i>Мова</i> UA	<i>Аркуш</i> 1/13

Оцінка впливу на якість пива:

Дослідження показали, що зниження залишкового кисню позитивно впливає на смакові властивості готового продукту, зокрема на його стабільність, аромат і відчуття свіжості. Крім того, пиво, виготовлене за новою технологією, має більш тривалий термін зберігання.

Модернізація апарату включала вдосконалення технологічних компонентів, зокрема розпилювальної камери, теплообмінника та системи подачі інертного газу. Ключовим елементом стала інтеграція автоматизованих систем контролю, які забезпечили безперервний моніторинг основних параметрів процесу та адаптацію роботи апарату до змін у вхідних характеристиках сусла.

Автоматизація дозволила суттєво підвищити продуктивність, оскільки ручне втручання у процес було мінімізовано. Це забезпечило стабільність роботи установки, зменшило ймовірність помилок і сприяло підвищенню повторюваності результатів.

Ключові результати досліджень:

Зменшення залишкового кисню:

Після модернізації рівень залишкового кисню у суслі становив 0,008–0,015 мг/л, що відповідає найвищим стандартам пивоваріння.

Підвищення енергоефективності:

Економія енергоресурсів склала до 18%, що стало можливим завдяки вдосконаленню теплообмінника та зниженню втрат інертного газу.

Поліпшення якості пива:

Органолептичні дослідження показали, що пиво, виготовлене із використанням модернізованого обладнання, має більш виражений аромат, кращу стабільність піни та збалансований смак.

Економічний ефект:

Витрати на виробництво знизилися завдяки оптимізації процесів, що забезпечило швидку окупність модернізації.

Узагальнення отриманих результатів:

Запропонована модернізація апарату для деаерації сусла не тільки покращує технологічні характеристики процесу, але й забезпечує значний економічний ефект. Результати досліджень доводять, що впровадження нової технології є раціональним кроком для підприємств, які прагнуть підвищити якість своєї продукції та знизити виробничі витрати. У подальшому модернізований апарат може бути інтегрований у більш масштабні виробничі лінії з метою підвищення загальної ефективності.

3.1. ОПИС ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЇ УСТАНОВКИ ЧИ ІМІТАЦІЙНОЇ МОДЕЛІ ОБ'ЄКТУ ДОСЛІДЖЕНЬ

Опис експериментальної установки для дослідження процесу бродіння пивного сусла

Експериментальна установка була розроблена для дослідження вдосконаленого процесу деаерації пивного сусла перед бродінням. Базою для створення установки слугував стандартний промисловий апарат, конструкція якого була суттєво доопрацьована з метою підвищення ефективності. Основна увага приділялася модернізації ключових компонентів, що відповідають за взаємодію сусла з інертним газом, контроль температурного режиму та моніторинг параметрів процесу.

Основні компоненти установки:

1. Розпилювальна камера:

Камера була доопрацьована для забезпечення тонкошарового розподілу сусла. Тонкий шар збільшує площу контакту сусла з інертним газом, що дозволяє ефективніше видаляти кисень. Для цього було встановлено спеціальні розпилювальні насадки, які забезпечували рівномірний розподіл рідини незалежно від об'єму, що подається.

2. Модернізований теплообмінник:

Теплообмінник у конструкції виконував роль стабілізатора температурного режиму. Підтримка оптимальної температури сусла є критичною для ефективного видалення кисню. Завдяки модернізації, втрати тепла були зведені до мінімуму, що сприяло зменшенню енерговитрат.

3. Система подачі інертного газу:

Встановлена система подачі азоту включала блок регулювання тиску і витрат, що дозволяло точно дозувати об'єм газу залежно від характеристик сусла та параметрів процесу. Система також була обладнана резервуарами для зберігання газу, що забезпечувало стабільність подачі навіть при змінних умовах.

4. Контрольно-вимірювальні пристрої:

Установка оснащувалася сучасними датчиками для моніторингу параметрів процесу, серед яких:

- рівень залишкового кисню;
- температура сусла на вході та виході з апарату;
- тиск у системі подачі газу;
- витрати азоту та води.

Всі дані передавалися на центральний контролер, що дозволяло здійснювати безперервний моніторинг і регулювання параметрів.

5. Автоматизована система управління:

Інтеграція автоматизованої системи управління на базі мікропроцесорного модуля стала однією з головних переваг установки. Система була запрограмована для адаптивного регулювання режимів роботи залежно від складу сусла, його температури та заданих параметрів деаерації. Це дозволило зменшити вплив людського фактора і підвищити стабільність процесу.

Принцип роботи установки:

Процес деаерації починався з подачі пивного сусла у розпилювальну камеру. Там рідина рівномірно розподілялася за допомогою спеціальних насадок, утворюючи тонкий шар. Одночасно в камеру подавався інертний газ (азот), який контактував із суслим, видаляючи з нього розчинений кисень.

На виході із камери сусло надходило в теплообмінник, де підтримувалася стабільна температура, необхідна для забезпечення ефективності подальших стадій бродіння. Інтегровані контрольно-вимірювальні пристрої постійно фіксували рівень кисню, температуру та витрати ресурсів, передаючи ці дані в реальному часі на мікропроцесорний модуль управління.

Особливості експериментальної установки:

Інноваційна розпилювальна система:

Завдяки зрошувальним насадкам із високою пропускнуою здатністю забезпечувався рівномірний розподіл рідини, що позитивно впливало на якість деаерації.

Мінімізація втрат енергії:

Модернізація теплообмінника дозволила значно знизити теплові втрати, що сприяло підвищенню енергоефективності.

Гнучкість управління:

Завдяки автоматизованій системі управління установка могла адаптуватися до різних умов виробництва, зберігаючи високу ефективність роботи.

Модульність конструкції:

Установка була спроектована таким чином, щоб окремі компоненти можна було замінити або доопрацювати без необхідності повного демонтажу системи.

Експериментальні можливості:

Установка дозволяла тестувати різні режими подачі газу, швидкість потоку сусла, температурні параметри та аналізувати вплив цих змін на рівень деаерації. Завдяки цьому стало можливим не лише оцінити ефективність модернізованого апарату, а й розробити рекомендації для оптимізації процесів на промислових підприємствах.

Висновки щодо експериментальної установки:

Експериментальна установка продемонструвала високу ефективність у видаленні кисню із пивного сусла, зменшивши його рівень до 0,008–0,015 мг/л. Вдосконалені компоненти та автоматизована система управління забезпечили стабільність процесу, зниження енерговитрат та можливість масштабування установки для промислового використання.

3.2. МЕТОДИКА ПРОВЕДЕННЯ ДОСЛІДЖЕНЬ

Методика досліджень була розроблена з урахуванням сучасних вимог до технологічних процесів у пивоварінні. Основна увага приділялася оцінці впливу модернізованого апарату для деаерації пивного сусла на якість готового продукту та ефективність виробничих процесів. Дослідження охоплювали кілька послідовних етапів, кожен із яких був спрямований на отримання максимально достовірних і об'єктивних результатів.

1. Підготовка сусла до обробки:

На цьому етапі здійснювалися підготовчі роботи для забезпечення точності експерименту:

Очищення та попередня фільтрація сусла:

Видалення механічних домішок і частинок дріжджів, що могли вплинути на результати аналізу.

Вимірювання базових параметрів сусла:

1. Вміст розчиненого кисню (визначався за допомогою кисневого сенсора високої точності).

2. Температура сусла перед подачею на деаерацію.

3. Густина сусла, яка впливає на процес деаерації.

Цей етап дозволяв встановити початкові характеристики досліджуваного продукту та забезпечити умови для подальшого коректного порівняння результатів.

2. Налаштування експериментальної установки:

Перед запуском деаераційного процесу проводилося регулювання параметрів роботи апарату:

Регулювання температурного режиму:

Температура у теплообміннику встановлювалася на рівні, оптимальному для процесу деаерації (6–8 °C). Це забезпечувало мінімальну розчинність кисню в суслі та підвищувало ефективність процесу.

Встановлення режимів подачі інертного газу:

Виконувалося калібрування блоку регулювання газу, визначався об'єм подачі азоту відповідно до заданих умов (від 2 до 6 л/хв).

Тестування контрольно-вимірювальних приладів:

Перевірка роботи датчиків і автоматизованої системи управління, щоб гарантувати точність зчитування даних.

3. Процес деаерації:

Основний етап досліджень передбачав видалення кисню з пивного сусла шляхом пропускання через вдосконалений апарат. Для цього виконувалися такі дії:

- **Пропускання сусла через установку:**

Сусло проходило через зону контакту з інертним газом. Параметри процесу змінюються залежно від експериментальної програми:

1. Швидкість потоку сусла.

2. Об'єм газу.

- **Контроль рівня кисню у вихідному продукті:**

На кожному етапі фіксувалися показники рівня залишкового кисню, які зчитувалися за допомогою чутливого кисневого сенсора.

4. Аналіз вихідних показників:

Після завершення деаерації отримане сусло піддавалося всебічному аналізу, зокрема:

- **Органолептичний аналіз пива після завершення бродіння:**

Готове пиво, виготовлене із застосуванням модернізованої установки, оцінювалося за такими показниками, як:

1. Смакові властивості.
2. Аромат.
3. Колір.

- **Вимірювання стабільності піни:**

Для визначення впливу процесу деаерації на піноутворення використовувався метод фотометрії.

- **Аналіз фізико-хімічних властивостей:**

Проводилося вимірювання:

1. Вмісту розчиненого кисню після бродіння.
2. В'язкості та густини готового продукту.

5. Обробка результатів:

На цьому етапі проводився всебічний аналіз отриманих даних:

- **Порівняння результатів:**

Отримані показники деаерації за допомогою модернізованої установки порівнювалися зі стандартними параметрами, отриманими на традиційному обладнанні.

- **Оцінка економічного ефекту:**

На основі зібраних даних оцінювалися:

1. Економія енергоресурсів завдяки зниженню витрат на газ і енергію.
2. Вартість експлуатації модернізованої установки.

3. Загальне підвищення продуктивності.

Методи дослідження:

Для отримання об'єктивних результатів застосовувалися такі методи:

- **Хімічний аналіз:**

Використання колориметрії для визначення концентрації залишкового кисню.

- **Статистична обробка даних:**

Проводився аналіз середніх значень, розрахунок дисперсії та оцінка достовірності результатів.

Особливості методики:

Ретельно розроблена послідовність етапів досліджень дозволила забезпечити високу точність вимірювань і надійність отриманих даних. Завдяки цьому стало можливим не тільки визначити ефективність модернізації, але й розробити рекомендації для впровадження результатів на промислових підприємствах.

3.3. УСТРІЙ ТА ПРИНЦИП РОБОТИ МОДЕРНІЗОВАНОГО ОБ'ЄКТА ПРОЕКТУВАННЯ

Модернізований апарат для деаерації пивного сусла було розроблено з метою підвищення ефективності видалення кисню з сусла, оптимізації витрат ресурсів і покращення якості готового продукту. Структура пристрою та принцип його роботи базуються на впровадженні новітніх технічних рішень та автоматизації процесів.

Структура модернізованого апарату:

Модернізований апарат складається з наступних основних компонентів:

1. **Розпилювальний модуль:**

Основним елементом модуля є розпилювач, який створює тонкий плівковий шар сусла.

Цей модуль забезпечує значне збільшення площі контакту сусла з інертним газом, що сприяє ефективнішому видаленню кисню.

Матеріал, з якого виготовлений розпилювач, стійкий до корозії та впливу хімічно активного середовища, що гарантує тривалий термін експлуатації.

2. Зрошувальні насадки:

Модернізовані насадки розроблені для забезпечення рівномірного розподілу сусла.

Вони мають інноваційну конструкцію, яка дозволяє мінімізувати втрати інертного газу та зменшити утворення бульбашок повітря.

Насадки легко піддаються очищенню, що спрощує технічне обслуговування.

3. Система контролю температури:

Використання вдосконаленого теплообмінника дає змогу підтримувати стабільну температуру сусла на рівні, оптимальному для деаерації.

Теплообмінник працює у взаємодії із системою автоматичного контролю, яка коригує температуру в реальному часі залежно від умов процесу.

4. Система подачі інертного газу:

Інтегрований блок дозування газу дозволяє точно регулювати кількість азоту, що подається в апарат.

Газ подається через спеціальні фільтри, які забезпечують його високу чистоту.

5. Автоматизована система управління:

Основа системи — мікропроцесорний модуль, що забезпечує синхронізацію роботи всіх компонентів апарату.

Функціонал включає контроль подачі інертного газу залежно від поточного рівня кисню в суслі, регулювання температурного режиму, а також моніторинг витрат енергоресурсів.

Дані з усіх сенсорів передаються на центральний пульти управління, що дозволяє оперативно реагувати на будь-які відхилення від заданих параметрів.

Принцип роботи:

Модернізований апарат працює за кількоступною схемою, яка забезпечує високу ефективність процесу:

1. Подача сусла:

Сусло після попередньої фільтрації надходить до апарату через вхідний канал. Фільтрація усуває дрібні частинки та осад, що можуть впливати на якість процесу.

2. Розпилення:

У розпилювальній камері сусло утворює тонкий шар завдяки роботі розпилювального модуля. Це дозволяє максимально збільшити площу контакту з інертним газом.

3. Деаерація:

Через зрошувальні насадки інертний газ (азот) подається у зону контакту з суслом. Газ витісняє кисень із рідини, знижуючи його концентрацію до рівня, нижчого за 0,01 мг/л.

Конструкція насадок забезпечує рівномірний розподіл газу, що мінімізує енергетичні витрати та гарантує стабільний результат.

4. Стабілізація температури:

Сусло проходить через теплообмінник, де підтримується оптимальна температура для подальших етапів виробництва. Стабільність температури запобігає зміні фізико-хімічних властивостей сусла.

5. Виведення обробленого сусла:

Після деаерації сусло подається у вихідний резервуар, де зберігається до початку етапу бродіння.

Інноваційні особливості:

Синхронізація параметрів роботи:

Інтеграція автоматизованої системи управління забезпечує точне налаштування параметрів роботи апарату залежно від складу сусла та заданих характеристик процесу.

Енергоефективність:

Вдосконалена конструкція знижує споживання електроенергії та азоту, що зменшує виробничі витрати.

Підвищена надійність:

Усі компоненти виготовлені з матеріалів, стійких до впливу корозії та високих температур, що забезпечує довговічність апарату та мінімальні витрати на обслуговування.

Результати застосування модернізованого апарату:

Завдяки впровадженню цього рішення вдалося досягти значного підвищення ефективності видалення кисню, зниження витрат на енергоресурси та покращення якості готового продукту. Це дозволяє рекомендувати модернізований апарат для впровадження у промислове виробництво.

3.4. ВИСНОВКИ

Результати дослідження підтверджують ефективність модернізації апарату деаерації пивного суслу.

Основними досягненнями є значне зниження рівня залишкового кисню у суслі до 0,008–0,015 мг/л, що відповідає світовим стандартам, та поліпшення органолептичних властивостей пива, таких як стабільність піни, аромат та гармонійність смаку. Економічний ефект модернізації включає скорочення споживання інертного газу на 10–15% і зниження енергоспоживання на 18%.

Завдяки використанню зносостійких матеріалів та автоматизації процесів вдалося подовжити термін експлуатації обладнання і зменшити витрати на технічне обслуговування на 25%. Екологічні переваги включають ефективне використання ресурсів та зниження впливу на навколишнє середовище.

Економічна обґрунтованість. Розрахунок окупності показав, що впровадження обладнання окупається за 1,5–2 роки завдяки оптимізації витрат на енергію та обслуговування.

Рекомендації для подальших досліджень. Пропонується інтеграція екологічних рішень, таких як використання відновлюваних джерел енергії, та розробка точніших методів моніторингу параметрів процесу. Впровадження нових сенсорів забезпечить додаткову гнучкість і стабільність виробничих процесів.

Висновки. Запропоноване технічне рішення забезпечує підвищення ефективності, якості та екологічної відповідальності виробництва, що підвищує конкурентоспроможність підприємства та відкриває нові перспективи для розвитку галузі.

4. Розрахункова частина

4.1. Розрахунок продуктивності модернізованого обладнання

Гаряча деаерація води вуглекислим газом

$$m_n := 44 \frac{gm}{mol} \quad \text{Молярна маса CO}_2 \quad \eta := 18 \frac{gm}{mol} \quad \text{Молярна маса H}_2\text{O}$$

$$\eta_o := 32 \frac{gm}{mol} \quad \text{Молярна маса O}_2$$

$$\eta_a := 1.997 \frac{kg}{m^3} \quad \text{Густина CO}_2$$

$$m_{o2} := 0.009 \frac{gm}{kg} \quad \text{Вміст кисню в вхідному середовищі}$$

$$x_a := 0.593 \frac{gm}{kg} \quad \text{Розчинність CO}_2 \text{ у воді при температурі 75 град}$$

$$L_1 := 25000 \frac{kg}{hr} \quad \text{Витрата води}$$

$$V_1 := 2 \frac{m^3}{hr} \quad \text{Об'єм подачі CO}_2 \text{ на вході}$$

$$x_{a3oz} := x_a \cdot L_1 = 0.004 \frac{kg}{s} \quad \text{Масова витрата CO}_2 \text{ на розчинення у воді}$$

$$x_{amol} := \frac{x_{a3oz}}{m_n} = 336.932 \frac{mol}{hr} \quad \text{Втрата CO}_2 \text{ на розчинення у воді в молях}$$

$$L := \frac{L_1}{\eta} = (1.389 \cdot 10^6) \frac{mol}{hr} \quad \text{Витрата води в молях}$$

$$X_A := \frac{x_{amol}}{L} = 2.426 \cdot 10^{-4} \quad \text{Мольна доля CO}_2 \text{ яка розчиниться в воді}$$

$$V_{co2} := \frac{x_{a3oz}}{\eta_a} = 7.424 \frac{m^3}{hr} \quad \text{Витрата CO}_2 \text{ на розчинення у воді при температурі 75 град}$$

$$V_{3oz} := V_1 + V_{co2} = 9.424 \frac{m^3}{hr} \quad \text{Загальна витрата CO}_2 \text{ з урахуванням на розчинення у воді}$$

Відповідальна організація НУХТ	Технічне узгодження Якимчук Р.Л.	Вид документа Пояснювальна записка	Статус документа			
Власник документа НУХТ	Розробник документа Фізік Е.Є.	Назва, додаткова назва Розрахункова частина	230608.КР.15.004 ПЗ			
	Документ затверджено Якимчук М.В.		Інд. змін.	Дата видання	Мова UA	Аркуш 1/23

$$M_m := V_1 \cdot \eta_a = 3.994 \frac{kg}{hr}$$

$$T := 75 \text{ } ^\circ\text{C}$$

$$V_{CO_2} \cdot \eta_a = 0.005 \frac{kg}{s}$$

Витрата CO2

Температура проведення процесу

Вхід газу

$$y_{N_1} := 0$$

Мольна доля кисню в газі CO2 на вході, рівна 0.

$$V := \left(\frac{M_m}{m_n} \right) = 90.773 \frac{mol}{hr}$$

Витрата CO2 в молях на вході

Вихід газу

$$V = 90.773 \frac{mol}{hr}$$

Витрата CO2 в молях на вході

$$y_a$$

Мольна доля кисню в газі CO2 на виході, шукане значення

Вхід середовища

$$L_1 = (2.5 \cdot 10^4) \frac{kg}{hr}$$

Витрата води

$$m_o := m_{O_2} \cdot L_1 = 0.225 \frac{kg}{hr}$$

Маса кисню в повному об'ємі води

$$L = (1.389 \cdot 10^6) \frac{mol}{hr}$$

Витрата води в молях

$$X := \frac{m_o}{\eta_o} = 7.031 \frac{mol}{hr}$$

Витрата повітря в молях, яке знаходиться в об'ємі води

$$X_0 := \frac{X}{L} = 5.063 \cdot 10^{-6}$$

Мольна доля кисню який міститься в об'ємі води, що подається на вході

Вихід середовища

$$L = (1.389 \cdot 10^6) \frac{\text{mol}}{\text{hr}}$$

$$X_N := \frac{X_0}{1000} = 5.063 \cdot 10^{-9}$$

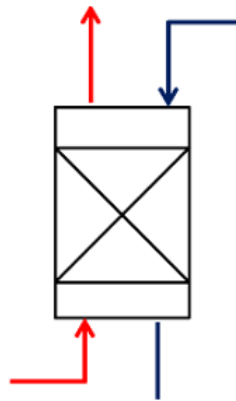
$$X_A = 2.426 \cdot 10^{-4}$$

Витрата води в молях

Мольна доля кисню в середовищі на виході в 1000 разів менше ніж на вході.

Задаємо мольну долю кисню яка має залишитись в середовищі

Мольна доля CO2 яка розчиниться в воді



Рівняння рівноваги

$$Vy_{N1} + Lx_0 = Vy_1 + Lx_N$$

Вихід газу

$$V = 90.773 \frac{\text{mol}}{\text{hr}}$$

y_a

Вхід газу

$$y_{N1} := 0$$

$$V = 90.773 \frac{\text{mol}}{\text{hr}}$$

$$V = 90.773 \frac{\text{mol}}{\text{hr}}$$

$$\bar{V} := 90.773$$

$$P := 1$$

Збільшення або зменшення кількості подачі CO2

$$\bar{V} := V \cdot P = 90.773$$

Концентрація кисню на виході

$$y_a := \frac{V \cdot y_{N1} + L \cdot X_0 - L \cdot X_N}{V} = 0.077$$

$$V \cdot y_{N1} + L \cdot X_0 = 7.032$$

$$V \cdot y_a + L \cdot X_N = 7.032$$

$$\frac{L}{V} \cdot (X_0 - X_N) = 0.077$$

$$\frac{L}{V} = 1.53 \cdot 10^4$$

$$R := 67200$$

Коефіцієнт Генрі для кисню При 75 град. Цельсій

$$q_1 := \frac{X_0}{10} = 5.063 \cdot 10^{-7}$$

$$q_2 := \frac{y_a}{10} = 0.008$$

Вхід середовища

$$L = (1.389 \cdot 10^6) \frac{\text{mol}}{\text{hr}}$$

$$X_0 = 5.063 \cdot 10^{-6}$$

Вихід середовища

$$L = 385.802 \frac{\text{mol}}{\text{s}}$$

$$X_N = 5.063 \cdot 10^{-9}$$

$$X_A = 2.426 \cdot 10^{-4}$$

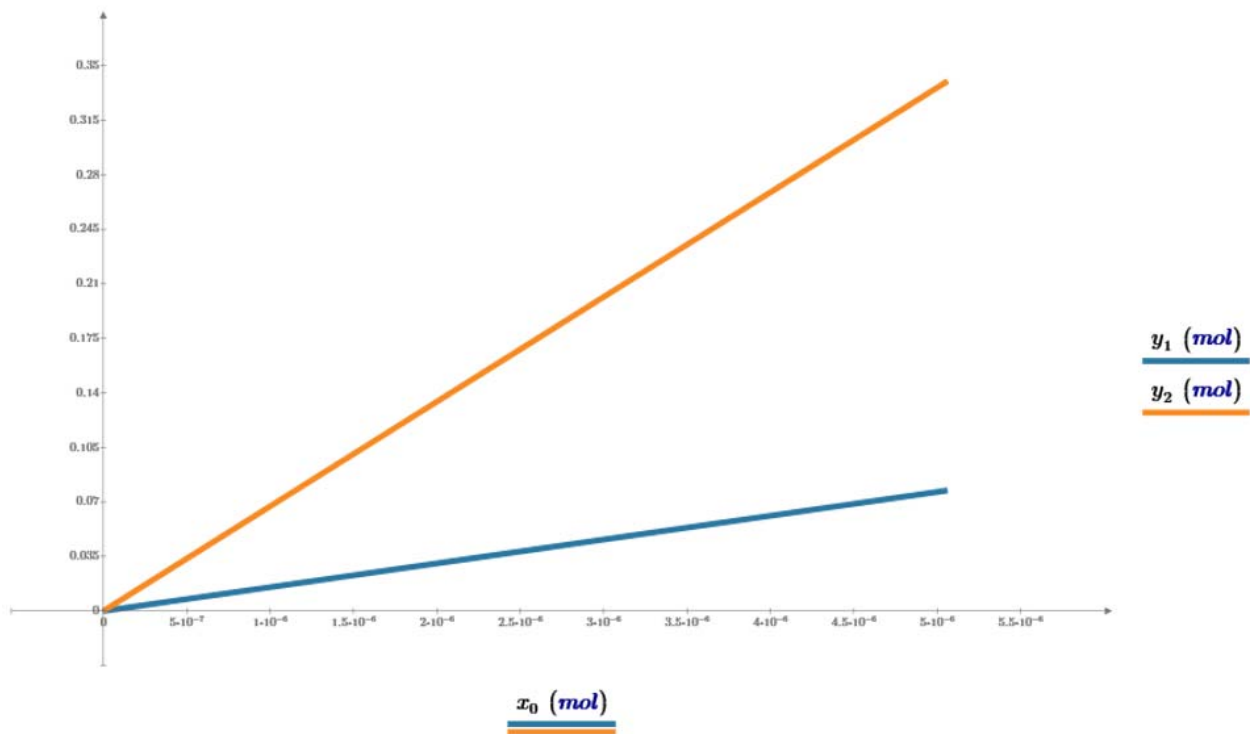
x_0 (mol)	y_1 (mol)	y_2 (mol)
0	0	0
q_1	q_2	$q_1 \cdot R$
$2 \cdot q_1$	$2 \cdot q_2$	$2 \cdot q_1 \cdot R$
$3 \cdot q_1$	$3 \cdot q_2$	$3 \cdot q_1 \cdot R$
$4 \cdot q_1$	$4 \cdot q_2$	$4 \cdot q_1 \cdot R$
$5 \cdot q_1$	$5 \cdot q_2$	$5 \cdot q_1 \cdot R$
$6 \cdot q_1$	$6 \cdot q_2$	$6 \cdot q_1 \cdot R$
$7 \cdot q_1$	$7 \cdot q_2$	$7 \cdot q_1 \cdot R$
$8 \cdot q_1$	$8 \cdot q_2$	$8 \cdot q_1 \cdot R$
$9 \cdot q_1$	$9 \cdot q_2$	$9 \cdot q_1 \cdot R$
$10 \cdot q_1$	$10 \cdot q_2$	$10 \cdot q_1 \cdot R$

x_0 - молярна доля кисню у воді на вході

y_1 - Молярна доля в газі на виході з установки

y_2 - Лінія рівноваги для температури 75 град.

$$x_0 = \begin{bmatrix} 0 \\ 5.063 \cdot 10^{-7} \\ 1.013 \cdot 10^{-6} \\ 1.519 \cdot 10^{-6} \\ 2.025 \cdot 10^{-6} \\ 2.531 \cdot 10^{-6} \\ 3.038 \cdot 10^{-6} \\ 3.544 \cdot 10^{-6} \\ 4.05 \cdot 10^{-6} \\ 4.556 \cdot 10^{-6} \\ 5.063 \cdot 10^{-6} \end{bmatrix} \text{ mol} \quad y_1 = \begin{bmatrix} 0 \\ 0.008 \\ 0.015 \\ 0.023 \\ 0.031 \\ 0.039 \\ 0.046 \\ 0.054 \\ 0.062 \\ 0.07 \\ 0.077 \end{bmatrix} \text{ mol} \quad y_2 = \begin{bmatrix} 0 \\ 0.034 \\ 0.068 \\ 0.102 \\ 0.136 \\ 0.17 \\ 0.204 \\ 0.238 \\ 0.272 \\ 0.306 \\ 0.34 \end{bmatrix} \text{ mol}$$



Холодна деаерація води вуглекислим газом

$$x_a := 2.299 \frac{gm}{kg}$$

Розчинність CO2 у воді при температурі 10 град

$$x_{a302} := x_a \cdot L_1 = 57.475 \frac{kg}{hr}$$

Масова витрата CO2 на розчинення у воді

$$x_{amol} := \frac{x_{a302}}{m_n} = (1.306 \cdot 10^3) \frac{mol}{hr}$$

Втрата CO2 на розчинення у воді в молях

$$X_A := \frac{x_{amol}}{L} = (9.404 \cdot 10^{-4}) \frac{mol}{hr}$$

Мольна доля CO2 яка розчиниться в воді

$$V_{co2} := \frac{x_{a302}}{\eta_a} = 28.781 \frac{m^3}{hr}$$

Витрата CO2 на розчинення у воді при температурі 10 град

$$V_{302} := V_1 + V_{co2} = 30.781 \frac{m^3}{hr}$$

Загальна витрата CO2 з урахуванням на розчинення у воді при 10 град

$$R := 32900$$

Коефіцієнт Генрі для CO2 При 10 град. цельсій

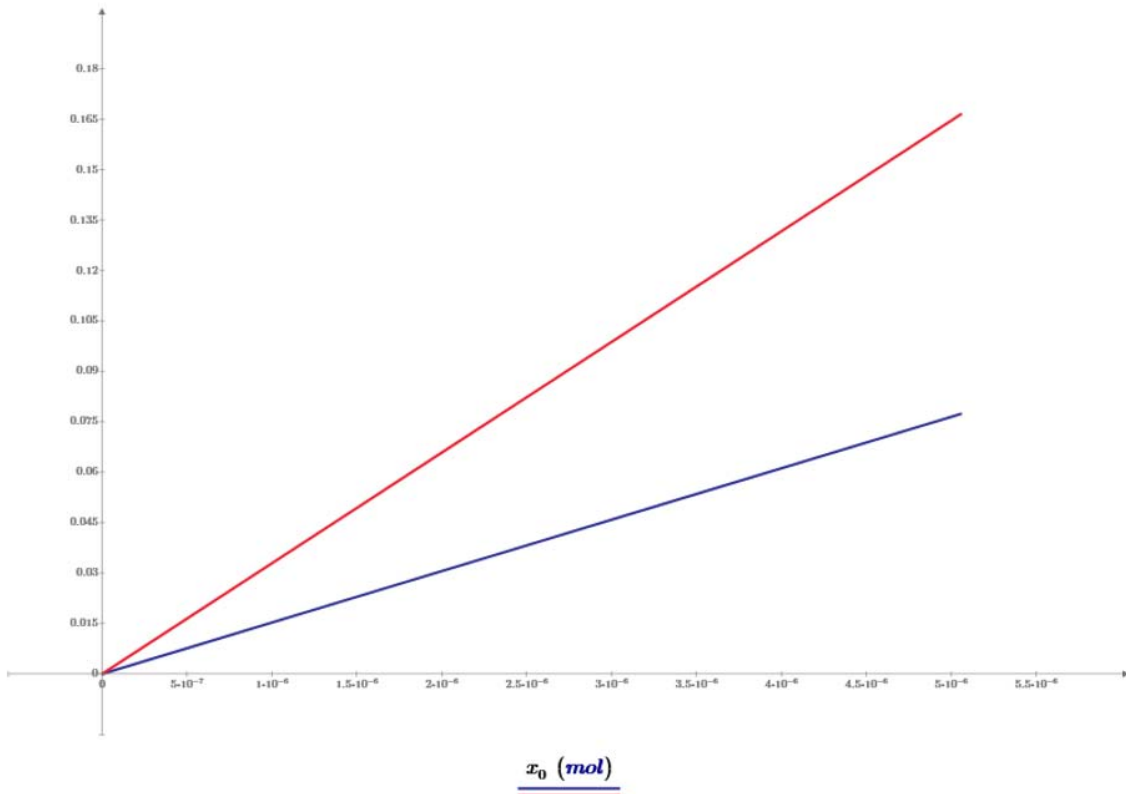
$$q_1 = 5.063 \cdot 10^{-7}$$

$$q_2 = 0.008$$

$$\begin{array}{l}
 y_3 \\
 \hline
 (mol) \\
 0 \\
 q_1 \cdot R \\
 2 \cdot q_1 \cdot R \\
 3 \cdot q_1 \cdot R \\
 4 \cdot q_1 \cdot R \\
 5 \cdot q_1 \cdot R \\
 6 \cdot q_1 \cdot R \\
 7 \cdot q_1 \cdot R \\
 8 \cdot q_1 \cdot R \\
 9 \cdot q_1 \cdot R \\
 10 \cdot q_1 \cdot R
 \end{array}
 y_3 = \begin{bmatrix} 0 \\ 0.017 \\ 0.033 \\ 0.05 \\ 0.067 \\ 0.083 \\ 0.1 \\ 0.117 \\ 0.133 \\ 0.15 \\ 0.167 \end{bmatrix} mol$$

Лінія рівноваги для температури процесу 10 град.

$$V_{302} \cdot \eta_a = 0.017 \frac{kg}{s}$$



Видалення O2 з води за допомогою азоту

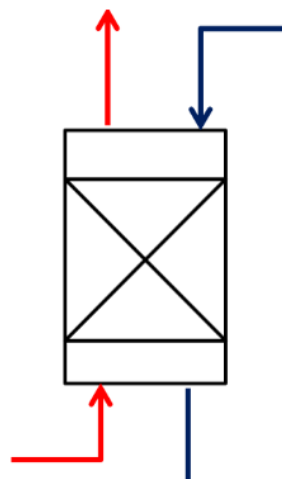
$m_n := 28.015 \frac{gm}{mol}$ Молярна маса Азоту $m_{o_2} := 0.009 \frac{gm}{kg}$ Вміст кисню в вхідному середовищі
 $\eta := 18 \frac{gm}{mol}$ Молярна маса H2O $V := 25000 \text{ kg}$
 $\eta_o := 32 \frac{gm}{mol}$ Молярна маса O2 $m_o := m_{o_2} \cdot V = 0.225 \text{ kg}$
 $\eta_a := 1.1649 \frac{kg}{m^3}$ Густина Азоту

Вихід газу
 y_1 - значення розрах.

Вхід газу

$V_1 := 25 \frac{m^3}{hr}$
 $M_m := V_1 \cdot \eta_a = (2.912 \cdot 10^4) \frac{gm}{hr}$
 $\bar{V} := \left(\frac{M_m}{m_n} \right) = (1.04 \cdot 10^3) \frac{mol}{hr}$

$y_{N_1} := 0$



Рівняння рівноваги

$$V y_{N_{11}} + L x_o = V y_1 + L x_N \quad (8.12)$$

Вхід середовища

$L_1 := 25000 \frac{kg}{hr}$
 $L := \frac{L_1}{\eta} = (1.389 \cdot 10^6) \frac{mol}{hr}$

$X := \frac{m_o}{\eta_o} = 7.031 \text{ mol}$

$X_o := \frac{X}{L} = (5.063 \cdot 10^{-6}) \text{ hr}$

Вихід середовища

$L = (1.389 \cdot 10^6) \frac{mol}{hr}$

$X_N := \frac{X_o}{1000} = (5.063 \cdot 10^{-9}) \text{ hr}$

$$V = (1.04 \cdot 10^3) \frac{\text{mol}}{\text{hr}} \quad L = (1.389 \cdot 10^6) \frac{\text{mol}}{\text{hr}} \quad X_0 = (5.063 \cdot 10^{-6}) \text{ hr} \quad X_N = (5.063 \cdot 10^{-9}) \text{ hr}$$

$$\bar{V} := 1.04 \cdot 10^3 \quad \bar{L} := 1.389 \cdot 10^6 \quad \bar{X}_0 := 5.063 \cdot 10^{-6} \quad \bar{X}_N := 5.063 \cdot 10^{-9}$$

$P := 1$ Збільшення або зменшення кількості подачі Азоту

$$\bar{V} := V \cdot P = 1.04 \cdot 10^3$$

$$y_1 := \frac{V \cdot y_{N1} + L \cdot X_0 - L \cdot X_N}{V} = 0.007 \quad V \cdot y_{N1} + L \cdot X_0 = 7.033 \quad V \cdot y_1 + L \cdot X_N = 7.033$$

$$V = 1.04 \cdot 10^3 \quad y_{N1} = 0$$

$$L = 1.389 \cdot 10^6 \quad X_0 = 5.063 \cdot 10^{-6} \quad X_N = 5.063 \cdot 10^{-9}$$

Y_1 Лінія рівноваги для коефіцієнта Генрі розрахункового

При 20 град. Цельсій

Y_2 Лінія рівноваги для коефіцієнта Генрі [Journal of Physical and Chemical](#)

$$R_{Y1} := 41100 \quad R_{Y2} := 2.5 \cdot 10^5$$

Y_3 Лінія рівноваги для коефіцієнта Генрі розрахункового

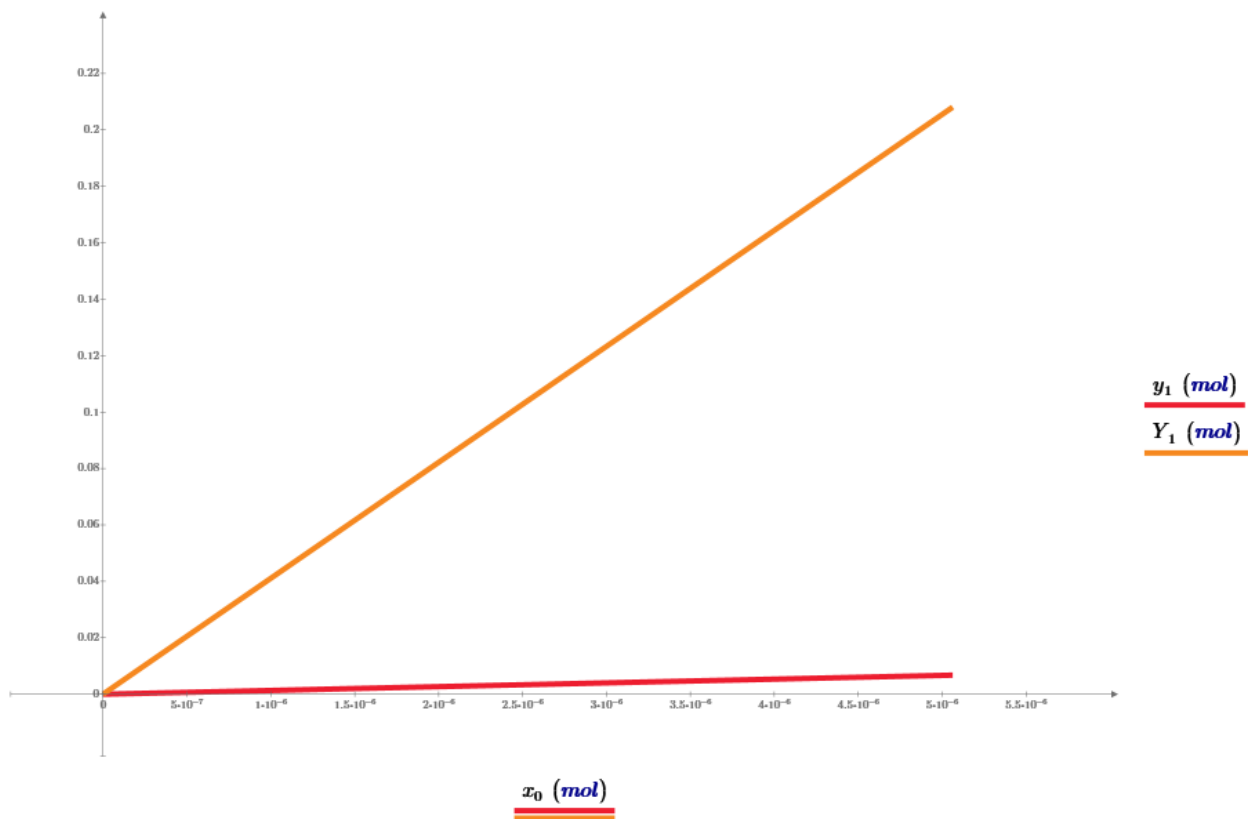
При 75 град. Цельсій

Y_4 Лінія рівноваги для коефіцієнта Генрі [Journal of Physical and Chemical](#)

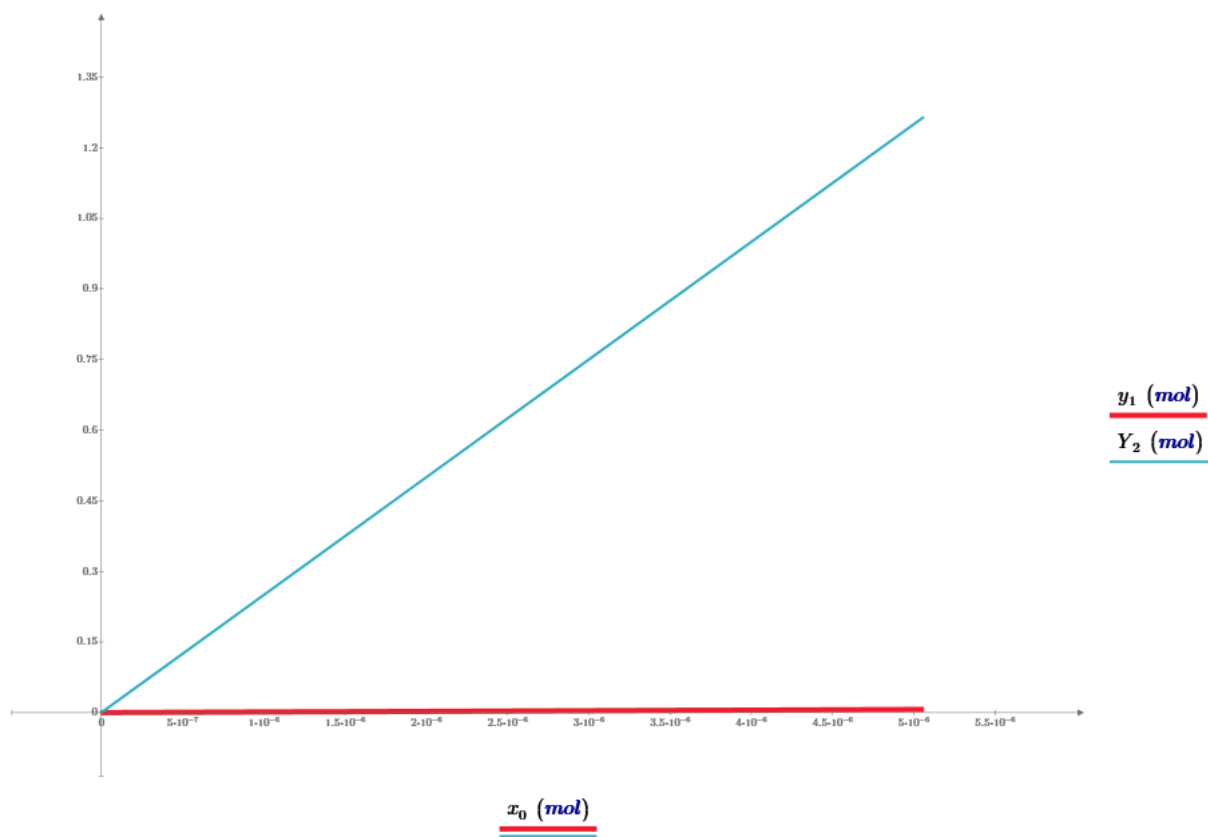
$$R_{Y3} := 1.03 \cdot 10^5 \quad R_{Y4} := 1.5 \cdot 10^5$$

$$q_1 := \frac{X_0}{10} = 5.063 \cdot 10^{-7} \quad q_2 := \frac{y_1}{10} = 6.755 \cdot 10^{-4}$$

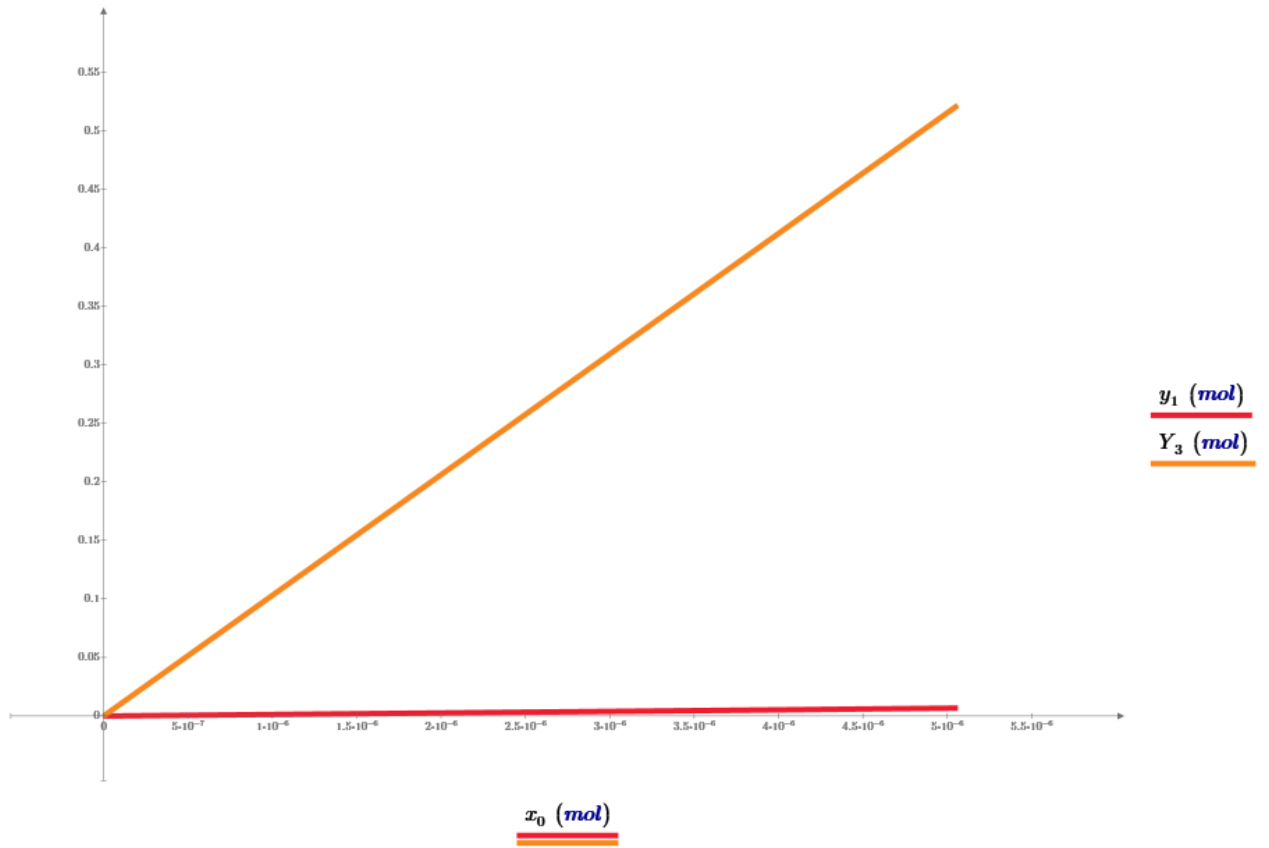
x_0 (mol)	y_1 (mol)	Y_1 (mol)	Y_2 (mol)				
0	0	0	0	$x_0 = \begin{bmatrix} 0 \\ 5.063 \cdot 10^{-7} \\ 1.013 \cdot 10^{-6} \\ 1.519 \cdot 10^{-6} \\ 2.025 \cdot 10^{-6} \\ 2.532 \cdot 10^{-6} \\ 3.038 \cdot 10^{-6} \\ 3.544 \cdot 10^{-6} \\ 4.05 \cdot 10^{-6} \\ 4.557 \cdot 10^{-6} \\ 5.063 \cdot 10^{-6} \end{bmatrix} \text{ mol}$	$y_1 = \begin{bmatrix} 0 \\ 6.755 \cdot 10^{-4} \\ 0.001 \\ 0.002 \\ 0.003 \\ 0.003 \\ 0.004 \\ 0.005 \\ 0.005 \\ 0.006 \\ 0.007 \end{bmatrix} \text{ mol}$	$m_1 = \begin{bmatrix} 0 \\ 0.021 \\ 0.042 \\ 0.062 \\ 0.083 \\ 0.104 \\ 0.125 \\ 0.146 \\ 0.166 \\ 0.187 \\ 0.208 \end{bmatrix} \text{ mol}$	$Y_2 = \begin{bmatrix} 0 \\ 0.127 \\ 0.253 \\ 0.38 \\ 0.506 \\ 0.633 \\ 0.759 \\ 0.886 \\ 1.013 \\ 1.139 \\ 1.266 \end{bmatrix} \text{ mol}$
q_1	q_2	$q_1 \cdot R_{Y1}$	$q_1 \cdot R_{Y2}$				
$2 \cdot q_1$	$2 \cdot q_2$	$2 \cdot q_1 \cdot R_{Y1}$	$2 \cdot q_1 \cdot R_{Y2}$				
$3 \cdot q_1$	$3 \cdot q_2$	$3 \cdot q_1 \cdot R_{Y1}$	$3 \cdot q_1 \cdot R_{Y2}$				
$4 \cdot q_1$	$4 \cdot q_2$	$4 \cdot q_1 \cdot R_{Y1}$	$4 \cdot q_1 \cdot R_{Y2}$				
$5 \cdot q_1$	$5 \cdot q_2$	$5 \cdot q_1 \cdot R_{Y1}$	$5 \cdot q_1 \cdot R_{Y2}$				
$6 \cdot q_1$	$6 \cdot q_2$	$6 \cdot q_1 \cdot R_{Y1}$	$6 \cdot q_1 \cdot R_{Y2}$				
$7 \cdot q_1$	$7 \cdot q_2$	$7 \cdot q_1 \cdot R_{Y1}$	$7 \cdot q_1 \cdot R_{Y2}$				
$8 \cdot q_1$	$8 \cdot q_2$	$8 \cdot q_1 \cdot R_{Y1}$	$8 \cdot q_1 \cdot R_{Y2}$				
$9 \cdot q_1$	$9 \cdot q_2$	$9 \cdot q_1 \cdot R_{Y1}$	$9 \cdot q_1 \cdot R_{Y2}$				
$10 \cdot q_1$	$10 \cdot q_2$	$10 \cdot q_1 \cdot R_{Y1}$	$10 \cdot q_1 \cdot R_{Y2}$	$Y_3 = \begin{bmatrix} 0 \\ 0.052 \\ 0.104 \\ 0.156 \\ 0.209 \\ 0.261 \\ 0.313 \\ 0.365 \\ 0.417 \\ 0.469 \\ 0.521 \end{bmatrix} \text{ mol}$	$Y_4 = \begin{bmatrix} 0 \\ 0.076 \\ 0.152 \\ 0.228 \\ 0.304 \\ 0.38 \\ 0.456 \\ 0.532 \\ 0.608 \\ 0.684 \\ 0.759 \end{bmatrix} \text{ mol}$		
Y_3	Y_4						
0	0						
$q_1 \cdot R_{Y3}$	$q_1 \cdot R_{Y4}$						
$2 \cdot q_1 \cdot R_{Y3}$	$2 \cdot q_1 \cdot R_{Y4}$						
$3 \cdot q_1 \cdot R_{Y3}$	$3 \cdot q_1 \cdot R_{Y4}$						
$4 \cdot q_1 \cdot R_{Y3}$	$4 \cdot q_1 \cdot R_{Y4}$						
$5 \cdot q_1 \cdot R_{Y3}$	$5 \cdot q_1 \cdot R_{Y4}$						
$6 \cdot q_1 \cdot R_{Y3}$	$6 \cdot q_1 \cdot R_{Y4}$						
$7 \cdot q_1 \cdot R_{Y3}$	$7 \cdot q_1 \cdot R_{Y4}$						
$8 \cdot q_1 \cdot R_{Y3}$	$8 \cdot q_1 \cdot R_{Y4}$						
$9 \cdot q_1 \cdot R_{Y3}$	$9 \cdot q_1 \cdot R_{Y4}$						
$10 \cdot q_1 \cdot R_{Y3}$	$10 \cdot q_1 \cdot R_{Y4}$						



Y_1 Лінія рівноваги для коефіцієнта Генрі розрахункового При 20 град. Цельсій

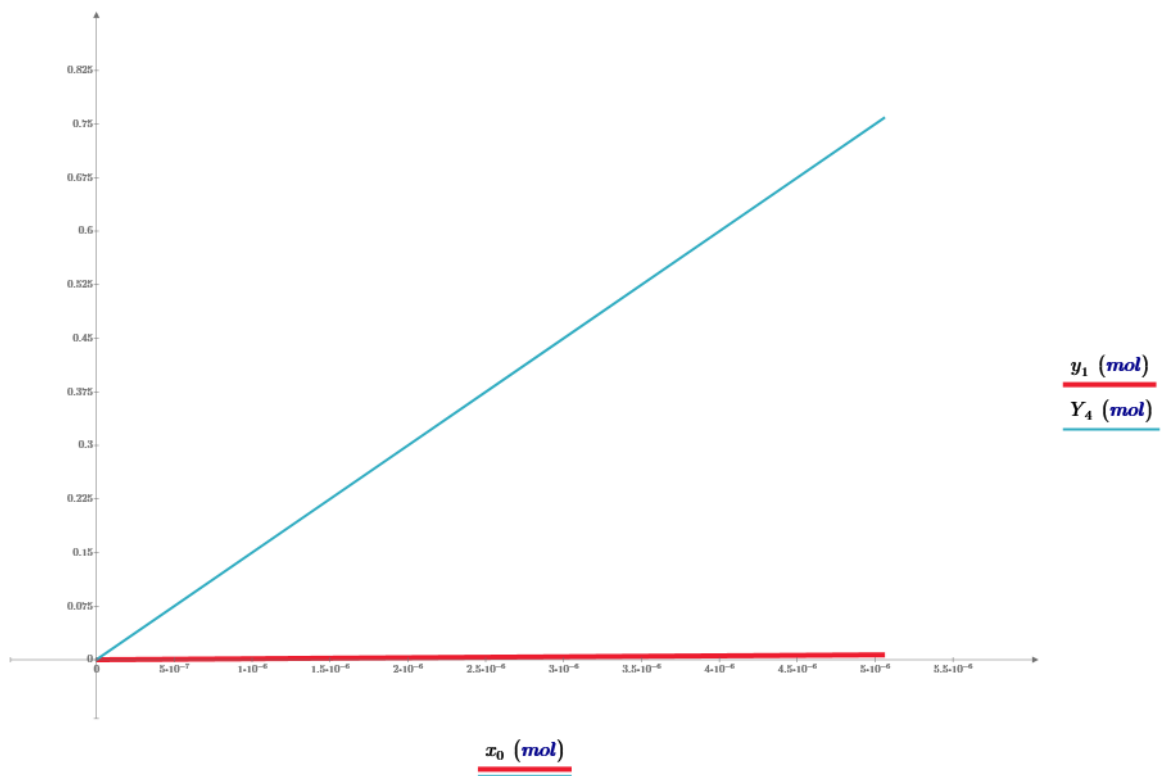


Y_2 Лінія рівноваги для коефіцієнта Генрі ~~Journal of Physical and Chemical~~ При 20 град. Цельсій



Y_3 Лінія рівноваги для коефіцієнта Генрі розрахункового

При 75 град. Цельсій



Y_4 Лінія рівноваги для коефіцієнта Генрі Journal of Physical and Chemical

При 75 град. Цельсій

Розрахунок діаметру колони

Separation Process Engineering P H I L L I P C. WA N K AT - Chapter 12

$r := 0.25 \text{ m}$	$\bar{r} := 0.25$	Радіус колони прийнятий
$S := \pi \cdot r^2 = 0.196$	$\bar{S} := 0.196$	Площа поперечного перерізу колони
$V_1 = (5.556 \cdot 10^{-4}) \frac{\text{m}^3}{\text{s}}$	$\bar{V}_1 := 0.006$	Розхід газу

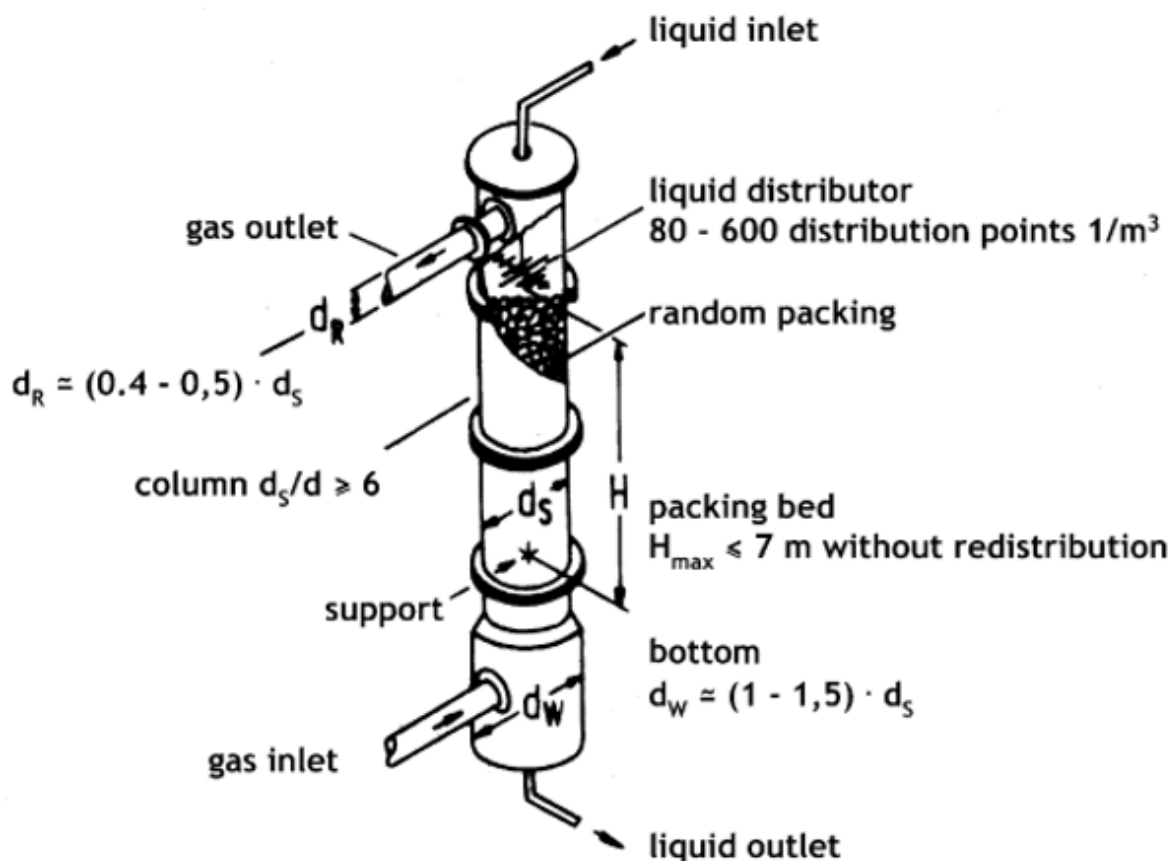
$v := \frac{V_1}{S} = 0.031$		Швидкість газу
------------------------------	--	----------------

$V = 90.773$	$\bar{V} := 90.773 \frac{\text{mol}}{\text{hr}} = 0.025 \frac{\text{mol}}{\text{s}}$	$\bar{V} := 0.025$
--------------	--	--------------------

$m_n = 44 \frac{\text{gm}}{\text{mol}}$	$m_{\text{CO}_2} := 44$	
---	-------------------------	--

$A_c := \frac{V}{m_{\text{CO}_2} \cdot v} = 0.019$	Площа поперечного перерізу колони	$D := \sqrt{4 \cdot \frac{A_c}{\pi}} = 0.154$	Діаметр колони
--	-----------------------------------	---	----------------

Швидкість затоплення для структурованої насадки 250 Y



Розрахунок механізму затоплення

$$\lambda_0 = \left(\frac{u_L}{u_V} \right)_{Fl}$$

$$\eta_{CO_2} := 44 \frac{gm}{mol}$$

Молярна маса CO2

$$\eta_{H_2O} := 18 \frac{gm}{mol}$$

Молярна маса H2O

$$\eta_a := 32 \frac{gm}{mol}$$

Молярна маса O2

$$x_a := 2.299 \frac{gm}{kg}$$

Розчинність CO2 у воді при температурі 10 град

$$\rho_z := 1.997 \frac{kg}{m^3}$$

Густина CO2

$$\rho_s := 995 \frac{kg}{m^3}$$

Густина води

$$\dot{L} := 25000 \frac{kg}{hr}$$

Витрата води

$$V_1 := 2 \frac{m^3}{hr}$$

Об'єм подачі CO2 на вході

$$V_L := 25 \frac{m^3}{hr}$$

Витрата води об'ємна

$$x_{aCO_2} := x_a \cdot L_1 = 57.475 \frac{kg}{hr}$$

Масова витрата CO2 на розчинення у воді

$$V_{CO_2} := \frac{x_{aCO_2}}{\eta_a} = 28.781 \frac{m^3}{hr}$$

Витрата CO2 на розчинення у воді при температурі 10 град

$$V_V := V_1 + V_{CO_2} = 30.781 \frac{m^3}{hr}$$

Загальна витрата CO2 з урахуванням на розчинення у воді при 10 град

$$\dot{V} := V_V \cdot \rho_z = 61.469 \frac{\text{kg}}{\text{hr}}$$

Загальна масова витрата CO₂ з урахуванням на розчинення у воді при 10 град

$$V_{Lm} := \frac{\eta_{\text{CO}_2}}{\rho_s} = (1.809 \cdot 10^{-5}) \frac{\text{m}^3}{\text{mol}}$$

Молярний об'єм води

$$V_{Vm} := \frac{\eta_{\text{CO}_2}}{\rho_z} = 0.022 \frac{\text{m}^3}{\text{mol}}$$

Молярний об'єм CO₂

$$n_L := \frac{25000 \text{ kg}}{18 \cdot 10^{-3} \frac{\text{kg}}{\text{mol}}} = (1.389 \cdot 10^6) \text{ mol}$$

Кількість речовини для води

$$n_V := \frac{61.469 \text{ kg}}{44 \cdot 10^{-3} \frac{\text{kg}}{\text{mol}}} = (1.397 \cdot 10^3) \text{ mol}$$

Кількість речовини для CO₂

$$C_{Fl} = C_{Fl,0} \cdot \cos \alpha \cdot \psi_{Fl}^{-1/6} = 0.80 \cdot \cos \alpha \cdot \psi_{Fl}^{-1/6}$$

where:

$$C_{Fl,0} = 0.800 \text{ for flow channels with } \alpha = 0^\circ.$$

$$C_{Fl,0} = 0.693 \text{ for flow channels with } \alpha = 30^\circ$$

$$C_{Fl,0} = 0.566 \text{ for flow channels with } \alpha = 45^\circ.$$

Різні формули розрахунку механізму затоплення

1.) Співвідношення масових витрат фаз до густини

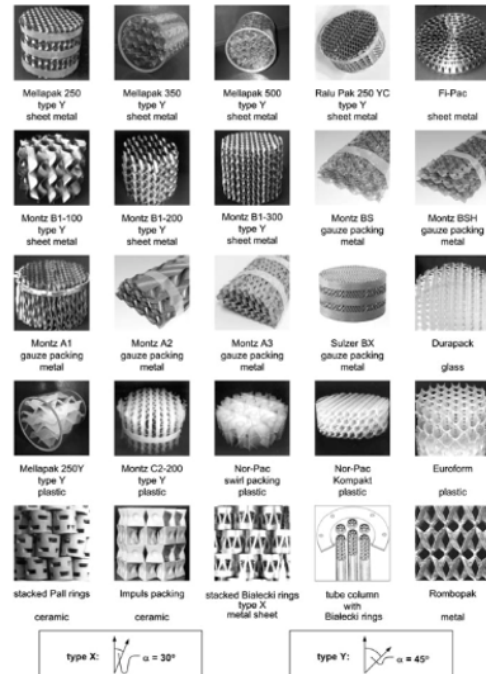
$$\lambda_0 := \frac{L \cdot \rho_z}{\rho_s \cdot V} = 0.816$$

2.) Співвідношення об'ємних витрат фаз

$$\lambda_0 := \frac{V_L}{V_V} = 0.812$$

3.) Співвідношення молярних об'ємів фаз

$$\lambda_0 := \frac{V_{Lm} \cdot n_L}{V_{Vm} \cdot n_V} = 0.816$$



Вибір універсальної константи точки затоплення
Розглядаємо структуровану насадку Y250

$C_{F1,0}$ Дане значення можна підібрати у таблиці 6.1a залежно від типу насадки
Для насадки типу Y250 становить 0,565

$\alpha := 45^\circ$ Кут потокового каналу в наповненому шарі

$\epsilon_1 := 0.96 \frac{m^3}{m^3}$ Void volume

ψ_{F1} - resistance coefficient for single-phase flow of gas phase at flooding point

коефіцієнт опору для однофазного потоку газової фази при точці затоплення (Таб. 6-1c)

$\psi_{F1} := 0.888$

$d_s := 0.15 \text{ m}$ Діаметр колони, табличне значення 6-1c

$d_T := 1.75 \cdot 10^{-3}$ Діаметр краплі, acc. to Sauter

$a_p := 250 \frac{m^2}{m^3}$ геометрична площа поверхні упаковки на одиницю об'єму $m^2 m^{-3}$

$G := 320 \frac{kg}{m^3}$ питома вага упаковки на одиницю об'єму

$d_p := 6 \cdot \frac{1 - \epsilon_1}{a_p} = (9.6 \cdot 10^{-4}) \text{ m}$ Діаметр частинок

$a_p = 250 \frac{1}{m}$ Геометрична площа поверхні упаковки на одиницю об'єму

Table 6-1c. (continued)

Structured packing	Type	d_s [m]	a [$m^2 m^{-3}$]	ϵ [$m^3 m^{-3}$]	G [kg/m^3]	ψ_{F1}		$\psi_{F1,m}$ (c)	$C_{F1,0}$ [-]	μ -factor [-]	φ -factor [-]		
						(a)						(b)	
						$Re_V < 2100$						$Re_V \geq 2100$	
		K_1	K_2	K_3	K_4								
Mellapak metal sheet by Sulzer	250 Y	0.15	250	0.960	320	11.42	-0.321	2.710	-0.133	0.888	0.565	0.152	0.716
	250 Y	0.22	250	0.960	320	8.19	-0.321	1.936	-0.133	0.630	0.566	0.091	0.816
	125 Y	1.00	125	0.985	120	5.76	-0.321	1.366	-0.133	0.448	0.566	-	0.865
	125 X	1.00	125	0.985	120	4.40	-0.321	1.044	-0.133	0.342	0.693	-	0.899
	250 Y	1.00	250	0.975	200	6.50	-0.321	1.537	-0.133	0.504	0.566	-	0.852
	250 X	1.00	250	0.980	160	2.60	-0.321	0.618	-0.133	0.202	0.693	-	0.940
	350 Y	1.00	350	0.965	280	5.76	-0.321	1.365	-0.133	0.448	0.566	-	0.868
	350 X	1.00	350	0.965	280	2.60	-0.321	0.618	-0.133	0.202	0.693	-	0.940
	500 Y	1.00	500	0.955	360	5.76	-0.321	1.365	-0.133	0.448	0.565	-	0.868
	500 X	1.00	500	0.955	360	2.60	-0.321	0.618	-0.133	0.202	0.693	-	0.940
Mellapak plastic	250 Y (PP)	0.30	250	0.955	40.5	1.62	-0.13	1.000	-0.069	0.564	0.566	-	0.834

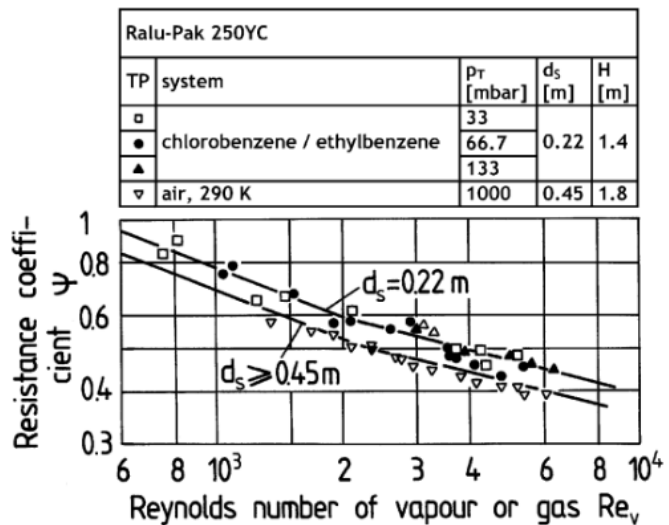
Δp

Падіння тиску зрошувального шару (pressure drop of irrigated packed bed)

 $\Delta p/H$

Падіння тиску зрошуваного шару на 1 м. насадки

Figure 3-11. Resistance coefficient ψ as function of Reynolds number of vapour or gas Re_v , valid for slit Ralu-Pak 250 YC made of sheet metal, produced by Raschig



Based on Eqs. (4-48), (4-55) and (4-56), the pressure drop of irrigated random and structured packings $\Delta p/H$ is therefore given as:

$$\frac{\Delta p}{H} = \psi \cdot \frac{1 - \varepsilon}{\varepsilon^3} \cdot \frac{F_V^2}{d_p \cdot K} \cdot \left[1 - \frac{0.8562}{\varepsilon} \cdot Fr_L^{1/3} \right]^{-5} \quad [\text{Pam}^{-1}], \quad (4-57)$$

which, following a simple conversion, leads to Eq. (4-58):

$$\frac{\Delta p}{H} = \psi \cdot \frac{1 - \varepsilon}{\varepsilon^3} \cdot \frac{F_V^2}{d_p \cdot K} \cdot \left[1 - \frac{0.4}{\varepsilon} \cdot a^{1/3} \cdot u_L^{2/3} \right]^{-5} \quad [\text{Pam}^{-1}]. \quad (4-58)$$

ψ – resistance coefficient for single-phase flow (vapour or gas flow) through packed bed, see Eq. (3-8)

$$Re_v = \frac{u_v \cdot d_p}{(1 - \varepsilon) \cdot \nu_v} = \frac{6 \cdot u_v}{a \cdot \nu_v} = \frac{6 \cdot 7.220 \cdot 0.257}{500 \cdot 7.14 \cdot 10^{-6}} = 3116.8$$

– the numerical value of the Reynolds number of the gas phase Re_v which is calculated using Eq. (3-10):

$$Re_v = \frac{u_v \cdot d_p}{(1 - \varepsilon) \cdot \nu_v} \cdot K$$

Якщо відома геометрична площа поверхні упаковки на одиницю об'єму та Void volume то можна обчислити коефіцієнт опору для однофазного потоку.

$$K = \left(1 + \frac{4}{d_s \cdot a}\right)^{-1} \text{ the wall factor } K$$

The resistance coefficient ψ for a given packed bed, whose packing-specific geometric data a and ε is known, can be determined for any given experimental data $\Delta p_0/H$ and factor F_V using the transposed Eq. (3-8):

$$\psi = \frac{d_p \cdot K \cdot \varepsilon^3}{1 - \varepsilon} \cdot \frac{\left[\frac{\Delta p_0}{H}\right]}{F_V^2} \quad (3-11)$$

$$K := \left(1 + \frac{4}{d_s \cdot a_p}\right) = 1.107$$

$$\psi := \frac{d_p \cdot K \cdot \varepsilon_1^3}{1 - \varepsilon_1} = 0.023 \text{ m}$$

$$F_V \quad (\text{m/s}) \sqrt{\text{kg/m}^3} \quad \text{gas or vapour capacity factor}$$

$$F_V := 2.6$$

$$U_L := \frac{V}{0.52 \cdot \frac{\pi}{4} \cdot \rho_s \cdot 3600} = (1.167 \cdot 10^{-8}) \frac{\text{m}^3}{\text{s}}$$

$$F_{RL} := \frac{U_L^2 \cdot a_p}{9.81} = (3.472 \cdot 10^{-15}) \frac{\text{m}^5}{\text{s}^2} \quad \boxed{F_{RL}} := 3.472 \cdot 10^{-15}$$

$$\Delta p := \psi \cdot \frac{1 - \varepsilon_1}{\varepsilon_1^3} \cdot \frac{F_V^2}{d_p} \cdot \left(1 - \frac{0.8562}{\varepsilon_1} \cdot F_{RL}^{\frac{1}{3}}\right)^{-5} = 7.482$$

$$H_{\text{packing}} := 1$$

$$\frac{\Delta p}{H_{\text{packing}}} = 7.482$$

$$m_1 := -0.9 + \frac{\lambda_0}{\lambda_0 + 0.5} = -0.28$$

$$d_h := 4 \cdot \frac{\varepsilon_1}{a_p} = 0.015 \text{ m}$$

$$h_{L,FI} := \frac{\sqrt{1.44 \cdot \lambda_0^2 + 0.8 \cdot \lambda_0 \cdot (1 - \lambda_0)} - 1.2 \cdot \lambda_0}{0.4 \cdot (1 - \lambda_0)} = 0.809$$

$$h_{0L,FI} := \frac{\sqrt{\lambda_0^2 \cdot (m_1 + 2)^2 + 4 \cdot \lambda_0 \cdot (m_1 + 1) \cdot (1 - \lambda_0)} - (m_1 + 2) \cdot \lambda_0}{2 \cdot (m_1 + 1) \cdot (1 - \lambda_0)} = 0.553$$

Визначення перепаду тиску в однофазному потоці

$$\frac{\Delta p_0}{H} = \left(\frac{725.6}{Re_V} + 3.203 \right) \cdot (1 - \varphi_p) \cdot \frac{1 - \varepsilon}{\varepsilon^3} \cdot \frac{F_V^2}{d_p \cdot K};$$

Рівняння базується на експериментальних даних в діапазоні Re_V 200 - 20000

$\varphi_p := 0.716$ Площа перфорованої поверхні стінки упаковки, це специфічний параметр для форми упаковки (Форм-фактор) табл. 6.1a

Швидкість газу або пари на основі поперечного перерізу порожньої колони

$h_{L0} := \varepsilon_1$ Затримка рідини на основі вільного об'єму колони

$$U_V := \varepsilon_1 \cdot (P_i \cdot (1 - h_{L0})^{m, +1} - U_L \cdot (h_{L0} - 1)^{-1}) \quad (2-37)$$

$$U_V := 0.501$$

$$w_V = ?$$

$$Re_V := \frac{U_V \cdot d_p}{(1 - \varepsilon_1) \cdot w_V} \cdot K = ?$$

$$Re_V = \frac{u_V \cdot d_p}{(1 - \varepsilon) \cdot v_V} \cdot K$$

$$\Delta p_0 := \left(\frac{725.6}{Re_V} + 3.203 \right) \cdot (1 - \varphi_p)$$

$$\frac{\Delta p}{H_{packing}}$$

$K_{\rho V}$ — correction factor for gas density

where:

$$K_{\rho V} = 1 \quad \text{for} \quad \rho_V \leq \rho_{air} (1.165 \text{ kgm}^{-3}) \text{ and/or}$$

$$K_{\rho V} = \left(\frac{\rho_V}{1.165} \right)^{0.18} \quad \text{for} \quad \rho_V > \rho_{air}$$

ρ_V - густина газу

$$\rho_z = 1.997 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} \quad \rho_z > \rho_{air}$$

$$1.997 > 1.165$$

$$K_{\rho V} := \left(\frac{\rho_z}{1.165} \right)^{0.18} = 1.102 \frac{\text{kg}^{\frac{9}{50}}}{\text{m}^{\frac{27}{50}}} \quad K_{\rho V} := 1.102$$

Швидкість захлинання

$$u_{V,fl} = 0.8 \cdot \cos \alpha \cdot \psi_{fl}^{-1/6} \cdot \varepsilon^{6/5} \cdot \left[\frac{d_h}{d_T} \right]^{1/4} \cdot \left[\frac{d_T \cdot \Delta \rho \cdot g}{\rho_V} \right]^{1/2} \cdot (1 - h_{L,fl}^0)^{7/2} \cdot K_{\rho V} [\text{ms}^{-1}]$$

$$u_{v,fl} := 0.8 \cdot \cos(\alpha) \cdot \varepsilon_1^{6/5} \cdot \psi_{fl}^{-1/6} \cdot \left(\frac{d_T \cdot \Delta p \cdot g}{\rho_z} \right)^{1/2} \cdot \left(\frac{d_h}{d_T} \right)^{1/4} \cdot (1 - h_{0,L,fl})^{7/2} \cdot K_{\rho V} = 0.501 \frac{\text{m}^{\frac{9}{4}}}{\text{kg}^{\frac{1}{2}} \cdot \text{s}} \quad u_{v,fl} := 0.501 \frac{\text{m}}{\text{s}}$$

В якості робочої швидкості апарату обирають таку швидкість яка є трохи нижчою від швидкості захлинання. це пов'язано з тим що на проведення процесу діють і інші побічні фактори (коливання навантаження по газу і рідині, зміну матеріальних складників потоків, коливання робочого тиску в апараті та ін.) всі ці фактори можуть привести до захлинання апарату.

Робочу швидкість знаходять шляхом техніко-економічного розрахунку конкретного процесу.

$$u_{v,роб} := 0.8 \cdot u_{v,fl} = 0.401 \frac{\text{m}}{\text{s}}$$

Коли рідина має властивість спінюватись робочу швидкість підбирають зі співвідношення

$$u_{v,роб} := 0.45 \cdot u_{v,fl} = 0.225 \frac{\text{m}}{\text{s}}$$

4.2. ПРАВИЛА МОНТАЖУ ТА ТЕХНІЧНОГО СЕРВІСУ МОДЕРНІЗОВАНОГО ОБЛАДНАННЯ

1. Загальні положення

Модернізоване обладнання для деаерації сула повинно монтуватися та обслуговуватися відповідно до технічної документації та стандартів, що регулюють монтаж і експлуатацію подібних систем. Виконання всіх робіт дозволяється тільки кваліфікованому персоналу, який має відповідний досвід і знання.

2. Підготовчі роботи перед монтажем

2.1. Перевірка комплектності обладнання відповідно до супровідної документації.

2.2. Огляд обладнання на наявність механічних пошкоджень. Виявлені дефекти повинні бути усунені перед початком монтажу.

2.3. Підготовка місця встановлення:

- Забезпечення доступу до всіх вузлів апарату.

- Перевірка основи, яка повинна відповідати навантаженням апарату.
- 2.4. Підготовка необхідного інструменту та матеріалів для монтажу, включаючи герметики, кріплення та з'єднувальні елементи.

3. Монтаж обладнання

3.1. Встановлення основного корпусу апарату:

- Корпус має бути змонтований на попередньо підготовленій основі з використанням анкерних болтів.
- Вирівнювання корпусу проводиться за допомогою рівня.

3.2. Підключення трубопроводів:

- Під'єднання входу сусли, виходу деаерованого продукту та підведення інертного газу.
- Використання герметиків для забезпечення герметичності з'єднань.

3.3. Інсталяція розпилювальних насадок і системи подачі інертного газу:

- Перевірка правильності монтажу насадок для забезпечення рівномірного розподілу сусли.

3.4. Встановлення автоматизованої системи управління:

- Підключення електронних компонентів до мережі живлення.
- З'єднання датчиків із контролерами відповідно до інструкцій.

3.5. Перевірка всіх з'єднань та елементів системи перед першим запуском.

4. Правила першого запуску

4.1. Перевірка електричних з'єднань і систем управління.

4.2. Заповнення системи суслим та перевірка герметичності всіх з'єднань.

4.3. Проведення тестового запуску для перевірки:

- Роботи системи подачі інертного газу.
- Ефективності теплообмінника.

- Роботи розпилювальних насадок.

4.4. У разі виявлення відхилень проведення налаштувань відповідно до параметрів, зазначених у технічній документації.

5. Технічне обслуговування

5.1. Регулярність обслуговування:

- Щоденне обслуговування: огляд системи, перевірка рівнів тиску та температури.
- Щомісячне обслуговування: очищення зрошувальних насадок, перевірка фільтрів і системи управління.
- Щорічне обслуговування: повний огляд обладнання, заміна зношених компонентів.

5.2. Порядок проведення очищення:

- Використання спеціальних миючих розчинів для очищення внутрішніх поверхонь апарату.
- Видалення залишків сусли із системи після завершення кожної виробничої зміни.

5.3. Перевірка системи подачі інертного газу:

- Тестування датчиків кисню та калібрування за необхідності.
- Огляд з'єднань для виключення витоків газу.

5.4. Перевірка теплообмінника:

- Чищення трубок теплообмінника для підтримання оптимального теплопередавання.
- Вимірювання температурних параметрів та їх відповідність технічним характеристикам.

6. Заміна та ремонт вузлів

6.1. Заміна розпилювальних насадок:

- Виконання після зношування або зниження ефективності розпилювання.

6.2. Ремонт теплообмінника:

- Використання спеціалізованого обладнання для пайки чи заміни пошкоджених трубок.

6.3. Заміна електронних компонентів:

- У разі виходу з ладу датчиків або модулів автоматизації використання оригінальних запчастин.

7. Правила безпеки

7.1. Дотримання загальних норм техніки безпеки при роботі з електронними й механічними системами.

7.2. Проведення всіх робіт на вимкненому обладнанні.

7.3. Використання захисного одягу, рукавичок і окулярів під час обслуговування.

7.4. Заборона використання обладнання у разі виявлення несправностей до їх повного усунення.

8. Рекомендації щодо зберігання та транспортування

8.1. Зберігання обладнання в сухому приміщенні з температурою від +5 до +30 °С.

8.2. Захист компонентів від вологи та механічних пошкоджень.

8.3. Використання спеціальної упаковки для транспортування апарату.

4.3. Технологія машинобудування

1. Підготовчі роботи:

- Перевірка комплектності деталей: рама (25), вертикальні колони (15, 27), трубопроводи (13, 9, 19 тощо), насоси (23), клапани (7), теплообмінники (31, 3), та з'єднувальні елементи.

- Інструментальна перевірка точності фланців, муфт і кріплень.

2. Монтаж основної рами:

- Збірка основної рами (25), перевірка геометрії.

- Кріплення базових опор для вертикальних колон (15, 27).

- Встановлення опор для насосів (23) і теплообмінника (31).

3. Установка вертикальних колон:

- Монтаж циліндрів (15, 27) на раму.

- Закріплення колон фланцями або болтовими з'єднаннями.

- Встановлення ізоляційних елементів (якщо передбачено).

4. Монтаж трубопроводів:

- Установка магістральних трубопроводів (9, 13):

- Трубопровід між колонами (з'єднання 15 та 27 через 9 і 13).

- Підключення трубопроводу до насосу (23).

- Монтаж труб для підключення теплообмінника (3, 19).

- Встановлення трубок для відведення повітря та конденсату (21).

5. Установка допоміжного обладнання:

- Монтаж насосів (23):

- Закріплення насосів на рамі (25).

- Підключення всмоктувальних і нагнітальних трубопроводів (9).

- Установка клапанів:

- Запірні клапани (7) на ключових трубопроводах.

- Регулювальні клапани біля насоса та колон.

- Монтаж теплообмінника (31):

- Підключення до основних трубопроводів (19, 3, 9).

- Кріплення на рамі.

6. Підключення системи керування:

- Прокладання кабелів для живлення насосів (23) і систем автоматизації.

- Встановлення манометрів і контрольних приладів (5).

- Інтеграція сенсорів для моніторингу тиску та температури (на трубопроводах 13, 9).

7. Перевірка герметичності:

- Проведення гідравлічних випробувань усіх трубопроводів (9, 13, 19).

- Перевірка герметичності колон (15, 27) і теплообмінника (31).

- Усунення виявлених витоків

8. Фінальний монтаж та тестування:

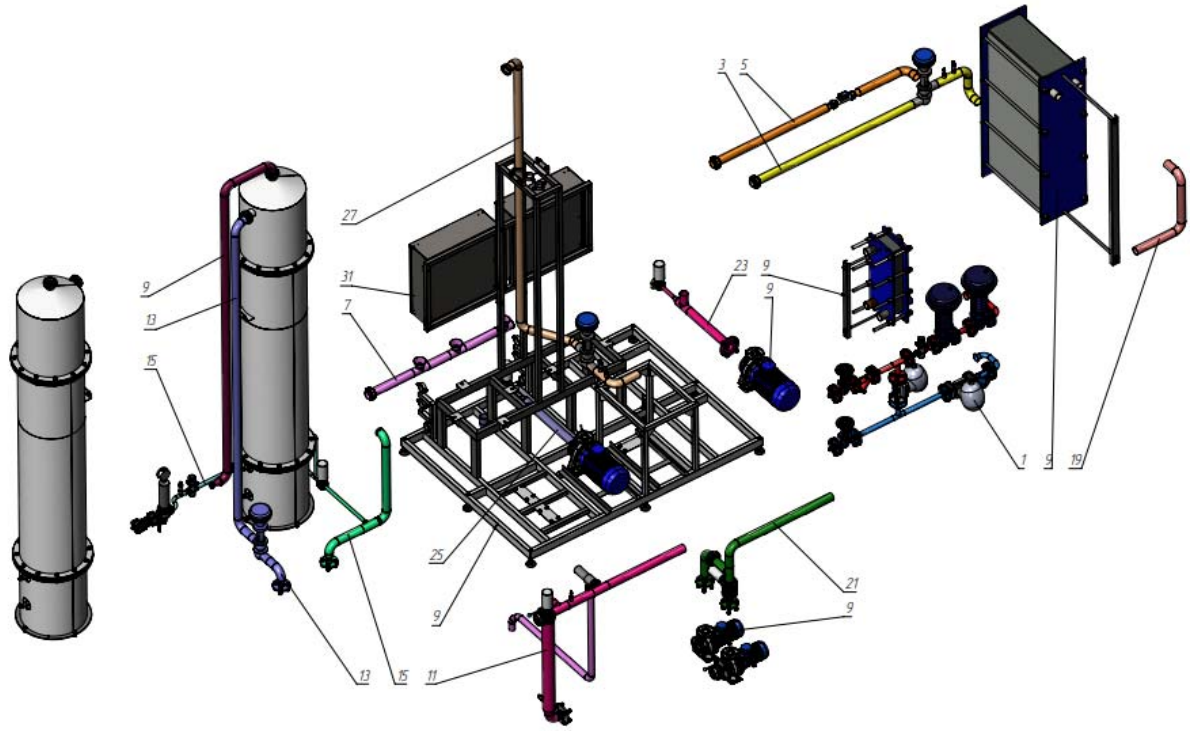
- Закріплення всіх компонентів на рамі (25).

- Фіксація теплоізоляційних матеріалів (якщо передбачено).

- Проведення тестового запуску апарату:

- Перевірка роботи насосів (23).

- Оцінка ефективності деаерації в реальних умовах.



5. АВТОМАТИЗАЦІЯ

5.1 Опис системи керування

Система керування процесом деаерації пивного сусла з мембранними технологіями створена для забезпечення стабільності та ефективності процесу видалення кисню, що є критично важливим для якості кінцевого продукту. Система забезпечує автоматичний контроль і регулювання основних параметрів, таких як тиск і температура, дозволяючи утримувати їх на рівні, оптимальному для деаерації. Це гарантує постійність характеристик процесу, знижуючи ризик окиснення та покращуючи смакові властивості пива.

На вході в апарат встановлено витратоміри сусла, які контролюють швидкість його подачі, підтримуючи стабільний потік і відповідну продуктивність. Датчики температури й тиску, розміщені на різних етапах процесу, забезпечують моніторинг та підтримку умов деаерації, а також інформують персонал про відхилення за допомогою світлових і звукових сигналів. За допомогою системи зворотного зв'язку в разі перевищення допустимих значень температури або тиску автоматично активуються механізми регулювання для стабілізації процесу.

Для більш точного контролю якості деаерації на виході встановлені кисневі сенсори, які дозволяють визначати залишковий рівень кисню в суслі, що надходить на подальші етапи виробництва. Якщо рівень кисню перевищує допустимі межі, система автоматично подає сигнал тривоги й виводить відповідні дані на пульт керування. Це дає можливість персоналу оперативно вжити заходів для стабілізації процесу, уникаючи негативних впливів на якість кінцевого продукту.

Автоматизована система також включає функції регулювання потоку газу для мембранних модулів, які видаляють кисень із сусла. Витратоміри

<i>Відповідальна організація</i> НУХТ	<i>Технічне узгодження</i> Якимчук Р.Л.	<i>Вид документа</i> Пояснювальна записка		<i>Статус документа</i>		
<i>Власник документа</i> НУХТ	<i>Розробник документа</i> Фізік Е.Є.	<i>Назва, додаткова назва</i>		230608.KP.15.005 ПЗ		
	<i>Документ затверджено</i> Якимчук М.В.	Автоматизація		<i>Інд. змін.</i>	<i>Дата видання</i>	<i>Мова</i> UA

газу, розміщені перед мембранами, контролюють кількість інертного газу (зазвичай азоту або вуглекислого газу), що використовується для витіснення кисню, і забезпечують оптимальне дозування. У випадку порушення потоку газу система подає сигнал для негайного втручання обслуговуючого персоналу.

Окрім контролю основних параметрів, система оснащена датчиками вологовмісту для моніторингу та підтримки відповідної вологості в процесі, запобігаючи втратам якості сусла. Інтерфейс управління на пульті дозволяє оператору налаштовувати параметри

для різних рецептур, а також має вбудовані алгоритми, які автоматично налаштовують потоки і параметри деаерації залежно від обсягів сусла.

Система передбачає штатну кнопку зупинки процесу, яка активує зупинку обладнання в послідовності, що мінімізує знос компонентів і запобігає тепловим втратам. Крім того, кнопка аварійної зупинки дозволяє миттєво вимкнути систему в разі надзвичайних ситуацій, зберігаючи безпеку всіх ланок процесу.

5.2. Схема автоматизації

1. Вхідна зона сусла:

- Датчик потоку контролює подачу сусла до апарата.
- Датчик температури вимірює температуру сусла на вході.

2. Система подачі інертного газу:

- Витратомір контролює подачу інертного газу в мембранну систему.
- Клапан подачі газу регулює потік газу, підтримуючи необхідний режим витіснення кисню.

3. Основна камера деаерації:

- Датчик тиску фіксує тиск в деаераційній камері, передаючи дані на контролер.

- Термопари встановлені в різних точках камери для контролю температури.

4. Вихідна зона деаерованого сусла:

- Кисневий сенсор контролює рівень залишкового кисню в деаерованому суслі.

- Вихідний клапан регулює потік деаерованого сусла в систему подальшої обробки.

5. Мікропроцесорний контролер:

- Збирає дані від датчиків потоку, тиску, температури та рівня кисню.

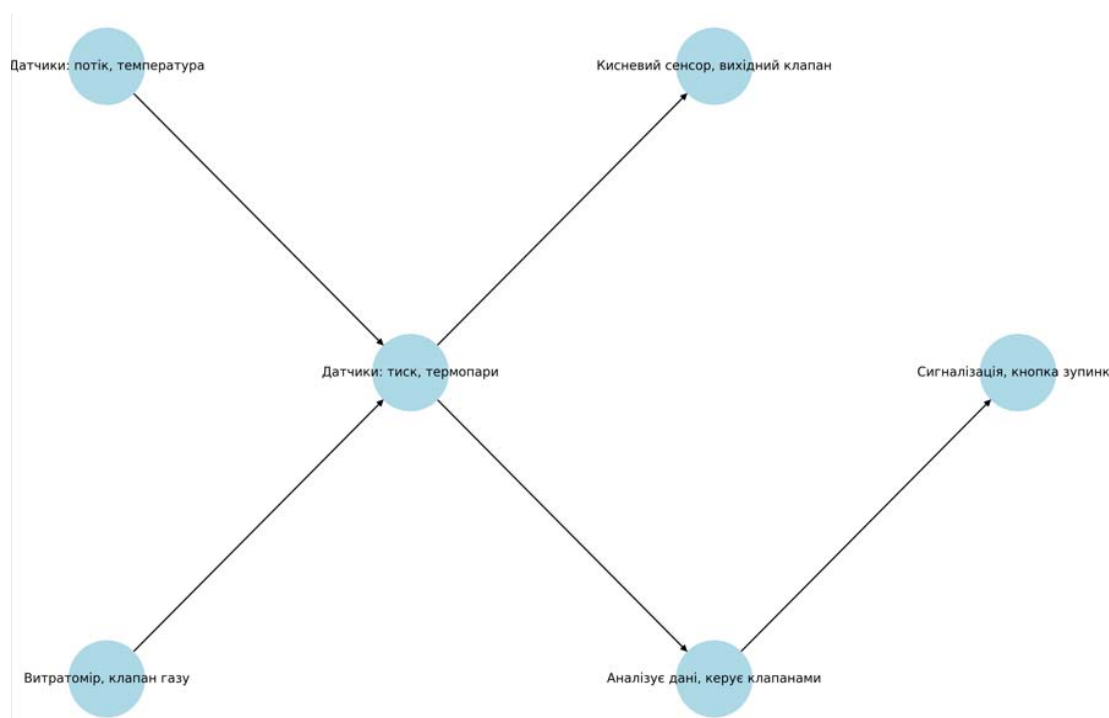
- Аналізує дані та регулює виконавчі механізми (клапани, подачу газу) для підтримки оптимальних параметрів процесу.

- Виводить інформацію на дисплей для персоналу і сигналізує про відхилення від норми.

6. Аварійна сигналізація:

- Світлова та звукова сигналізація спрацьовує при критичних значеннях температури, тиску чи рівня кисню.

- Кнопка аварійної зупинки забезпечує миттєве вимкнення апарата в екстрених випадках.



Ця схема дозволяє ефективно керувати процесом деаерації, автоматизуючи контроль ключових параметрів і забезпечуючи стабільність якості кінцевого продукту.

5.3. Опис схеми автоматизації

Для системи автоматизації використовуємо мікропроцесорний контролер, що управляє всіма параметрами та контролює ключові показники для забезпечення стабільної деаерації. Контролер обробляє дані з різних датчиків, зокрема для моніторингу потоку, температури, тиску, а також рівня кисню на виході, і автоматично регулює витрати газу та параметри процесу. У випадку відхилення від заданих значень система подає сигнал тривоги, що дозволяє оператору втрутитись для забезпечення стабільності та якості кінцевого продукту.

Опис основних елементів схеми автоматизації:

1. Контроль температури та тиску: Датчики температури та тиску розташовані на вході й виході апарата для підтримки стабільності процесу. Контролер отримує аналогові сигнали з термопар (наприклад, ТХА-1449) та перетворювачів тиску (наприклад, Сапфір–22ДД), регулюючи подачу теплоносія та інертного газу через виконавчий механізм, щоб утримувати заданий температурний та тисковий режим.

2. Кисневі сенсори: На виході з апарату встановлено кисневі сенсори, які вимірюють рівень залишкового кисню в деаерованому суслі. Якщо рівень кисню перевищує допустиму норму, контролер сигналізує оператору для оперативного реагування.

3. Витратоміри для контролю потоків: Витратоміри встановлені на вході для контролю потоку сусла, а також для дозування інертного газу, необхідного для витіснення кисню. Це забезпечує оптимальний розподіл потоків для стабільності процесу.

4. Мікропроцесорний контролер: Він контролює всі процеси, приймає сигнали з датчиків і регулює виконавчі механізми, такі як клапани та приводи. Контролер порівнює дані з заданими параметрами і при відхиленнях виконує коригування в автоматичному режимі.

5. Аварійні сигналізації та зупинка: В системі передбачено аварійну сигналізацію (світлову й звукову), що активується при досягненні критичних значень температури або тиску. Кнопка аварійної зупинки дозволяє миттєво вимкнути всі процеси для безпеки обладнання та персоналу.

Основні параметри контролера для апарату деаерації:

- Аналогові входи (А.Вх): 15, включаючи температуру, тиск, потік інертного газу та сусла, рівень кисню.

- Аналогові виходи (А.Вих): 4, для управління виконавчими механізмами клапанів і приводів.

- Дискретні входи (Д.Вх): 2, для сигналів аварійного вимкнення і відключення обладнання.

- Дискретні виходи (Д.Вих): 10, для керування сигналізацією і іншими виконавчими пристроями.

Висновки

Система керування та автоматизації апарату деаерації пивного сусла підвищує ефективність процесу та стабільність якості продукту. Автоматизований контроль ключових параметрів — потоку, температури, тиску і кисню — знижує ризик відхилень від норм. Мікропроцесорний контролер оперативно коригує роботу, а сигналізація та аварійна зупинка забезпечують безпеку.

Загалом, автоматизована система керування робить процес більш продуктивним, знижує енерговитрати та потребує мінімального втручання оператора, підвищуючи безпеку і екологічність виробництва.

6. Заходи з охорони праці, техніки безпеки

Інструктажі з охорони праці цукровому заводі на заводі

Мета інструктажу – навчити працівника правильно і безпечно для себе і оточуючих середовища виконувати свої трудові обов'язки. Інструктажі за часом і характером проведення бувають **вступними** (проводяться з усіма поступаючими на роботу, проводить інженер з техніки безпеки в кімнаті з

охорони праці); **первинними** (при поступанні на роботу в цех чи перевод

в другий цех, проводиться майстром чи начальником цеху); **повторними** (1 раз в 3 місяці, керівник або змінний майстер цеху з усіма працівниками); **позаплановими** (при зміні правил з охорони праці; зміні технології виробництва, устаткування, матеріалів та інших факторів, які впливають на безпеку праці; порушення працівниками вимог безпеки, які привели або можуть привести до травми, аварії, пожегу; перервах в роботі – для робіт підвищеної безпеки 30 календарних днів, для всіх інших робіт – 60 календарних днів; на вимогу інспектора держнаглядохоронпраці); **цільовими** (при виконанні разових робіт, не передбачених трудовою угодою; при ліквідації аварії, стихійного лиха).

<i>Відповідальна організація</i> НУХТ	<i>Технічне узгодження</i> Якимчук Р.Л.	<i>Вид документа</i> Пояснювальна записка		<i>Статус документа</i>		
<i>Власник документа</i> НУХТ	<i>Розробник документа</i> Фузик Е.Е.	<i>Назва, додаткова назва</i> Охорона праці	230608.КР.15.006 ПЗ			
	<i>Документ затверджено</i> Якимчук М.В.		<i>Інд. змін.</i>	<i>Дата видання</i>	<i>Мова</i> UA	<i>Аркуш</i> 1/11

Аналіз основних технологічних процесів і обладнання з метою виявлення найнебезпечніших і шкідливих чинників для працівників та їх нормування

Мета аналізу

Аналіз основних технологічних процесів і обладнання виконується для ідентифікації потенційно небезпечних і шкідливих факторів, що впливають на працівників, і розробки заходів для їх мінімізації відповідно до вимог ДСТУ та міжнародних стандартів ISO.

Основні технологічні процеси

Технологічний цикл апарату деаерації охоплює:

1. Подачу сировини:

- Обладнання: насоси, трубопроводи.
- Ризики: шум, вібрація, механічні травми.

2. Процес деаерації:

- Основні операції: нагрівання, вакуумування, газовідведення.
- Ризики: термічний вплив, високий тиск, ризик опіків.

3. Вивантаження готового продукту:

- Залучення транспортного обладнання (конвеєри).
- Ризики: запиленість, механічні травми.

Небезпечні та шкідливі чинники

Основні чинники, які впливають на працівників під час роботи, можна розділити на:

1. Шум і вібрація:

- Джерела: насоси, обертові частини обладнання.
- Наслідки: порушення слуху, втома, вібраційна хвороба.
- Нормування: шум — ≤ 85 дБ (відповідно до ДСТУ ISO 9612:2018);

вібрація — відповідно до ДСТУ EN ISO 5349-1:2014

2. Запиленість повітря:

- Джерела: робота сушильного обладнання, обробка продукту.
- Наслідки: захворювання органів дихання, алергічні реакції.
- Нормування: концентрація пилу ≤ 4 мг/м³ (ДСТУ ГОСТ 12.1.005:2008).

3. Термічний вплив:

- Джерела: нагрівальні елементи, теплообмінники.
- Наслідки: тепловий стрес, опіки.
- Нормування: температура робочого середовища $\leq 28^{\circ}\text{C}$ відповідно до ДСТУ EN ISO 13732-1:2018.

4. Електробезпека:

- Джерела: несправності електрообладнання, контакти з проводами.
- Наслідки: ураження струмом.
- Нормування: вимоги до заземлення і захисту від короткого замикання згідно з ДСТУ ІЕС 60364-4-41:2017.

5. Пожежонебезпека:

- Джерела: іскри, перегрів обладнання, наявність горючих речовин.
- Наслідки: займання, вибухи.
- Нормування: протипожежні заходи відповідно до ДСТУ EN 541:2014.

6. Механічні травми:

- Джерела: рухомі частини машин, конвеєри, відкриті механізми.
- Наслідки: порізи, удари, защемлення.
- Нормування: обов'язкове використання захисних кожухів і пристроїв відповідно до ДСТУ ISO 12100:2014.

Методи виявлення та оцінки небезпечних чинників

1. Спостереження:
 - Аналіз поведінки працівників і роботи обладнання.
2. Забір параметрів:
 - Використання шумомірів, датчиків вібрації, пиломірів.
3. Оцінка небезпечних зон:
 - Вивчення технічної документації.
4. Огляд скарг працівників:
 - Оцінка стану здоров'я.

Рекомендації для мінімізації впливу шкідливих факторів

1. Шум і вібрація:
 - Використання звукоізоляційних матеріалів, амортизаторів.
2. Запиленість:
 - Монтаж систем аспірації, регулярне очищення приміщень.
3. Термічний вплив:
 - Забезпечення вентиляції, термостійкого одягу.
4. Електронебезпека:
 - Ремонт і модернізація електроустаткування.
5. Пожежонебезпека:
 - Використання автоматичних систем пожежогасіння.
6. Механічні травми:
 - Обладнання захисними кожухами, проведення навчання з техніки безпеки.

Висновок

Аналіз технологічних процесів та обладнання дозволяє виявити ключові небезпечні та шкідливі чинники. Впровадження заходів, орієнтованих на стандарти ДСТУ та ISO, забезпечує безпечні умови праці, мінімізує ризики та підвищує ефективність роботи обслуговуючого персоналу.

Для зменшення запиленості повітря та впливу температурних полів обладнання на обслуговуючий персонал в цеху, де буде встановлений проєктований автомат повинна бути передбачена вентиляція.

Вентиляція повітря працюючої зони цеха повинна відповідати ДСТУ БА.3.2-12:2009. ССБТ. “Системы вентиляции. Общие требования.” Наприклад в цеху може бути передбачена припливно-витяжна вентиляція з механічним та природнім рухом повітря. Місцева витяжка може проводитись від центрифуг за допомогою відцентрових вентиляторів.

Одним з найбільш розповсюджених негативних факторів, які впливають на людину, являється **шум**. Він завдає великої шкоди здоров'ю та виробничій діяльності людини. В результаті втрати, що виникає під дією шуму, збільшується кількість помилок при роботі, підвищується загроза виникнення травм, знижується продуктивність праці. Все це є однією з причин збільшення економічних втрат.

Допустимі норми шуму для цукрових підприємств, де є обладнання, що створює шум, наведені в ОСТ 54 72001-78 «Система стандартів безпеки праці. Шум.»

При роботі апарату основним джерелом шуму є двигуни, вібраційна площа; також шум виникає при роботі обертання барабана. Рівень звуку від прийнятих проектом пристроїв не перевищує гранично допустимого рівня – 75 дБ, тому не вимагається проведення спеціальних заходів.

Для того, щоб уникнути накладання один на одного звукових полів цього обладнання, його розміщують по периметру будівлі у ізольованих капітальними стінами приміщеннях.

При пуску і наладці обладнання необхідно проводити статичне і динамічне балансування рухомих частин обладнання.

Збільшення потужностей та швидкостей переміщення у виробництві призводять до небажаних явищ, таких як **вібрація**. Вібрації не тільки погіршують самопочуття працюючих і знижують продуктивність праці, а й можуть призвести до серйозних патологічних змін організму людини. Комплексна механізація і автоматизація підприємства є радикальним способом позбавлення людини від шкідливого впливу вібрацій.

Найпростішим видом вібрацій є гармонічні (синусоїдальні) коливання.

Норми загальної технологічної вібрації наведені в ГОСТ 12.1.012-90. ССБТ. “Вибрационная безопасность. Общие требования.” Апарат встановлений на фіксуючих роликах; немає деталей, які працюють на надвисоких швидкостях; найбільшим джерелом вібрації є барабан.

Освітлення в цеху передбачено штучне. Освітлення відповідає вимогам СНиП II-4-79 “Естественное и искусственное освещение.”

Обладнання та експлуатація електроустаткування повинно відповідати “Правилам технічної експлуатації споживачів” і “Правилам техніки безпеки при експлуатації споживачів електроенергії”.

Нормована освітленість на робочих поверхнях при штучному освітленні за зоровими параметрами (газорозрядні лампи) 500 лк.

Забороняється встановлювати світильники під гідравлічними затворами та запобіжними клапанами. Очистку світильників повинен проводити електрик у відповідності з графіком. Контроль за освітленістю потрібно проводити не рідше ніж один раз в три місяці.

В цеху передбачена мережа з низькою напругою для вмикання переносних освітлювачів і ручного електроінструменту. Також передбачене

аварійне освітлення, яке виконується для забезпечення безпечного перебування обслуговуючого персоналу в цеху, а також для евакуації людей, у випадку вимикання робочого освітлення. На світильниках аварійного освітлення повинно бути нанесено відрізняючий знак відповідно ПУЄ.

Для проведення ремонтних робіт повинна бути проведена мережа ремонтного освітлення. Мережа ремонтного освітлення працює при напрузі 36 В. Живлення здійснюється від понижуючих трансформаторів.

У відповідності з ПУЄ для захисту обслуговуючого персоналу від враження електричним струмом, в цеху всі металеві частини електрообладнання, які не знаходяться під напругою, але можуть опинитись під напругою в разі порушення ізоляції заземлені. Апарат *заземлено* шляхом приєднання спеціального болта на корпусі апарата до внутрішнього контуру заземлення за допомогою спеціально прокладених провідників. Всі пошкодження апарата ремонтуються тільки при вимкненій напрузі.

Для захисту споруди від прямих ударів блискавки металеві ферми перекриття з'єднуються між собою сталевими смугами 40x40 мм по периметру корпусу, яке з'єднано з струмопроводами із круглої сталі діаметром 12 мм, прокладеними по стінкам приміщення і з'єднаними з блискавозахисним контуром заземлення.

Електробезпека:

1) заземлення всіх металевих струмоведучих конструкцій електричного обладнання (для приміщень з підвищеною небезпекою й особливо небезпечних обов'язкове заземлення всіх струмоведучих елементів електрообладнання);

2) живлення електродвигунів автомату малою напругою (до 42 В змінного струму) та подвійна ізоляція кабелів живлення. Живлення системи автоматизації, світильників підсвічування шкал приладів контролю і керування автоматом малою напругою (до 12 В);

3) застосування системи захисного відімкнення електричного струму живлення у разі замикання на корпус електродвигунів приводу апарату, або їх перевантаження;

4) всі електричні щити живлення мають бути закриті захисними коробками. Під щитами повинні бути діелектричні ковдри (або підставки);

5) ремонт та профілактика машини здійснюється тільки за відімкненого електричного живлення.

У відповідності з діючими будівельними нормами і правилами СНиП II-М3-68 передбачені загальні **побутові приміщення** і пристрої (гардеробні, душові, умивальні, а також кімнатами для просушки спецодягу). Підлога в побутових приміщеннях повинна бути вологостійка, в гардеробі - заслана гумовими ковриками, а в душових - дерев'яними трапами.

Всі виробничі будівлі і споруди двічі на рік (весною і восени) підлягають технічному огляду, який проводиться комісією, призначеною керівником виробництва.

Забезпечення **пожежної безпеки** досягається за допомогою комплексу інженерно-технічних і організаційних заходів, направлених на усунення причин виникнення пожеж, обмеження розповсюдження пожежі та її ліквідації.

Відповідно до норм технологічного проектування ОНТП 24-86 приміщення за вибухопожежонебезпекою відноситься до категорії Д.

Нагріті продукти горіння або полум'я може проникати крізь конструкцію; підвищення температури на поверхні конструкції, що не зігрівається, в середньому більше ніж на 140°C або у будь-якій точці цієї поверхні до температури 180°C і більше, порівняно з температурою до випробовування; втрата несучих властивостей конструкції (завалювання). Ступінь вогнестійкості будівельної конструкції згідно зі СНиП 2.01.02 – 85 (IV).

Згідно з ПУЕ за вибухопожежонебезпекою електрообладнання належить до П-Ша.

Для кожної галузі харчової та переробної промисловості існує узгоджений з Державним пожежним наглядом МНС України перелік споруд і приміщень, що підлягають обладнанню автоматичними засобами пожежегасіння та автоматичною пожежною сигналізацією.

У нашому випадку, сушіння вижимок, за площі 400 м² цех обладнується автоматичною пожежною сигналізацією і забезпечується первинними засобами пожежегасіння.

До первинних засобів пожежегасіння належать: вогнегасники ВВ-5 вуглекислотні (внаслідок використання при роботі машини електричного струму) - 2, пожежний інвентар (покривала з негорючого теплоізоляційного полотна, грубововняної тканини - 1, ящик з піском - 1, бочка з водою - 1, пожежні відра - 2, совкові лопати - 2); пожежний інструмент (гаки - 2, ломи - 2, сокири – 2 тощо).

Основними заходами пожежної безпеки є:

- дотримання паспортних режимів роботи обладнання;
- своєчасне проведення технічних оглядів з метою змащення пар тертя (підшипникові вузли, штоки пневмо-циліндрів, і т. ін.);
- дотримання правил безпеки при зупинці обладнання на огляд та ремонт;
- своєчасне проведення перевірки ізоляції обладнання;
- проведення інструктажів та навчання працюючого персоналу.

Розрахунок кількості води

Пожежний щит встановлюється один при території підприємства до 5 тис. м.². У приміщенні цеху фасування повинні бути встановлені дві бочки з водою не менше 0,2 м³ (одна бочка на 250 – 300 м² площі) – за відсутності протипожежного водогону.

Запас води, м³, потрібний для пожежегасіння будівлі, розраховується за таким рівнянням:

$$G = \frac{3 \cdot 3600(n_1 + n_2)}{1000}; \quad (8.4)$$

де 3 – розрахунковий час гасіння пожежі, год.; 3600 – перерахунок годин в секунди; n_1 – витрати води на внутрішнє пожежегасіння за секунду, л/с.

Прийнято, що для внутрішнього пожежегасіння необхідно мати два струмені води, які б викидали по 2,5 літра води за 1 с (два джерела горіння). Тобто $n_1 = 2,5 \cdot 2 = 5$ л/с; n_2 – витрати води на зовнішнє пожежегасіння, л; визначається залежно від об'єму будівлі, категорії виробництва за вибухо- та пожежонебезпекою і ступенем вогнестійкості будівельної конструкції; 1000 – перерахунок літрів у метри кубічні.

Запас води на пожежегасіння для будівлі об'ємом 3 – 5 тис.м³ за категорією вибухо- та пожежонебезпеки приміщень в будівлі – В, ступенем вогнестійкості – II становитиме:

$$G = \frac{3 \cdot 3600 \cdot (5 + 10)}{1000} = 10,8 \cdot 15 = 162 \text{ м}^3,$$

де $n_2 = 10$ л/с.

Об'єм будівлі визначається з урахуванням всіх приміщень, розміщених там, і визначається периметрами будівлі та її висотою.

Для пожежегасіння потрібно мати резервуар місткістю не менше 162 м³.

У разі пожежі або інших нестандартних ситуацій у цеху має бути не менше двох шляхів евакуації людей. Ці шляхи не повинні перетинати приміщення, де розміщені виробництва категорії А, Б за вибухо-пожежонебезпекою. У разі потреби одним шляхом евакуації може бути вікно з пожежною драбиною або східцями, що ведуть на зовнішнє подвір'я.

Пропозиції по покращенню умов праці

Для пониження рівня звукового тиску від сантехнічного обладнання до допустимого передбачаються наступні заходи:

- по можливості замінюються ударні взаємодії деталей на безударні;
- звукоізоляція огорожуючи конструкцій;
- своєчасна заміна підшипників;
- змащення ударяючих деталей в'язкими рідинами.

Зниження вібрації шляхом переведу енергії механічного коливання в інші види енергії, найчастіше в теплову, називають вібродемпфіруванням. Для цього можна використовувати матеріали з більшим внутрішнім тертям. Використання в конструюванні матеріалів з більшим внутрішнім тертям дозволяє знизити вібрацію в діапазоні середніх та високих частот на 81дБ. Якщо по будь-яким причинам застосування цих матеріалів неможливо, то для зниження вібрації використовують вібродемпфіруючі покриття, що мають великі втрати на внутрішнє тертя.

7. Маркетингове обґрунтування проекту модернізації апарату деаерації

1. Актуальність модернізації апарату деаерації:

- Сучасний ринок пива та напоїв вимагає продукції високої якості з тривалим терміном зберігання, що не можливо без ефективної деаерації.
- Оновлення апарату деаерації дозволить компанії залишатися конкурентоспроможною, покращуючи смакові властивості та якість кінцевого продукту.

2. Мета проекту:

- Забезпечити зниження вмісту розчиненого кисню в суслі для покращення органолептичних характеристик, стабільності та тривалості зберігання пива.

Аналіз ринку пивної продукції та сучасних тенденцій

1. Огляд світового та національного ринків:

- Сучасні споживачі віддають перевагу натуральним та якісним продуктам, що впливає на попит на пиво преміум-класу.



Відповідальна організація НУХТ	Технічне узгодження Якимчук Р.Л.	Вид документа Пояснювальна записка	Статус документа			
Власник документа НУХТ	Розробник документа Фізик Е.Е.	Назва, додаткова назва Маркетингове обґрунтування	230608.КР.15.007 ПЗ			
	Документ затверджено Якимчук М.В.		Інд. змін.	Дата видання	Мова UA	Аркуш 1/7

- Підвищення вимог до термінів зберігання продукту зумовлює попит на модернізацію виробничих процесів.

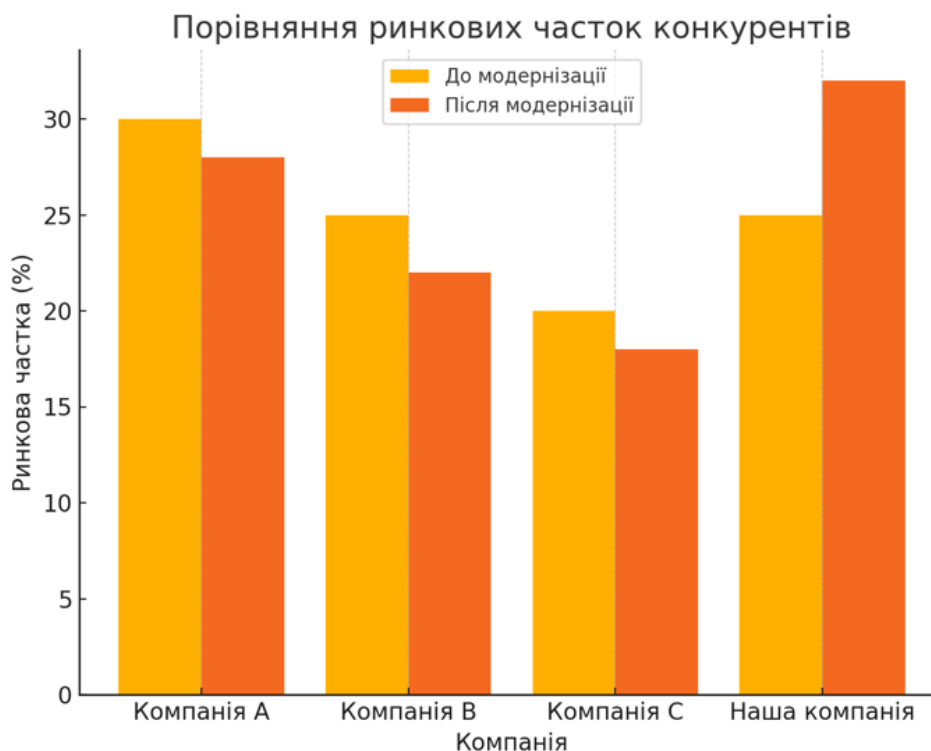
2. Тенденції в технології пивоваріння:

- Останніми роками зростає популярність методів, що дозволяють мінімізувати втрату аромату та підвищити стабільність продукту, зокрема за рахунок технологій глибокої деаерації.

- Використання сучасних деаераційних колон або мембранних технологій допомагає скоротити втрати ароматичних компонентів, що покращує конкурентні переваги продукту.

3. Порівняння з конкурентами:

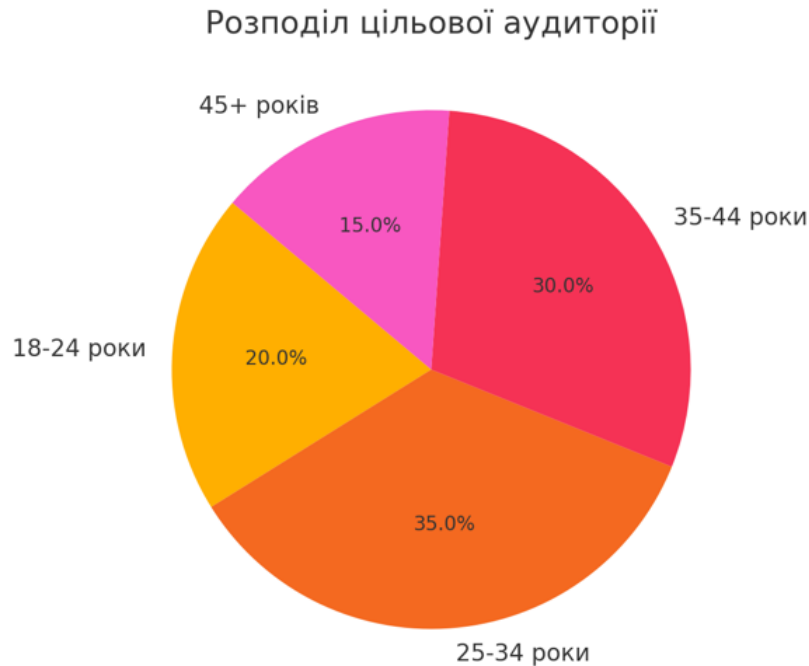
- Дослідження, як конкуренти здійснюють модернізацію обладнання та які маркетингові стратегії застосовують для підвищення якості продукту. Наводяться дані щодо компаній, що успішно впровадили аналогічні технології та збільшили свою частку ринку.



Сегментація та цільова аудиторія

1. Аналіз основних сегментів споживачів:

- Розподіл цільової аудиторії на сегменти за віком, доходом, географією, а також врахування споживачів із середнім та високим рівнем доходу, що віддають перевагу високоякісним напоям.



2. Поведінкові фактори:

- Дослідження, як якість та довговічність пива впливають на рішення споживачів купувати певний бренд.

- Визначення ключових факторів, за якими цільова аудиторія обирає продукт (смак, натуральність, репутація бренду).

Переваги модернізації апарату деаерації для компанії

1. Підвищення якості продукції:

- Забезпечення високого рівня деаерації сприяє стабілізації смакових якостей продукту та його свіжості, що підвищує задоволення споживачів та покращує сприйняття бренду.

2. Збільшення терміну зберігання:

- Зменшення вмісту кисню уповільнює окислювальні процеси, що дозволяє зберігати продукт довше без втрати якості, розширюючи можливості логістики та експортної діяльності.

3. Зменшення собівартості виробництва:

- Впровадження сучасних деаераційних технологій може знизити витрати на енергію та витратні матеріали завдяки їхній енергоефективності.

4. Підвищення конкурентоспроможності:

- Модернізація обладнання покращує можливість відповідати міжнародним стандартам якості та дає компанії можливість зайняти вищі позиції на ринку.

Ризики та способи їх мінімізації

1. Фінансові ризики:

- Оцінка витрат на модернізацію та можливих коливань у бюджеті компанії. Планування витрат із залученням зовнішніх інвестицій чи кредитування.

2. Технічні ризики:

- Можливість виникнення проблем з інтеграцією нової технології у виробничий процес. Оцінка потреби в навчанні персоналу та впровадженні інструкцій для роботи з новим обладнанням.

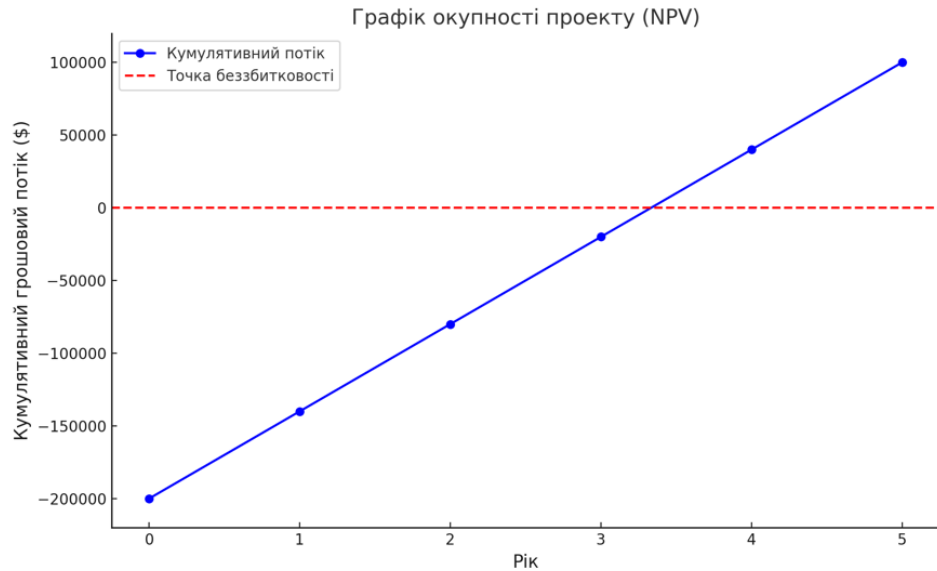
3. Маркетингові ризики:

- Потенційні негативні реакції споживачів на зміни у смакових якостях продукту. Стратегія мінімізації таких ризиків через поетапне впровадження модернізацій.

Розрахунок економічної ефективності проекту

1. Методи оцінки ефективності інвестицій:

- Розрахунок основних показників економічної ефективності, таких як чиста приведена вартість (NPV), внутрішня норма рентабельності (IRR), період окупності (PP).



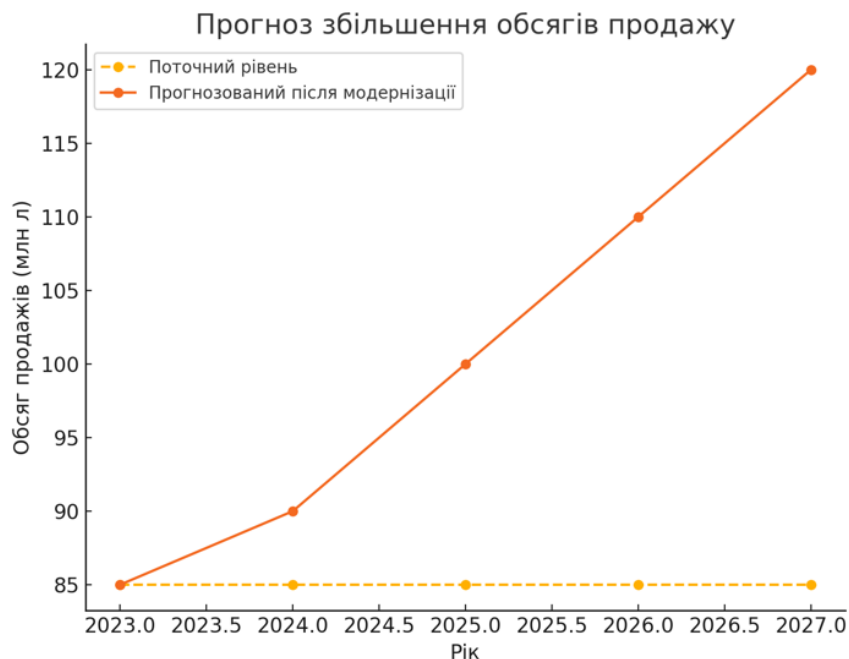
2. Розрахунок NPV, IRR та PP:

- Пояснення формул і проведення розрахунків на прикладі. Наприклад, при інвестиції в модернізацію \$200,000 очікуваний дохід \$60,000 щороку, NPV через 5 років при ставці дисконту 10% становитиме:

$$NPV = \sum_{t=1}^n \frac{R_t}{(1+r)^t} - C$$

3. Аналіз економічного ефекту від збільшення обсягів продажу:

- Оцінка можливих прибутків від збільшення ринкової частки. Наприклад, прогнозований приріст 10% завдяки кращій якості продукції і відповідному зростанню попиту.



Маркетингова стратегія впровадження проекту

1. Стратегія просування продукту:

- План маркетингової кампанії із залученням соціальних мереж, презентацій у торгових точках, а також акцент на покращені характеристики пива, що демонструють переваги продукту після модернізації.

2. Встановлення зв'язків з роздрібними мережами та дистриб'юторами:

- План розширення продажу через нові канали дистрибуції та посилення співпраці з основними торговими мережами.

3. Акцент на екологічність та енергоефективність виробництва:

- Висвітлення екологічних переваг модернізації у комунікації зі споживачами, що відповідає тренду на екологічно свідоме споживання.

Висновки

1. Ключові переваги модернізації апарату деаерації:

- Підвищення якості, зниження собівартості, збільшення терміну зберігання пива, поліпшення іміджу компанії на ринку та збільшення конкурентоспроможності.

2. Рекомендації щодо подальших кроків:

- Рекомендації для успішного впровадження проекту модернізації, включаючи необхідність регулярного моніторингу якості та подальшого вдосконалення виробничого процесу.

Висновки

У процесі модернізації апарату для деаерації пивного сусла було вирішено низку ключових проблем, що характерні для стандартних установок. Основними недоліками були недостатнє видалення кисню з сусла, висока енергоємність процесу та надмірні витрати інертного газу. Крім того, низький рівень автоматизації обмежував точність управління технологічними параметрами.

Модернізація включала вдосконалення конструкції розпилювальних насадок, оптимізацію теплообмінника й інтеграцію сучасної автоматизованої системи управління.

Це дозволило:

- Знизити залишковий вміст кисню до 0,008–0,015 мг/л, що значно покращило органолептичні показники пива та підвищило його якість.
- Зменшити енергоспоживання на 18% і скоротити витрати інертного газу на 10–15%.
- Знизити витрати на обслуговування обладнання на 25% завдяки використанню зносостійких матеріалів і мінімізації ручного втручання.
- Підвищити екологічність процесу за рахунок зменшення енергетичних втрат та оптимізації ресурсів.

Впровадження модернізованого апарату дозволяє підприємствам пивоварної галузі не лише підвищити ефективність виробництва, але й покращити економічні показники, що є перспективним для подальшого застосування.

<i>Відповідальна організація</i> НУХТ	<i>Технічне узгодження</i> Якимчук Р.Л.	<i>Вид документа</i> Пояснювальна записка		<i>Статус документа</i>		
<i>Власник документа</i> НУХТ	<i>Розробник документа</i> Фізик Е.Е.	<i>Назва, додаткова назва</i> Висновки	230608.КР.15.000 ПЗ			
	<i>Документ затверджено</i> Якимчук М.В.		<i>Інд. змін.</i>	<i>Дата видання</i>	<i>Мова</i> UA	<i>Аркуш</i> 1/1

ЛІТЕРАТУРА

1. Методичні рекомендації до виконання випускної кваліфікаційної роботи на здобуття освітнього ступеня «Магістр» за спеціальністю 133 «Галузеве машинобудування» освітньо-професійної програми «Інжиніринг харчових виробництв» денної та заочної форми навчання [Електроний ресурс] / Уклад. В.Г. Мирончук, В.М. Якимчук, О.М. Гавва, Д.М. Люлька, О.М. Чепелюк – К.:НУХТ, 2022. – 52с.
2. Кунце, Вольфганг. Технологія солоду і пива. Переклад з німецької. Вища освіта, 2013.
3. Дяченко, Л. С., Павлюк, І. В. Технологія пива і безалкогольних напоїв. Київ: НУХТ, 2015.
4. Бендерський, Л. І. Технологія бродильних виробництв. Київ: НУХТ, 2012.
5. Ольшанський, М. М., Дмитрієва, О. І. Мікробіологія пива. Харків: Харківський національний університет, 2014.
6. Медведєв, О. М. Технологія пивоваріння. Київ: НУХТ, 2008.
7. Priest, F. G., Stewart, G. G. Handbook of Brewing. 2nd edition. CRC Press, 2006.
8. Briggs, D. E., Boulton, C. A., Brookes, P. A., Stevens, R. Brewing: Science and Practice. CRC Press, 2004.
9. Goldammer, Ted. The Brewer's Handbook: The Complete Book to Brewing Beer. Apex Publishers, 2008.
10. Kunze, Wolfgang. Technology Brewing and Malting. 5th edition. VLB Berlin, 2014.
11. Boulton, Christopher, Quain, David. Brewing Yeast and Fermentation. Wiley-Blackwell, 2001.

<i>Відповідальна організація</i> НУХТ	<i>Технічне узгодження</i> Якимчук Р.Л.	<i>Вид документа</i> Пояснювальна записка		<i>Статус документа</i>		
<i>Власник документа</i> НУХТ	<i>Розробник документа</i> Фузик Е.Е.	<i>Назва, додаткова назва</i> Література	230608.KP.15.000 ПЗ			
	<i>Документ затверджено</i> Якимчук М.В.		<i>Інд. змін.</i>	<i>Дата видання</i>	<i>Мова</i> UA	<i>Аркуш</i> 1/2

12. White, Chris, Zainasheff, Jamil. Yeast: The Practical Guide to Beer Fermentation. Brewers Publications, 2010.
13. Palmer, John J. How to Brew: Everything You Need To Know To Brew Beer Right The First Time. Brewers Publications, 2017.
14. Narziß, Ludwig. Abriss der Bierbrauerei. Wiley-VCH, 2005.
15. Meilgaard, Morten C. Sensory Evaluation Techniques. CRC Press, 1999.
16. Phillip C. Wankat Separation Process Engineering. Second Edition. 2007.
17. Henry's Law. Конвертер значень закону Генрі. URL: <https://henrys-law.org/henry/convert.html?Hval=1&Htype=HscpSI> (дата звернення: 20.11.2024).
18. SAO. Rearing insect larvae for animal feed. URL: <https://www.fao.org/3/AC183E/AC183E00.htm#TOC> (дата звернення: 25.11.2024).
19. Fix, George J. Principles of Brewing Science: A Study of Serious Brewing Issues. Brewers Publications, 1999.
20. Eßlinger, H. M. Handbook of Brewing: Processes, Technology, Markets. Wiley-VCH, 2009.
21. Stewart, Graham G. Beer: A Quality Perspective. Academic Press, 2017.
22. Bamforth, Charles W. Brewing Materials and Processes: A Practical Approach to Beer Excellence. Elsevier, 2016.
23. Вірченко, О. І., Гайворонська, В. О. Сучасні аспекти пивоваріння. Харків: УПА, 2019.
24. Narziß, Ludwig, Back, W. Die Bierbrauerei: Band 1. Wiley-VCH, 2012.
25. Nijkamp, J. F., van den Broek, M., Geertman, J. M. Brewing Yeast: Genome Dynamics and Fermentation Applications. Springer, 2012.
26. Papazian, Charlie. The Complete Joy of Homebrewing. HarperCollins, 2014.
27. Mussatto, Solange I. Biomass Fractionation Technologies for a Lignocellulosic Feedstock Based Biorefinery. Elsevier, 2016.

28. Pavlenko, I. V., Bondarenko, K. M. Технологічні аспекти пивоваріння.
Київ: КНТЕУ, 2020.
29. Briggs, Dennis. Malts and Malting. Springer, 2002.
30. Jackson, Michael. Great Beers: 700 of the Best from Around the World.
Dorling Kindersley, 2017.
31. Young, Tom W., Lewis, Michael J. Brewing: Science and Practice.
Springer, 2002.
32. NUFT. Young Scientists Conference 2024: Book of Abstracts. Part 2. URL:
https://conference.nuft.edu.ua/young/Books%20of%20abstracts/2024/Part_2.pdf (дата звернення: 5.11.2024).