

Міністерство освіти і науки України
Тернопільський національний технічний університет імені Івана Пулюя

інженерії машин, споруд та технологій
(повна назва факультету)
обладнання харчових технологі
(повна назва кафедри)

КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА

на здобуття освітнього ступеня

магістр

(назва освітнього ступеня)

на тему: _ Модернізація системи відведення вуглекислого газу з бродильного
апарату циліндрично – конічного типу

Виконав(ла): студент(ка) _ 6 _ курсу, групи _ МОМ-61
спеціальності _ 133 «Галузеве машинобудування»

(шифр і назва спеціальності)

(підпис)

Стефанишин Т. М.

(прізвище та ініціали)

Керівник

(підпис)

Пилипець О. М.

(прізвище та ініціали)

Нормоконтроль

(підпис)

Ворошук В.Я.

(прізвище та ініціали)

Завідувач кафедри

(підпис)

Вітенько Т.М.

(прізвище та ініціали)

Рецензент

(підпис)

Марущак П.О.

(прізвище та ініціали)

Міністерство освіти і науки України
Тернопільський національний технічний університет імені Івана Пулюя

Факультет інженерії машин, споруд та технологій
(повна назва факультету)
Кафедра обладнання харчових технологій
(повна назва кафедри)

ЗАТВЕРДЖУЮ
Завідувач кафедри
Вітенько Т.М
(підпис) (прізвище та ініціали)
« » 2024__ р.

ЗАВДАННЯ
НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ

на здобуття освітнього ступеня магістр
(назва освітнього ступеня)
за спеціальністю 133 «Галузеве машинобудування»
(шифр і назва спеціальності)
студенту Стефанишину Тарасу Миколайовичу
(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема роботи Модернізація системи відведення вуглекислого газу з бродильного апарату циліндрично – конічного типу

Керівник роботи Пилипець Оксана Михайлівна
(прізвище, ім'я, по батькові, науковий ступінь, вчене звання)

Затверджені наказом ректора від «__» 2024__ року № ____
2. Термін подання студентом завершеної роботи 18 грудня 2024р.
3. Вихідні дані до роботи Технічний паспорт та інструкції з експлуатації та технічного обслуговування і ремонту бродильного апарату

4. Зміст роботи (перелік питань, які потрібно розробити) Аналітичний огляд стану питання. Способи приготування суслу.Процеси, що протікають при головному бродінні. Оптимізації процесу бродіння та дозрівання пива. Опис основних характеристик бродильних апаратів та апаратів доброджування. Конструкції бродильні апарати. Будова та принцип роботи циліндрично-конічних бродильних апаратів.Техніко-економічне обґрунтування рішень. Розділ 2. Об'єкт, методи та методика досліджень. 2.1. Потенційні ризики та їх уникнення. Аналітичний підхід до удосконалення системи бродіння. Об'єкти досліджень та предмет досліджень. Принцип роботи системи "зонта". Моделювання поверхні транспортуючих потоків рідин і газів. Моделювання руху газу в трубопроводі за допомогою FlowVision Моделювання течії газу в трубопроводі. Розрахункова частина. Оцінка теплових потоків через сусло до та після модернізації. Розрахунок об'єму сусла у ЦКБА. Розрахунок напружень у сферичній частині апарату. Розрахунок напружень у 2 зоні апарату. Розрахунок конструкції зонт. Визначення товщини стінки зонта. Розрахунок фланцевого з'єднання труби. Тепловий розрахунок процесу бродіння в циліндрично-конічному бродильному апараті (ЦКБА). Оцінки енергетичного потенціалу бродіння середовища. Математичний опис впливу циркуляції на динаміку розчинення та виділення CO₂ Математичний опис потоку газу через зонт. Розподіл параметрів вздовж осі труби при транспортуванні газу. Охорона праці та безпека життєдіяльності. Специфікації. Список використаних джерел
5. Перелік графічного матеріалу (з точним зазначенням обов'язкових креслень, слайдів) загальний вигляд. Воздуходувка. Наковий лист 1,2. Розподіл температури в області зонта Векторний розподіл потоку: осьовий, тангенціальний і радіальний компоненти швидкості Вектор швидкості рух CO₂. Зміна температури по висоті трубопроводу

6. Консультанти розділів роботи

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	завдання прийняв
<i>Нормоконтроль</i>	<i>Ворощук В.Я. – к.т.н., доцент</i>		
<i>Охорони праці</i>	<i>Кравець О.І. – к.т.н., доц,</i>		
<i>Цивільна безпека</i>	<i>Стручок В.С.- ст. викладач</i>		

7. Дата видачі завдання _____

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва етапів роботи	Термін виконання етапів роботи	Примітка
	Аналітичний огляд стану питання. Способи приготування сусла.		
	Процеси, що протікають при головному бродінні.		
	Оптимізації процесу бродіння та дозрівання пива..		
	Опис основних характеристик бродильних апаратів та апаратів доброджування		
	Конструкції бродильні апарати. Будова та принцип роботи циліндрично-конічних бродильних апаратів..		
	Техніко-економічне обґрунтування рішень. Розділ 2. Об'єкт, методи та методика досліджень.		
	Потенційні ризики та їх уникнення. Аналітичний підхід до удосконалення системи бродіння		
	. Об'єкти досліджень та предмет досліджень		
	Моделювання поверхні транспортуючих потоків рідин і газів.		
	Моделювання руху газу в трубопроводі за допомогою FlowVision		
	Моделювання течії газу в трубопроводі. Розрахункова частина.		
	Оцінка теплових потоків через сусло до та після модернізації.		
	Розрахунок об'єму сусла у ЦКБА. Розрахунок напружень у сферичній		
	частині апарату. Розрахунок напружень у 2 зоні апарату		
	Розрахунок конструкції зонт. Визначення товщини стінки зонта.		
	Розрахунок фланцевого з'єднання труби. Тепловий розрахунок процесу		
	бродіння в циліндрично-конічному бродильному апараті (ЦКБА)		
	Оцінки енергетичного потенціалу бродіння середовища.		
	Математичний опис впливу циркуляції на динаміку розчинення та виділення CO		
	Математичний опис потоку газу через зонт.		
	Розподіл параметрів вздовж осі труби при транспортуванні газу.		
	Математичний опис динаміки виділення CO ₂		
	Охорона праці та безпека життєдіяльності.		
	Список використаних джерел		
	висновки		
	Специфікації.		

Студент

(підпис)

Стефанишин Тарас Миколайович
(прізвище та ініціали)

Керівник роботи

(підпис)

Пилипець Оксана Михайлівна
(прізвище та ініціали)

Зміст

Розділ 1. Аналітичний огляд стану питання

- 1.1. Способи приготування сусла
- 1.2. Процеси, що протікають при головному бродінні.
 - 1.2.1. Оптимізації процесу бродіння та дозрівання пива
- 1.3. Опис основних характеристик бродильних апаратів та апаратів доброджування
 - 1.3.1. Конструкції бродильні апарати
 - 1.3.2. Будова та принцип роботи циліндрично-конічних бродильних апаратів
2. Техніко-економічне обґрунтування рішень
3. Розділ 2. Об'єкт, методи та методика досліджень
 - 2.1. Потенційні ризики та їх уникнення
 - 2.1.1. Аналітичний підхід до удосконалення системи бродіння
 - 2.2. Об'єкти досліджень та предмет досліджень
 - 2.2.1. Принцип роботи системи "зонти"
 - 2.3. Моделювання поверхні транспортуючих потоків рідин і газів
 - 2.3.1. Моделювання руху газу в трубопроводі за допомогою FlowVision
 - 2.3.2. Моделювання течії газу в трубопроводі

Розділ 3. Розрахункова частина

- 3.1. Оцінка теплових потоків через сусли до та після модернізації
- 3.2. Розрахунок об'єму сусли у ЦКБА
 - 3.2.1. Розрахунок напружень у сферичній частині апарату
 - 3.2.2. Розрахунок напружень у 2 зоні апарату
- 3.3. Розрахунок конструкції зонти
 - 3.3.1. Визначення товщини стінки зонти
- 3.4. Розрахунок фланцевого з'єднання труби
 - 3.4.1. Розрахунок болтового з'єднання
 - 3.4.2. Розрахунок параметрів кріплення для апарату з прокладкою
 - 3.4.3. Розрахунок патрубків
- 3.5. Тепловий розрахунок процесу бродіння в циліндрично-конічному бродильному апараті (ЦКБА)

Розділ 4. Дослідна частина й узагальнені результати використання зонти

- 4.1. Оцінки енергетичного потенціалу бродіння середовища
 - 4.1.1. Математичний опис впливу циркуляції на динаміку розчинення та виділення CO₂
- 4.2. Оцінка споживчої потужності для транспортування газу
- 4.3. Математичний опис потоку газу через зонти
- 4.4. Розподіл параметрів вздовж осі труби при транспортуванні газу
5. Охорона праці та безпека життєдіяльності
6. Специфікації
7. Список використаних джерел

Анотація

Темою магістерської роботи Стефанишина Т.М. є «Модернізація системи відведення вуглекислого газу з бродильного апарату циліндрично – конічного

типу». Робота складається з пояснювальної записки, у якій висвітлено основні питання змісту, та 10 листів формату А1 графічної частини.

В даній роботі наведено порівняльний аналіз існуючих аналогів обладнання, що модернізується. Проведено обґрунтування модернізації апарата, а також подається ряд розрахунків, які уточнюють чи спростовують обрані параметри обладнання, а саме: технологічні, конструктивні, енергетичні та теплові.

Робота включає також дослідну частину, в якій наведено методику проведення досліджень та узагальнення результатів. Розглянуто питання «Охорона праці та надзвичайні ситуації» із наведеними рекомендації щодо безпечного обслуговування даної установки та шляхи у випадку надзвичайних ситуацій.

Ключові слова: вуглекислий газ, бродіння, середовище, апарат, зонт.

Вступ

Виробництво солоду і пива є важливою складовою агропромислового комплексу України, що має глибоке історичне коріння. У сучасних умовах пріоритетними завданнями галузі є підвищення якості продукції, зменшення енерговитрат, а також забезпечення стабільності виробів. Через високу енергоємність, пивоварна промисловість, включно з виробництвом солоду, потребує впровадження заходів, спрямованих на оптимізацію енергоспоживання. Це сприяє підвищенню конкурентоспроможності, зменшенню негативного впливу на довкілля та зростанню рентабельності виробництва.

Технологічний процес виробництва солоду складається з таких етапів: підготовка ячменю, замочування, пророщування, сушіння та відлежування. Під час виконання цих операцій застосовуються механічні та гідродинамічні методи, а також здійснюються аерація зернових сумішей, кондиціонування повітря, зволоження зерна, біохімічні реакції, процеси сушіння та відокремлення ростків. Серед найбільш енергоємних процесів слід відзначити замочування зерна, кондиціонування повітря, аерацію під час пророщування та сушіння солоду. Пророщування, яке здійснюється в температурному діапазоні 12–17 °С, вимагає значних витрат енергії, зокрема для підготовки повітря. Влітку це пов'язано з охолодженням, а взимку — з нагріванням.

Розділ

1

Аналітичний огляд стану питання

Способи приготування сусла

Технологія виробництва пива зберігають свою основу протягом багатьох століть, що пов'язано з традиційними особливостями та специфікою цього продукту. Незмінними залишаються основні інгредієнти: ячмінний солод, хміль, дріжджі та вода. Технологічний процес традиційно включає приготування сусла в заторних і сусловарильних апаратах, які раніше виготовляли переважно з міді.

У сучасному виробництві для цих цілей широко використовують апарати з харчової нержавіючої сталі, які забезпечують не менш якісний результат та мають кращі експлуатаційні характеристики. Крім того, замість класичних фільтрувальних чанів все частіше застосовують пластинчасті фільтри, які характеризуються вищою продуктивністю та ефективністю у процесі фільтрації сусла.

Важливою перевагою нових матеріалів та обладнання є їхня довговічність, простота в обслуговуванні та здатність забезпечувати стабільну якість кінцевого продукту. Це дозволяє виробникам адаптувати традиційні методи до сучасних промислових умов без втрати характерних властивостей пива.

Бродильні апарати до середини ХХ століття зазвичай виготовляли відкритими, найчастіше прямокутної або циліндричної форми, що нагадували танки. Використання прямокутних апаратів мало перевагу в ефективнішому розташуванні обладнання в приміщенні, що сприяло максимальному використанню площі цеху.

Конструкція прямокутного апарата передбачала встановлення патрубків для зливання молодого пива на бічній стінці, на висоті 10–15 см від днища. Додатково на днищі розташовувався патрубок для відведення дріжджів, що значно полегшувало обслуговування обладнання. Для забезпечення температурного контролю в процесі бродіння усередині апарата монтували охолоджувальний змійовик, який відводив тепло, що виділялося під час ферментації.

Ця конструкція, хоча і мала свої переваги, з часом була вдосконалена завдяки появі більш герметичних і ефективних систем, що забезпечують краще збереження якості продукту та гігієнічність процесу. Для підвищення ефективності охолодження бродильних чанів змійовики часто вмонтовували навіть у бетонні стінки. Однак використання бетонних ємностей мало свої недоліки: з часом бетон утворював тріщини, які ставали місцем накопичення сторонньої мікрофлори. Для запобігання цьому тріщини заповнювали церезином, воском та іншими подібними матеріалами. Проте такі заходи не

забезпечували необхідної гігієни, а обладнання не відповідало сучасним санітарним нормам, що негативно впливало на якість готового пива.

У зв'язку з цим традиційні бетонні чани були поступово замінені на закриті горизонтальні циліндричні танки об'ємом від 8 до 50 м³. Ці ємності стали універсальними, оскільки їх можна використовувати як для головного бродіння, так і для доброджування зеленого пива в лагерних відділеннях. Закриті конструкції забезпечували кращу ізоляцію від зовнішнього середовища, що сприяло дотриманню санітарних норм і підвищенню стабільності процесу ферментації.

На рис. 1.1 представлено зовнішній вигляд сучасного відділення для доброджування, виконаного за традиційною технологією, але з використанням сучасних матеріалів і обладнання. Такий підхід забезпечує високу якість пива та відповідає сучасним вимогам до виробничих процесів.

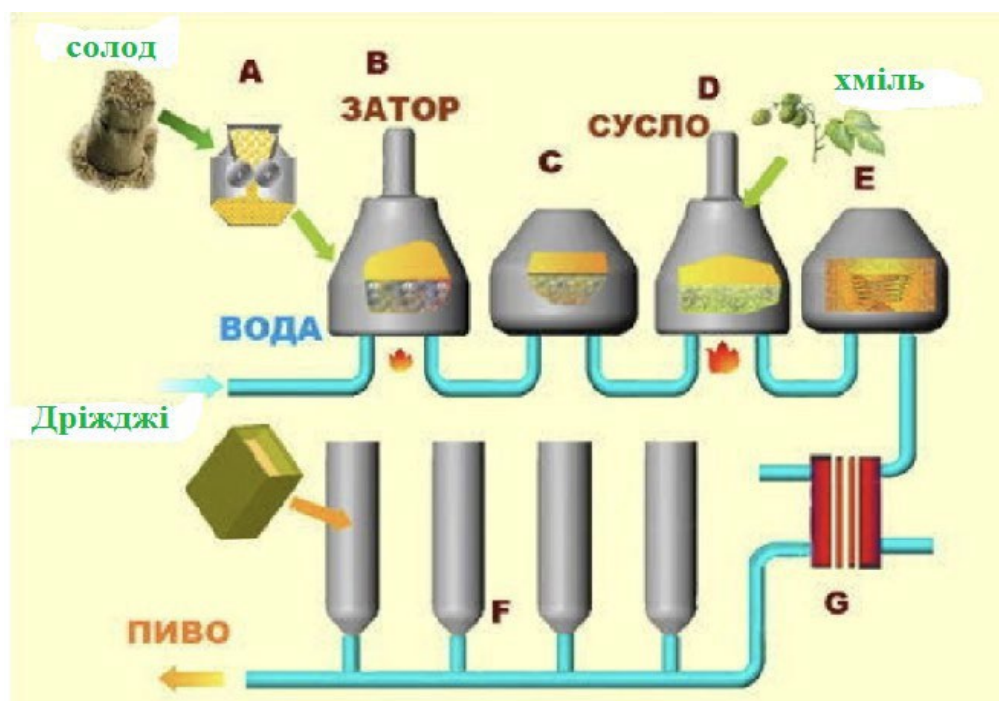


Рис. 1.1.Схема сучасного відділення для доброджування пива

Революція змін в технології бродіння розпочалася завдяки ініціативам провідних транснаціональних корпорацій, таких як Anheuser-Busch InBev (Бельгія), Guinness (Велика Британія), SABMiller (Велика Британія), Heineken N.V. (Нідерланди), Carlsberg (Данія) та інших компаній з Європи та Америки. Основним стимулом для цих змін стало прагнення прискорити технологічні процеси, скоротивши виробничі витрати, з метою максимізації прибутків.

Однією з помітних інновацій було впровадження нових методів роботи з дріжджами. Наприклад, компанія Guinness розробила та почала використовувати спеціальну суміш із п'яти унікальних штамів дріжджів. Ця суміш стала ключовим елементом у технології виробництва всіх різновидів пива під брендом «Гіннес». Завдяки цьому підходу компанія досягла стабільної якості продукції та зберегла характерний смак, що вирізняє їхній продукт на світовому ринку.

Такі інновації не лише підвищили ефективність процесів, а й відкрили нові можливості для удосконалення пивоваріння, зберігаючи при цьому унікальні властивості традиційних сортів пива. У цьому випадку процес бродіння проходить у прискореному режимі за підвищеної температури (приблизно 25 °C), що дозволяє скоротити час виробництва пива до двох діб. Для порівняння, за традиційними технологіями дозрівання темних і міцних сортів пива, таких як «Гіннес», може тривати до двох років.

Прискорений метод має свої недоліки, зокрема формування нестійкої піни. Для вирішення цієї проблеми пиво насичують азотом, що дозволяє стабілізувати піну та забезпечити її характерну текстуру, особливо для сортів з кремовою консистенцією. Інший підхід до прискорення виробництва полягає у впровадженні напівбезперервних технологій. Такий метод реорганізації виробничих процесів дозволяє поєднувати переваги традиційного пивоваріння з підвищенням продуктивності, зберігаючи при цьому базові характеристики пива. Це сприяє зниженню витрат часу та ресурсів, що є особливо актуальним для великих пивоварних компаній.

Напівбезперервне бродіння здійснюється виключно в закритих бродильних апаратах, які з'єднують у батареї, що складаються з розброджувача та п'яти бродильних апаратів. Норма внесення дріжджів становить 0,6–1 літра на 1 гектолітр сусла. Процес починається із заповнення розброджувача суслом з температурою 6–8 °C, яке перемішують протягом 30 хвилин для рівномірного розподілу дріжджів. Потім у розброджувачі сусло піддається бродінню протягом 24 годин. Після цього половину об'єму сусла перекачують у перший

бродильний апарат, а обидва резервуари доливають свіжим суслом до повного об'єму.

З інтервалом в одну добу цей процес повторюють, поступово заповнюючи всі бродильні апарати. Завдяки цьому пивне сусло проходить бродіння під умовами надлишкового тиску, який підтримується для забезпечення потрібного рівня карбонізації. Загальний час бродіння становить 5–6 діб, що дозволяє значно прискорити виробничий цикл без суттєвого зниження якості продукту.

Процес доброджування пива здійснюється за низьких температур, від 0 до 2 °С, у закритих апаратах, які працюють під надлишковим тиском у межах 0,03–0,06 МПа. Ці умови забезпечують повільне бродіння, що сприяє формуванню характерного смаку, аромату та стабільності напою. Тривалість доброджування значною мірою залежить від сорту пива. Для легших сортів, таких як «Жигулівське», цей процес триває близько 21 доби. Темні, міцні або спеціальні сорти, наприклад лагери чи елі, потребують тривалішого періоду, що може сягати до 90 діб.

На рис. 1.2 представлено сучасне відділення для доброджування пива, яке здійснюється у вертикальних ємкостях. Такі резервуари дозволяють економніше використовувати площу, забезпечують рівномірний розподіл температури та тиску, а також спрощують контроль за процесом.



Рис. 1.2. Відділення для доброджування пива у вертикальних ємностях

Поєднання бродіння і доброджування вплинуло на скорочення тривалості до 12–18 діб. Це залежить від концентрації сусла на початку. Отже технологія є простою, а капвитрати на апарати істотно зменшуються. Проте отримання при тривалому циклі бродіння гарантує апарат м'який, цілісний смак пива. Циліндроконічні апарати оснащені теплоізоляційним покриттям, що дозволяє встановлювати просто неба.

3.1. Процеси, що протікають при головному бродінні.

Основу екстракту сусла складають вуглеводи, близько 75% яких підлягають ферментації (тобто зброджуються в процесі бродіння). Решта частина екстракту включає незброджувані речовини, такі як декстрини, білки, мінеральні елементи та інші компоненти. У процесі спиртового бродіння в суслі відбуваються біологічні, біохімічні та фізико-хімічні зміни. Поживні речовини, які потрапляють із сусла до дріжджових клітин, під дією ферментів трансформуються у проміжні продукти. Ці продукти використовуються для процесів спиртового бродіння, а також забезпечують ріст і розвиток дріжджів. Найактивніше розмноження дріжджів, що є біологічним процесом, відбувається на початковій стадії ферментації пивного сусла. Цей етап завершується значно раніше, ніж закінчується сам процес бродіння.

У процесі зброджування сахаридів, переважно в умовах доступу кисню (аеробних), пивне сусло трансформується в молоде пиво. Продукти, які утворюються під час спиртового бродіння, відіграють ключову роль у формуванні характерного смаку та аромату напою, що утворює його унікальний букет.

На етапі доброджування, коли температура молодого пива поступово знижується, у бродильному апараті формується надлишковий тиск. У таких умовах бродіння переходить у стадію, що наближається до анаеробного режиму, що також впливає на завершальний хімічний склад та органолептичні властивості пива. На цьому етапі активне розмноження дріжджових клітин значно сповільнюється. Основна частина зброджених цукрів витрачається на синтез етилового спирту та утворення діоксиду вуглецю.

Проведення основного бродіння включає комплекс операцій, спрямованих на контроль і регулювання умов процесу. До них належать підтримання оптимальної температури, контроль тривалості ферментації, ступеня зброджування та внесення чистої культури дріжджів. Найважливіший вплив на перебіг бродіння мають такі фактори, як тип використаних дріжджів, температура сусла, що зброджується, та рівень бактеріальної чистоти.

Для проведення основного бродіння використовується бродильний апарат, який забезпечує оптимальні умови для процесу. Типовий бродильний апарат має такі основні характеристики:

1. Конструкція: зазвичай це циліндрично-конічна ємність із гладкими внутрішніми стінками для запобігання накопиченню залишків сусла та дріжджів.
2. Матеріал: виготовлений із нержавіючої сталі, що забезпечує стійкість до корозії та дотримання санітарно-гігієнічних норм.
3. Об'єм: апарати можуть мати різний робочий об'єм — від кількох сотень літрів до декількох десятків тонн залежно від масштабу виробництва.
4. Система охолодження: забезпечує підтримання оптимальної температури процесу (зазвичай у діапазоні 8–12°C для низових дріжджів і 16–22°C для верхових).
5. Система контролю: оснащений датчиками температури, тиску та рівня рідини, а також пристроями для аерації сусла або створення анаеробних умов.
6. Герметичність: запобігає потраплянню небажаних мікроорганізмів і забезпечує контроль надлишкового тиску.

Для бродіння сусла використано метод низового шумування, що передбачає застосування дріжджів низового бродіння. Ці дріжджі ефективно ферментують майже всі цукриди, за винятком лактози, декстринів і частково мальтотріози.

Початкова температура бродіння, тобто температура сусла на момент внесення насіннєвих дріжджів, становить від 5 до 8°C. Цей температурний режим забезпечує оптимальні умови для роботи дріжджів низового бродіння,

сприяючи рівномірному процесу ферментації та формуванню бажаних характеристик пива.

Проведення головного бродіння складається з трьох ключових технологічних операцій: наповнення бродильного апарату охолодженим суслом, внесення дріжджів у сусло та зброджування до отримання молодого пива.

Окрім основних етапів, процес включає низку додаткових операцій:

- видалення деки — тонкого шару коричневої піни, що утворюється на поверхні сусла;
- перекачування молодого пива на етап доброджування;
- відбір і підготовка насінневих дріжджів для подальшого використання;
- очищення, дезінфекція та підготовка бродильного апарату до нового циклу.

Ці операції є критичними для забезпечення санітарної чистоти, стабільності процесу та високої якості кінцевого продукту.

Перед внесенням дріжджів до бродильного апарату їх попередньо підготовлюють. У спеціальній ємності дріжджі змішують із холодним пивним суслом у співвідношенні 2–6 дм³ сусла на 1 дм³ дріжджів. Суміш ретельно перемішують за допомогою стерильного стисненого повітря або механічної мішалки.

Після перемішування суміш залишають на 1–3 години для початкового розброджування при температурі близько 6°C. Цей етап забезпечує активацію дріжджових клітин і створює умови для ефективного старту ферментації в основному бродильному апараті.

Заповнення бродильного апарату суслом через вхідний патрубок встановлено порожнистий стакан. Це запобігає попаданню дріжджів до апаратів доброджування на подальших етапах процесу.

Холодне сусло з температурою 5–7°C надходить у підготовлений бродильний апарат у кількості, достатній для покриття його дна. Після цього додають дріжджі, які згодом братимуть участь у процесі бродіння. Дріжджі ретельно перемішують із суслом, а потім апарат заповнюють суслом до його повної місткості.

Головне бродіння проходить у кілька стадій, які відрізняються зовнішніми ознаками на поверхні сусла, змінами екстрактивності та ступеня освітлення молодого пива.

На першій стадії бродіння по краях поверхні зброджуваного сусла утворюється смуга ніжно-білої піни. Ця стадія триває 1–1,5 доби і супроводжується активним брунькуванням і розмноженням дріжджів. У цей період екстрактивність сусла знижується на 0,2–0,5% за добу, рівень рН падає на 0,15–0,2, а температура сусла підвищується на 0,2–0,3°C за добу.

Друга стадія бродіння характеризується посиленням виділенням діоксиду вуглецю та формуванням густої, компактної піни, яка піднімається та утворює завитки гарної форми. Спочатку біла, піна поступово темніє через окислення хмелевими смолами й часткове зневоднення.

Протягом цього періоду екстрактивність сусла знижується на 0,5–1% за добу, а рівень рН наприкінці стадії досягає значень 4,9–4,7 (порівняно з початковим рівнем 5,6). Температура сусла підвищується на 0,5–0,8°C за добу. Тривалість стадії становить 2–3 доби.

Третя стадія бродіння характеризується максимальною інтенсивністю бродіння та досягненням найвищої температури процесу. Спад екстрактивності сусла в цей період становить 1–1,5% на добу. Піна стає рихлою та об'ємною, завитки досягають найбільшої величини. Верхні частини завитків набувають коричневого кольору, тоді як нижні залишаються білими. Рівень рН знижується до 4,6–4,4.

На цьому етапі розмноження дріжджів припиняється через дефіцит кисню та зменшення кількості поживних речовин. Тривалість стадії — 3–4 доби. На початку цієї стадії сусло необхідно охолоджувати для підтримання оптимальних умов бродіння.

Четверта стадія бродіння де піна опадає, а завитки зникають, внаслідок чого поверхня сусла покривається тонким шаром деки. Процес обпадання завитків триває близько 2 діб. Екстрактивність сусла знижується на 0,5–0,2% на добу. Водночас припиняється розмноження дріжджів, і процес бродіння завершується. Температура сусла досягається приблизно на 3-й день бродіння, і

її підтримують на цьому рівні протягом 1-2 діб, намагаючись уникнути значних коливань. Після цього молоде пиво поступово охолоджують зі швидкістю 1°C на добу, оскільки дріжджі дуже чутливі до різкого зниження температури.

Відомо, що розчинність CO₂ збільшується при зниженні температури, тому для збереження максимально можливої концентрації розчиненого газу в молодому пиві температуру перед передачею пива на доброджування знижують до 5-4°C. Вміст діоксиду вуглецю в молодому пиві зазвичай становить близько 0,2%. У процесі головного бродіння велика частина екстрактивних речовин перетворюється на продукти бродіння. Протягом цього процесу здійснюється контроль за ступенем зброджування сусла.

Метою стадії доброджування є отримання пива з приємним смаком, характерним специфічним ароматом і достатнім насиченням діоксидом вуглецю. Це досягається завдяки складним фізико-хімічним та біохімічним процесам, які відбуваються в молодому пиві при низькій температурі та надлишковому тиску. Молоде пиво містить приблизно 1,5-3,5 мільйона дріжджових клітин на 1 см³. Така кількість дріжджів достатня для накопичення необхідної концентрації спирту в готовому пиві та для нормального насичення його діоксидом вуглецю. Надлишок дріжджів у молодому пиві може спричиняти неприємний дріжджовий присмак.

3.1.1. Оптимізації процесу бродіння та дозрівання пива

Для оптимізації процесу бродіння та дозрівання пива, можна використати певні технічні та фізико-хімічні аспекти, що дозволяють досягти найкращих результатів у зниженні ароматичних речовин, освітленні пива та збереженні його смакових якостей. Підтримка тиску на етапі бродіння (0,2 МПа) важливе для забезпечення стабільної інтенсивності бродіння, оскільки це контролює швидкість виділення газів (CO₂) і підтримує необхідну температуру.

Температура 9,5°C створює сприятливі умови для роботи дріжджів низового бродіння, адже цей діапазон температур є оптимальним для їх активності без значних коливань.

Процес промивання двооксидом вуглецю ефективно знижує кількість ароматичних компонентів у молодому пиві. Газ допомагає позбавити пиво від небажаних запахів та газів, що виділяються під час бродіння. Важливо підтримувати тиск, щоб зберігати CO₂ в рідкому стані в апараті до моменту швидкого зниження цього тиску для ефективного промивання.

Після бродіння і промивання сусло охолоджується для зупинки бродіння та для осадження частинок, які можуть впливати на прозорість пива. Охолодження до 5°C є ефективним для того, щоб дрібні частинки осідали раніше великих. Тому, якщо забезпечити контроль температури, можна дозволити дрібним частинкам зв'язуватися з більшими, що сприяє їх осадженню і дає можливість отримати прозоре пиво.

Після осідання частинок пиво переходить в стан дозрівання, де важливим аспектом є освітлення, що визначається швидкістю і якістю осадження часток. Маленькі частинки, що адсорбуються на великих, дозволяють забезпечити кращу прозорість пива. Це може бути важливим етапом для пивоварів, які прагнуть досягти кристально чистого вигляду пива.

Важливо забезпечити правильне управління розміром частинок, щоб вони осідали у відповідному порядку: великі частки осідають після дрібних, не знижуючи прозорість пива. Ці аспекти є важливими для досягнення максимальної ефективності на етапах бродіння і дозрівання пива. Однак, також важливими є налаштування обладнання для контролю тиску і температури для оптимізації процесу.

Рішення щодо встановлення системи відбору CO₂ з використанням труби діаметром 40 мм та компресора для нагнітання газу в кінчну частину бродильного апарату є логічним, проте є кілька технічних моментів, які варто врахувати для забезпечення ефективної роботи цієї системи. Важливо контролювати концентрацію CO₂ в бродильному апараті, оскільки надмірна концентрація газу може обмежити доступ кисню для дріжджів, що може уповільнити їх активність. Це може бути критично важливо на початкових етапах бродіння, коли важливо забезпечити оптимальну аерацію. Подавати CO₂

потрібно з розумінням того, що він має не лише покращувати умов для бродіння, а й не заважати оптимальній роботі дріжджів.

3.2. Опис основних характеристик бродильних апаратів та апаратів доброджування

Бродильні апарати та апарати доброджування є важливими елементами пивоварного виробництва, і їх конструкція повинна забезпечувати ефективне протікання процесів бродіння та дозрівання пива. Форма та конструкція бродильних апаратів є різно. Прямокутна форма використовується для максимально ефективного використання площі бродильного відділення. Така конструкція забезпечує більше місця для процесу бродіння, але потребує додаткових проходів для обслуговування. Циліндрична форма завдяки простоті конструкції і легкості в обслуговуванні, хоча така форма менш ефективна в плані використання площі, порівняно з прямокутною.

Не повинна перевищувати 2 метри, оскільки це забезпечує оптимальні умови для осадження дріжджів і запобігає виникненню проблем з їх видаленням з апарату. Вища висота може ускладнити процес осадження та видалення дріжджів.

Патрубок для зливу молодого пива розташовується на висоті 10-15 см від дна бродильного апарата. Це дозволяє зібрати готове пиво, залишаючи внизу дріжджі та осад.

Патрубок для видалення дріжджів розташований в нижній частині апарата, забезпечує ефективне відведення осаджених дріжджів з апарата після завершення процесу бродіння. Охолоджуючий змійовик встановлюється усередині апарата для відведення тепла, що виділяється під час бродіння. Бродіння є екзотермічним процесом, і виділене тепло може призвести до перегріву, що знизить ефективність роботи дріжджів. Охолодження дозволяє підтримувати оптимальну температуру для процесу бродіння.

Для запобігання втратам CO₂ та контролю над тиском всередині апарата, бродильні апарати обладнані герметичними кришками. Це забезпечує

створення потрібного тиску для оптимального бродіння та можливість вловлювання CO_2 , який виділяється при бродінні.

Після завершення основного етапу бродіння пиво переміщається в апарат доброджування, де воно продовжує дозрівати при низьких температурах (приблизно 5°C). Це дозволяє пиву покращити смакові властивості, зменшити вміст ароматичних речовин та забезпечити насичення пива CO_2 . В апаратах доброджування також проводиться фільтрація та осадження частинок, що залишаються після бродіння.

Пивоварний процес вимагає детальної уваги до конструкції бродильних та доброджувальних апаратів, оскільки правильне проектування цих апаратів забезпечує ефективність бродіння, дозрівання пива і покращує якість кінцевого продукту.

3.2.1. Конструкції бродильні апарати

Циліндричні горизонтальні бродильні апарати одержали широке поширення незважаючи на те, що їхня корисна місткість, віднесена до 1 м^3 обсягу бродильного приміщення, менше, ніж у прямокутних апаратів.

Технічна характеристика апарата головного бродіння Б-604 (рис.1.3).

Циліндричні горизонтальні бродильні апарати, модель Б-604, використовуються в пивоварінні для ефективного проведення процесу основного бродіння. Ці апарати отримали популярність завдяки своїм конструктивним перевагам, хоча їхня корисна місткість на 1 м^3 обсягу бродильного приміщення дещо менша, ніж у прямокутних апаратів.

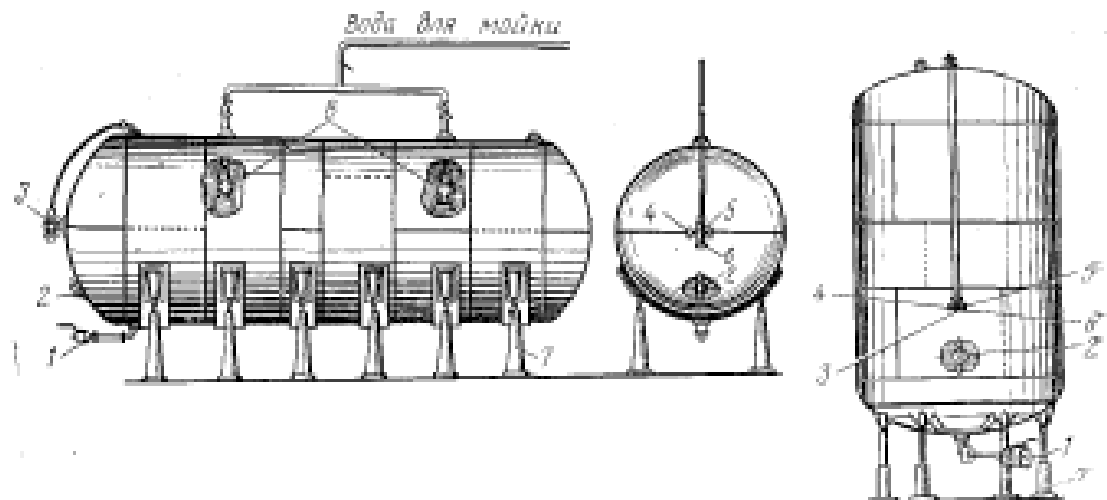


Рис.1.3. Бродильно-лагерний апарат: 1 - кран подачі й спуска пива; 2 - лючок; 3 – крани пробні; 4 - штуцери; 5 -штуцер манометра; 6 – штуцер для стиснутого повітря; 7 – опора; 8 – пристрій мийки апарата

Технічні характеристики апарата Б-604, які можуть бути типові для таких бродильних апаратів:

1. Тип апарата: Циліндричний горизонтальний бродильний апарат.
2. Корисний обсяг: Зазвичай варіюється залежно від конкретної модифікації, але для Б-604 обсяг може бути від 100 до 500 м³.
3. Матеріал конструкції: Сталь, яка забезпечує довговічність та стійкість до корозії. Для підвищення ефективності охолодження можуть використовуватися внутрішні охолоджуючі змійовики або теплообмінники.
4. Габаритні розміри:
 - Довжина: приблизно 7-10 м.
 - Діаметр: від 2 до 3 м для стандартних бродильних апаратів, у разі апарата Б-604 цей параметр може коливатися.
5. Робочий тиск: до 0,3-0,5 МПа, залежно від конструкції і вимог процесу.
6. Температура бродіння: Під час основного бродіння температура зазвичай коливається від 9 до 12°C.
7. Патрубки для зливу:
 - Для пива: Зазвичай на висоті 10-15 см від дна апарата.
 - Для дріжджів: На нижній частині апарата, що дозволяє ефективно видаляти осаджені дріжджі.
8. Охолодження: У апаратах Б-604 можуть бути встановлені охолоджувальні змійовики або змішувачі для підтримки температури бродіння на потрібному рівні.
9. Видалення CO₂: Апарат оснащений герметичними кришками для утримання CO₂ під час бродіння. Це дозволяє підтримувати необхідний тиск та вловлювати газ, що виділяється при бродінні.

Особливості конструкції:

- Герметичні кришки: Для утримання газу та контролю тиску.

- Швидкість бродіння: Залежить від типу пивоварного процесу та вибраної температури.
- Робоча температура: При основному бродінні температура підтримується на рівні 9-12°C, залежно від виду пива.
- Механізми для видалення осаду: Патрубки для зливу дріжджів та іншого осаду, що утворюється в процесі бродіння.
- Використання CO₂: Газ, що виділяється під час бродіння, може бути вловлений та використаний для додаткових технологічних процесів або навіть для створення тиску в системі.

Переваги циліндричних горизонтальних апаратів:

1. Оптимізація простору: Вони займають менше місця в порівнянні з вертикальними апаратами.
2. Ефективність: Завдяки горизонтальному розміщенню, досягається більш рівномірний розподіл температури та газу.
3. Зручність обслуговування: Легше зливати пиво та видаляти дріжджі.
4. Економія енергії: Завдяки кращій теплообміні та герметичності апарата, знижується потреба в додатковому охолодженні.

Ці апарати є важливими в процесі пивоваріння та здатні забезпечити ефективне бродіння та дозрівання пива при заданих параметрах температури та тиску.

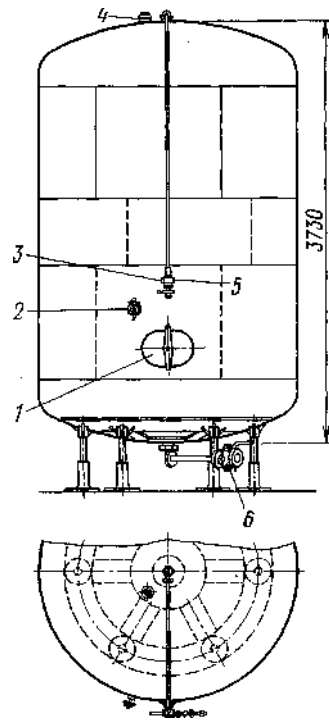


Рис 1.4. Вертикальний апарат доброджування

Опис вертикального апарата доброджування виглядає наступним чином: Люк – отвір, що забезпечує доступ до внутрішньої частини апарата для обслуговування, очищення та інспекції. Люк часто розташовується на верхній частині апарата для зручності роботи з ним.

Пробні крани – використовуються для відбору проб пива на різних етапах процесу доброджування. Це дозволяє контролювати якість продукту і визначати, коли процес завершено.

Штуцер для шпунта-апарата – пристрій для підключення до шпунта-апарата, через який в апарат подається діоксид вуглецю (CO_2) для підтримання тиску або контролю за рівнем газів.

Запобіжний клапан – механізм, який запобігає підвищенню тиску в апараті вище допустимого рівня, забезпечуючи безпеку експлуатації. Клапан автоматично відкривається при досягненні заданого тиску. Штуцер для манометра – точка підключення манометра, що використовується для вимірювання внутрішнього тиску в апараті. Це необхідно для контролю за процесом і запобігання перевищенню допустимого тиску.

Кран для наповнення танка й спуску готового пива – використовуються для введення пива в апарат (наприклад, на початку процесу доброджування) і для випуску готового пива після завершення процесу.

Цей опис дає загальне уявлення про основні компоненти вертикального апарата доброджування, зокрема для пивоварних або інших ферментаційних процесів.

Процес бродіння та доброджування пива в окремих апаратах має кілька недоліків, які можуть негативно впливати на загальну ефективність виробництва. Втрати пива, тепла та енергоресурсів, а також ймовірні втрати якості продукту є значними факторами, які підвищують собівартість та зменшують прибутки.

Для вирішення цих проблем можна розглянути такі варіанти:

Розробка єдиного комбінованого апарата, в якому одночасно відбуваються обидва процеси, дозволяє усунути необхідність у перекачуванні пива між апаратами. Це дозволить знизити втрати пива та скоротити час на переміщення, а також мінімізувати контакт пива з атмосферою, що може сприяти збереженню його якості.

Використання теплоізоляційних матеріалів та систем для рекуперації тепла дозволить знизити втрати тепла під час процесу бродіння та доброджування. Це допоможе зекономити енергоресурси та стабілізувати температурний режим в апараті, що має позитивний вплив на якість пива.

Встановлення датчиків для моніторингу температури, тиску та інших параметрів під час процесу бродіння та доброджування дозволить автоматично коригувати умови для оптимізації процесу. Це дозволить значно підвищити ефективність і зменшити потребу у ручному втручанні.

Використання матеріалів з високою корозійною стійкістю, таких як нержавіюча сталь або алюміній, може зменшити ризик погіршення якості пива через взаємодію з матеріалом апарата. Це також може продовжити термін служби обладнання і знизити витрати на його обслуговування.

Оновлення або заміна старих систем на більш ефективні та енергоощадні моделі може значно знизити витрати на енергоресурси та забезпечити

стабільність якості пива. Враховуючи всі ці аспекти, можна значно поліпшити виробничу ефективність та знизити собівартість продукції.

Зважаючи на всі ці фактори, для покращення якості пива, підвищення ефективності виробництва та зменшення ризиків необхідно застосовувати комплексний підхід до проектування та експлуатації обладнання для бродіння і доброджування, включаючи інноваційні технології, які забезпечують безпеку, автоматизацію процесів та енергозбереження.

Циліндро-конічний бродильний апарат (ЦКБА) французької фірми «**Mëura**» є одним із прикладів високотехнологічного обладнання для пивоварної промисловості, що активно застосовується в країнах з традиційними пивоварними технологіями, таких як Франція та інші європейські країни.

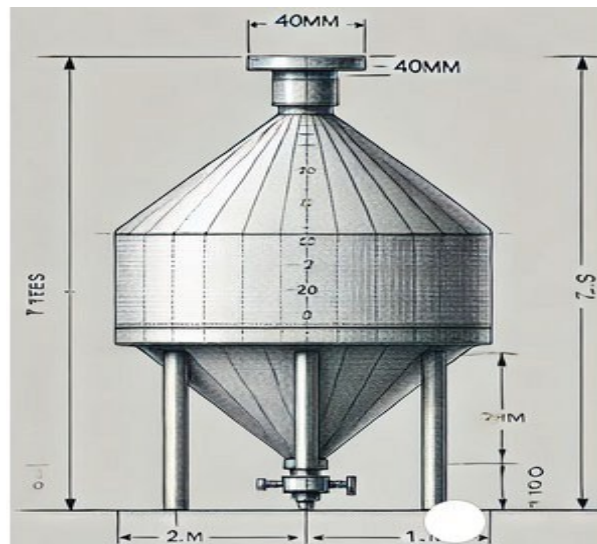


Рис. 1.5. Циліндро-конічний бродильний апарат (ЦКБА) французької фірми «**Mëura**»

Такі апарати широко використовуються для тривалих процесів бродіння та доброджування пива, що є характерним для класичних пивоварних технологій. Особливості ЦКБА від фірми «**Mëura**»: *Циліндрична частина* апарата використовується для основного процесу бродіння, де сусло перетворюється в пиво завдяки активності пивних дріжджів. *Конусна частина* використовується для осадження дріжджів, що важливо для процесу доброджування, що дає можливість підвищити якість пива. Завдяки такій конструкції, пиво може залишатись у апараті протягом тривалого часу без ризику накопичення дріжджів або інших небажаних залишків.

Апарати «Мёуга» виготовляються, як правило, з нержавіючої сталі, що забезпечує високу корозійну стійкість та довговічність. Внутрішня поверхня часто полірується для зменшення ризику утворення накипу та бактерій, що дозволяє зберегти стабільну якість пива. Зовнішні частини можуть бути оснащені ізоляцією для підтримки постійної температури в процесі бродіння та для забезпечення енергоефективності.

ЦКБА оснащений охолоджувальними сорочками, що обвивають як циліндричну, так і конічну частину апарата, що дозволяє ефективно підтримувати температуру на всіх етапах бродіння та доброджування. Охолоджувальні системи важливі для запобігання перегріву пива, особливо під час активного бродіння, і для зниження температури в кінці процесу доброджування, що покращує смакові характеристики пива.

Переваги використання ЦКБА «Мёуга»: Ефективність і зручність: Комбінація основного бродіння і доброджування в одному апараті дозволяє знизити операційні витрати та оптимізувати час виробництва. Конічна форма дозволяє легко відділяти дріжджі від пива, знижуючи ризик їхнього зворотного потрапляння та впливу на смакові якості. Легкість у митті та дезінфекції апарата, завдяки поліруваній внутрішній поверхні та можливості знімати днище для очищення.

Завдяки цим характеристикам, циліндро-конічні бродильні апарати від фірми «Мёуга» є популярним вибором серед пивоварних підприємств, які працюють з традиційними технологіями пивоваріння та прагнуть до високої якості кінцевого продукту.

3.2.2. Будова та принцип роботи циліндрично-конічних бродильних апаратів

Розробка конструкцій циліндрично-конічних бродильних апаратів (ЦКБА) є важливою частиною пивоварної промисловості, як в Україні, так і за кордоном. Ці апарати використовуються для основного процесу бродіння, де пивні дріжджі відіграють ключову роль у формуванні смакових властивостей пива та його фізико-хімічних характеристик.

Циліндрично-конічні бродильні апарати для низового бродіння розраховані на використання пивних дріжджів, які працюють при низьких температурах, зазвичай між 6°C і 12°C. Це дає можливість отримати пиво з більш чистим смаком, меншою кількістю побічних продуктів бродіння та більш тривалим терміном зберігання (рис.1.6).

Основні елементи конструкції таких апаратів: Циліндрична частина апарата, що забезпечує достатньо об'єму для процесу бродіння, де дріжджі можуть активно діяти в умовах контролю температури. Конічна частина допомагає при осадженні дріжджів після завершення основного бродіння, що дозволяє їх відокремити від пива.

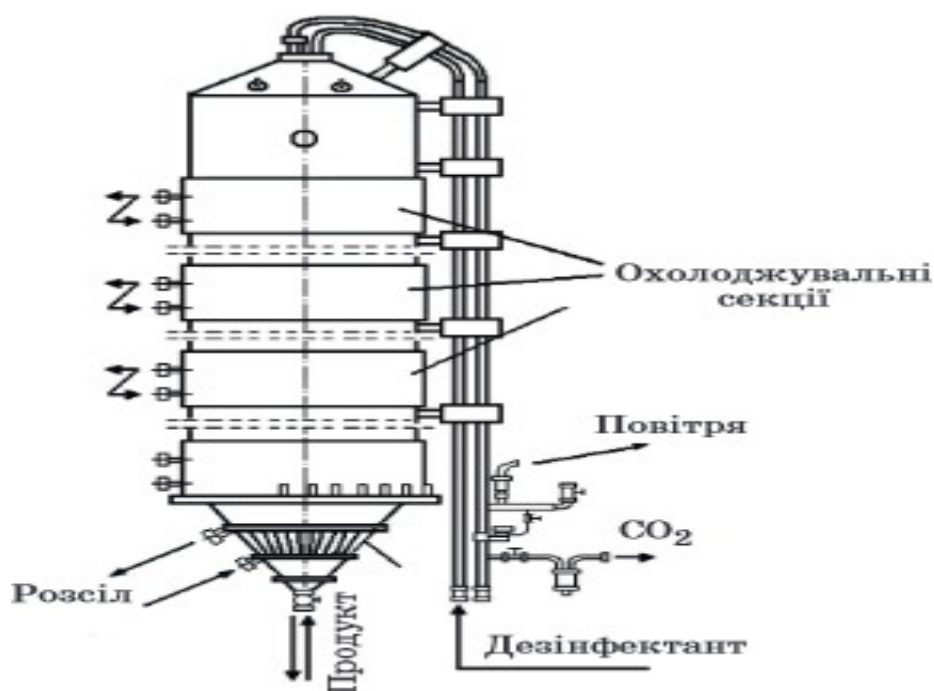


Рис. 1.6. Сучасна система ЦКБА

Технічні характеристики включають систему охолодження (наприклад, змійовики для відведення тепла) та систему запобігання перевищенню тиску, яка забезпечує герметичність апарата під час бродіння.

ЦКБА для верхового бродіння призначені для використання дріжджів, що працюють при більш високих температурах (18-22°C), характерних для процесу верхового бродіння. Вони дають пиво з більш вираженими ароматами, але з менш стабільними характеристиками в порівнянні з пивом низового бродіння.

Вища температура бродіння вимагає більш ефективної системи охолодження для підтримання стабільних умов. Через відмінності в поведінці дріжджів,

апарати для верхового бродіння можуть мати іншу форму та конструкцію для кращого змішування та рівномірного розподілу дріжджів по всьому об'єму. Можливість швидкого відведення CO₂ через спеціальні клапани для запобігання утворенню надлишкового тиску.

Типові конструктивні елементи ЦКБА

- Люк на верхній частині апарата для завантаження дріжджів та інших компонентів.
- Манометри та клапани для контролю тиску в процесі бродіння.
- Штуцери для газу: спеціальні пристрої для випуску CO₂, що утворюється під час бродіння.
- Теплообмінники для підтримання необхідної температури і ефективного охолодження.
- Низовий кран для зливу пива, який дозволяє контролювати процес відбору готового продукту.

Переваги використання ЦКБА

- Ефективне використання простору: завдяки вертикальній конструкції ці апарати займають менше площі і мають більшу місткість порівняно з традиційними горизонтальними ємкостями.
- Оптимізоване осадження дріжджів: конічна форма дозволяє дріжджам осідати на дно, що полегшує їх подальше відділення від пива.
- Контроль температури і тиску: ЦКБА дозволяють точніше контролювати умови бродіння, що є важливим для отримання пива з бажаними смаковими характеристиками.

Сучасні тенденції та інновації

З розвитком пивоварної технології і необхідністю підвищення ефективності виробництва, сучасні ЦКБА оснащуються різноманітними технологічними інноваціями:

- Інтелектуальні системи моніторингу і управління для автоматичного контролю температури, тиску та інших параметрів, що дозволяє знизити людську помилку та оптимізувати процеси.

- Системи рециркуляції CO₂ для його ефективного використання і зменшення витрат енергії.
- Наноматеріали та покриття для підвищення корозійної стійкості обладнання та збільшення його терміну служби.

Циліндрично-конічні бродильні апарати є важливим елементом в пивоварному процесі, і їх конструкція повинна враховувати різні фактори, такі як тип бродіння, температура, тиск, а також специфіку дріжджів, що використовуються. Правильний вибір і проектування таких апаратів дозволяє досягти високої якості пива, зменшити витрати та підвищити ефективність виробництва.

1.4. Техніко-економічне обґрунтування рішень

Для реалізації ідеї щодо забору CO₂ з верхньої точки бродильного апарату та його подачі в конічну частину, необхідно врахувати кілька технічних аспектів, що забезпечать ефективність цього процесу. Для ефективного бродіння важливо підтримувати оптимальну концентрацію CO₂. Слід забезпечити, щоб він не був надмірно високим, оскільки це може обмежити доступ кисню до дріжджів, що важливо на початкових етапах бродіння.

Забір CO₂ має здійснюватися з верхньої частини апарату, де його концентрація вищає через виділення газу під час бродіння. CO₂ має подаватися в конічну частину апарату з таким розрахунком, щоб його концентрація залишалася на рівні, що сприяє нормальному перебігу ферментації, але не перешкоджає доступу кисню для дріжджів.

Подавання CO₂ в конічну частину апарату може бути здійснено через спеціальний трубопровід або систему розподілу газу. Важливо, щоб газ рівномірно поширювався по об'єму сусла. Під час бродіння температура поступово підвищується, досягаючи максимальної точки на 3-й день. Після цього слід охолоджувати пиво до температури 4-5°C. Охолодження повинно відбуватися поступово, щоб уникнути різкого зниження температури, яке може призвести до виведення CO₂.

Система відбору CO_2 , яка включає трубу діаметром 100 мм і компресор для нагнітання газу, може бути ефективною за умови ретельного розрахунку і контролю. Важливо забезпечити стабільний потік газу, належний тиск, а також ефективний розподіл CO_2 в кінчній частині. Рекомендовано впровадити систему автоматичного моніторингу та регулювання параметрів, щоб уникнути можливих проблем і забезпечити ефективність процесу.

Використання системи відбору CO_2 у вигляді зонти має кілька переваг, а також певні технічні аспекти, які потрібно врахувати для забезпечення ефективності роботи цієї системи.

Для реалізації ідеї слід ретельно продумати технічні аспекти, такі як регулювання подачі CO_2 , використання систем охолодження та автоматизація процесу контролю за температурою, тиском та концентрацією газу. Потрібно також врахувати, що цей процес має бути добре збалансований, щоб не порушити нормальний перебіг бродіння. Якщо система працюватиме ефективно, вона може забезпечити економію ресурсів та зменшити час бродіння, одночасно покращуючи якість кінцевого продукту.

Рішення може мати позитивний ефект на скорочення часу бродіння і зменшення втрат CO_2 , що в перспективі може призвести до економії ресурсів. Однак необхідно забезпечити ретельний контроль за параметрами процесу, щоб уникнути негативних наслідків для бродіння. Врахування додаткових витрат на обладнання та контролю за умовами бродіння допоможе прийняти оптимальне рішення.

Задачі і рекомендації:

- Прокачування CO_2 через трубопровід з певною швидкістю та під контролем тиску.
- Для забезпечення належного розчинення CO_2 , важливо підтримувати стабільну температуру та тиск у кінчній частині.
- Встановлення системи охолодження, що забезпечує поступове зниження температури (наприклад, охолоджувальні змійовики або система циркуляції холодної води в ободі апарату).

- Встановлення спеціальної системи збору та зберігання CO₂ для подальшого використання.
- Впровадження замкнутого циклу, де виведений CO₂ може бути знову використаний у процесі.
- Враховуючи діаметр труби, потрібно перевірити, чи немає значного опору, який може знизити ефективність подачі CO₂. Для цього варто прокласти трубопровід з мінімальними згинами і тримати його як можна коротшим.
- Труба має бути виготовлена з матеріалу, що не реагує з CO₂, наприклад, з неіржавної сталі або спеціальних полімерів.

Потенційні ризики та їх уникнення

Поряд із традиційними методами періодичного бродіння та дозрівання пива, як в Україні, так і за кордоном, широко використовуються прискорені та безперервні способи. Для ефективного отримання пива застосовуються циліндроконічні бродильні апарати (ЦКБА) великої місткості. Ці апарати виготовляються зі сталі та мають вертикальну циліндричну форму з конічним днищем. Вони оснащені системою охолоджувальних поясів, які дозволяють підтримувати окремі температурні режими на різних рівнях висоти.

Внутрішня поверхня апарата має поліровану структуру. У ньому об'єднані етапи основного бродіння, доброджування та дозрівання пива. Апарат наповнюють суслом і дріжджами, при цьому сусло збагачують киснем за допомогою спеціального аераційного пристрою. Початкову стадію бродіння проводять за температури 9–10 °С. Протягом перших двох днів температура поступово підвищується до 14 °С. Основне бродіння завершується тоді, коли вміст сухих речовин у суслі знижується до 2,2–2,6 %.

Процеси доброджування і дозрівання молодого пива розпочинаються з охолодження нижньої конічної частини апарата до температури 0–2 °С, що сприяє осадженню дріжджів. У верхній зоні циліндричної частини апарата підтримується температура 13–14 °С, а в нижній — 10–13 °С, при цьому створюється надлишковий тиск у межах 0,04–0,05 МПа. Після завершення доброджування у сорочку циліндричної частини апарата подають холодоагент,

що знижує температуру всієї маси пива до 0–2 °С, забезпечуючи оптимальні умови для його освітлення.

Тривалість у циліндроконічному апараті значно скорочена порівняно з резервуарними системами. Загальний час бродіння та доброджування пива для сусла з екстрактивністю 11 % становить 12–14 діб, для 12 % — 18–20 діб, а для 13 % — 22–25 діб. Дозріле пиво проходить освітлення на кізельгуровому фільтрі або, в деяких випадках, тонке фільтрування. Після цього його збирають у ємності для готового продукту.

Отже, після проведення детального аналізу технологічного обладнання для бродіння та доброджування пива, можна зробити висновок, що **циліндроконічний бродильний апарат (ЦКБА)** є найефективнішим та найкращим вибором для проведення цих процесів. ЦКБА має кілька важливих переваг, які роблять його незамінним у пивоварній галузі.

Однією з основних переваг ЦКБА є те, що процеси основного бродіння та доброджування проходять в одному апараті. Це дозволяє значно зменшити втрати пива, що виникають при перекачуванні між різними апаратами, а також знижує ймовірність втрати якості продукту.

У традиційних системах, коли бродіння і доброджування здійснюються в окремих ємностях, пиво піддається механічному переносу, що може призвести до окиснення, зміни смакових властивостей і втрат пива.

Оскільки всі процеси здійснюються в одному апараті, зменшується споживання енергії для підтримки температури та інших параметрів, що позитивно впливає на економічність виробництва. Це також дозволяє зменшити витрати на технічне обслуговування та скоротити час на перекачування та очищення апаратів.

Завдяки спеціальній конструкції ЦКБА з конічною частиною, що дозволяє ефективно відділяти осад дріжджів, пиво зберігає свої смакові характеристики. Також, завдяки можливості регулювання температури та тиску, можна досягти ідеальних умов для кожного етапу бродіння і доброджування. Внутрішня поверхня апарата з нержавіючої сталі і полірування забезпечує гігієнічність і

зменшує ризик розвитку бактерій або інших забруднень, що може негативно вплинути на смак.

ЦКБА підходить як для використання дріжджів низового, так і верхового бродіння, що забезпечує його універсальність для різних типів пива. Можливість інтеграції з іншими системами на пивоварні дозволяє оптимізувати процеси контролю і забезпечити стабільну якість на всіх етапах виробництва.

Таким чином, поєднання **ефективності, економії енергоресурсів, збереження якості пива і простоти в експлуатації та обслуговуванні** робить **циліндро-конічний бродильний апарат** оптимальним рішенням для сучасних пивоварних підприємств. Це також стало основною причиною широкого впровадження ЦКБА на пивоварних заводах по всьому світу, де традиційно використовуються тривалі процеси бродіння та доброджування пива.

2.1.1. Аналітичний підхід до удосконалення системи бродіння

CO₂ у процесі бродіння є побічним продуктом метаболізму дріжджів, і, зокрема, його концентрація в бродильному апараті має значний вплив на інтенсивність процесу. Якщо подавати CO₂ в конічну частину апарату, це може допомогти збільшити концентрацію газу внизу, де сушло контактує з дріжджами, що може сприяти більш ефективному процесу бродіння. Надлишковий CO₂ може також сприяти утворенню певного тиску в апараті, що теоретично може прискорити деякі біохімічні процеси, зокрема, пов'язані з ферментацією.

Надмірна концентрація CO₂ в апараті може призвести до недостатнього доступу кисню для дріжджів, що може сповільнити або припинити бродіння. Це можна контролювати через регулятор подачі газу. **Нерівномірне розподілення CO₂** може призвести до зниження ефективності процесу. Для цього важливо використовувати розподільчі трубопроводи з рівномірним потоком газу. **Різне охолодження сушла** може викликати осадження CO₂. Охолодження повинно бути контрольованим, щоб не перевищувати рекомендовану швидкість. Для оптимізації процесу, вводимо систему, що буде контролювати основні параметри бродіння: температуру,

рівень CO_2 , тиск, швидкість подачі CO_2 та інші критичні фактори. Для цього розробляється і встановлюється зонт у верхній частині апарату.

2.2. Об'єкти досліджень та предмет досліджень

Циліндро-конічний бродильний апарат та розподільчі трубопроводи з рівномірним потоком газу є об'єкти досліджень. Предмет досліджень – Енергетичні накопичувальні системи.

У зв'язку з викладеним у розділі 1 роботи, до основних задач досліджень встановлено наступне:

- розробити систему відбору газу CO_2 ;
- провести конструктивні розрахунки системи;
- визначення енергетичного потенціалу газу в бродильному середовищі;
- проведення рекомендацій застосування енергетичного потенціалу CO_2 в подальшому використанні в апараті;
- проведення моделювання процесу потоку газу.

2.2.1. Принцип роботи системи "зонта"

Система відбору газу у вигляді зонта працюватиме на принципі природної конвекції, де CO_2 буде збиратися в верхній частині бродильного апарату і самостійно відбиратися через кілька отворів чи каналців, розташованих в зонті. Це дозволяє зібрати газ без додаткових механічних пристроїв, що може зменшити витрати енергії і складність системи.

Газ буде самостійно підніматися до верхньої частини завдяки природній різниці в температурі та тиску, що зменшує потребу в додаткових енерговитратах для відбору та подачі газу. Відсутність необхідності в насосах і компресорах може зменшити ризик механічних поломок і забезпечити більш стабільну роботу системи. Якщо зона збору газу (зонт) не буде правильно спроектована, це може призвести до нерівномірного відбору CO_2 , що вплине на ефективність розчинення газу в суслі. На стадії активного бродіння з великою кількістю газу природна конвекція може не бути достатньо ефективною для збирання всього CO_2 .

Оскільки газ буде самостійно відбиратися через зонтичну конструкцію, важливо врахувати кілька моментів при її проектуванні:

Зонт повинен мати достатній розмір і правильну форму для забезпечення ефективного збору газу. Він має покривати велику частину верхньої поверхні бродильного апарату, де зазвичай збирається більшість CO_2 . Форма може бути конусоподібною або півсферичною, що дозволить газу рівномірно розподілятися і потрапляти у відбірні канали.

Можна впровадити систему регулювання для контролю над інтенсивністю відбору CO_2 . Наприклад, клапани чи заслінки, які можна вручну чи автоматично налаштовувати в залежності від швидкості бродіння та концентрації CO_2 . Важливо вибрати матеріал для зонтої системи, який буде стійким до корозії та взаємодії з CO_2 і сушом. Найкращими матеріалами є неіржавна сталь або спеціальні полімери, що не взаємодіють із хімічними компонентами пива. Для того, щоб система відбору CO_2 через зонт була ефективною, слід звернути увагу на кілька ключових аспектів:

Важливо підтримувати певну температурну різницю між верхньою та нижньою частинами апарату. Якщо температура в верхній частині підвищиться занадто сильно, це може призвести до зниження щільності CO_2 і зменшення його відбору. Тому контролювати температуру в зоні відбору газу буде критично важливо.

На пізніх етапах бродіння, коли інтенсивність виділення газу стає високою, важливо переконатися, що зонтова система здатна ефективно справлятися з великими обсягами CO_2 . Якщо система не встигатиме забирати газ, це може призвести до зниження концентрації CO_2 в пиві.

Система відбору CO_2 у вигляді зонта може бути дуже ефективною, якщо правильно розрахувати її конструкцію та врахувати такі фактори, як форма зонта, кількість і розташування отворів, а також температурний режим. Такий підхід дозволяє знизити енергетичні витрати та складність обладнання, але вимагає ретельного проектування і контролю, щоб забезпечити стабільну роботу протягом всього процесу бродіння.

Для зонтої системи з діаметром 2 м і висотою 1,2 м можна розрахувати площу збирання газу близько 6,28 м². Для розрахунку кількості отворів необхідно знати швидкість виділення CO₂ і бажану пропускну здатність системи. У нашому прикладі, для ефективного збору газу можна використовувати кілька отворів по 20 мм, що дозволить створити достатній потік газу в процесі бродіння.

Для цього апарата можна спроектувати схему, де всі елементи (люк, пробні крани, штуцер для шпунта, запобіжний клапан, штуцер для манометра і кран) розміщені так, щоб забезпечити оптимальну функціональність і зручність для обслуговування. Блоки будуть розташовуватися на верхній і бокових стінках апарата для простоти підключення та контролю.

2.3. Моделювання поверхні транспортуючих потоків рідин і газів

Розуміння механізмів і закономірностей деградації CO₂ на поверхнях сусла бродильного апарату дозволяє розробити більш ефективні превентивні заходи, спрямовані на відбір їх утворення. Для оптимізованого синтезу важливо мати точну інформацію про процеси руху газової фази, зокрема CO₂, та можливості її зменшення в кінематичних парах. Різні методи відбору CO₂ в бродильному апараті та його подальший рух залежать від різниці тисків, яка є рушійною силою для створення направленного потоку в системі. Цей потік проходить через трубопроводи, контактує з їхніми поверхнями і піддається впливу таких параметрів, як коефіцієнти гідравлічного тертя та місцеві гідравлічні опори.

Напірний рух газу через кінематичні пари може бути змінений з урахуванням особливостей конструкції трубопроводу та налаштування параметрів, таких як шорсткість внутрішньої поверхні та форма трубопроводу, що дозволяє знизити втрати тиску і мінімізувати небажані турбулентні зони. Оптимізація цих параметрів дозволяє досягти більш стабільного і керованого процесу бродіння, зменшуючи кількість утвореного CO₂ та підвищуючи ефективність обладнання.

Імітаційні моделі є потужним інструментом для детального аналізу процесів руху газової фази та рідинних середовищ, враховуючи численні фактори, такі як гідродинаміка, хімічні та біологічні реакції. Ці моделі ґрунтуються на чисельних методах, які дозволяють проводити віртуальні експерименти, симулюючи умови реального виробництва. За допомогою моделювання можна вивчати вплив змін тиску, швидкості потоку, гідравлічного тертя та місцевих опорів на ефективність транспортування CO₂ та інших газів у трубопроводах.

Моделювання дає можливість розробити та оптимізувати методи відбору й подачі газової фази, а також спроектувати трубопроводи з урахуванням специфічних потреб бродильного виробництва. Це забезпечить стабільніші й більш ефективні процеси бродіння, що сприятиме підвищенню якості кінцевої продукції та зменшенню часу, необхідного для завершення процесу.

Отже, мета роботи полягає у визначенні та оцінці впливу різних факторів на процес відбору та подачі CO₂ в умовах транспортної мережі бродильного виробництва. Зокрема, робота спрямована на вивчення гідродинамічних характеристик, параметрів поверхні трубопроводів, гідравлічного тертя, місцевих опорів та інших умов, які можуть впливати на ефективність транспортування газової фази. Розгляд моделі руху газової фази в трубопроводах є важливим аспектом для забезпечення належного протікання процесу та високої якості продукції в бродильному виробництві. Така модель дозволяє глибше розуміти процеси утворення, транспортування та використання CO₂, що сприяє розробці ефективних методів керування цим газом у бродильних апаратах. Завдяки моделюванню стає можливим оптимізувати параметри відбору та подачі CO₂, що не лише підвищує якість кінцевої продукції, але й забезпечує стабільність виробничих процесів та їхню енергоефективність.

FlowVision використовує метод скінчених об'ємів для моделювання потоків рідин і газів, інтегруючи рівняння для кожної комірки сітки як по простору, так і по часу. Це дозволяє моделювати складні динамічні процеси, враховуючи різні фактори, такі як турбулентність, зміну швидкості потоку,

температури, а також хімічні реакції та інші процеси, що можуть відбуватися в трубопроводах, бродильних апаратах чи інших системах.

Завдяки цьому метод підходить для вивчення складних потоків з врахуванням локальних змін параметрів, що дозволяє отримати більш точні та реалістичні результати чисельного моделювання.

2.3.1. Моделювання руху газу в трубопроводі за допомогою FlowVision

Відповідно використовуючи програмний комплекс FlowVision виконано моделювання руху газу в трубопроводі із врахуванням рівняння Нев'є-Стокса. Параметри та умови для трубопроводу з діаметром 40 мм, швидкістю 0.2 м/с, газом CO₂, температурою 26°C, і тиском, який відповідатиме умовам відділення газу від поверхні та його поступання в трубу. Проводимо **моделювання геометрії трубопроводу** (діаметр 40 мм та довжину труби 2.5м). Це дозволить FlowVision правильно розрахувати векторні поля швидкості та тиску газу.

Вхідні умови: швидкість потоку газу 0.2 м/с у точці входу до трубопроводу. Це можна зробити, встановивши величину швидкості газу на вхідному при температурі газу — 26°C (або 299.15 K). Цей параметр важливий для врахування змінної густини газу CO₂.

Для більш точної симуляції можна використовувати значення тиску, яке характерне для відділення CO₂ із поверхні бродіння. Це зазвичай буде близько до атмосферного, але в залежності від умов бродіння, тиск може бути трохи вищим або нижчим.

Рівняння Нев'є-Стокса для газу в стиснутому потоці CO₂ виглядає так:

$$\rho \left(\frac{\partial \vec{v}}{\partial t} + (\vec{v} \cdot \nabla) \vec{v} \right) = -\nabla p + \mu \nabla^2 \vec{v} + \vec{f}$$

Враховуючи, що CO₂ є стиснутим газом, змінна густина газу залежить від температури та тиску.

Врахуємо умови на стінках трубопроводу: стінки трубопроводу будуть зафіксовані в умовах нульової швидкості (враховується відсутність ковзання на

стінках труби). Якщо труба має особливі властивості (наприклад, високий рівень шероховатості), це також потрібно врахувати в умовах моделювання.

Тому використовувати FlowVision для обчислення векторів швидкості газу, розподілу тиску та температури по трубопроводі необхідно перевірити вплив змін діаметра труби (якщо є зміни в діаметрі трубопроводу) на швидкість та тиск газу.

Порівняти векторні поля швидкості в різних точках трубопроводу, щоб визначити, де спостерігається максимальна швидкість потоку.

3 D модель для зонта (рис.2.1.), який кріпиться безпосередньо до стінки апарату. Це зображення показує конічну форму зонта з діаметром 2 метри на основі та 40 мм на верхньому отворі для відведення CO₂. Зонт вставляється всередину апарату і не має циліндричної частини чи ніжок.

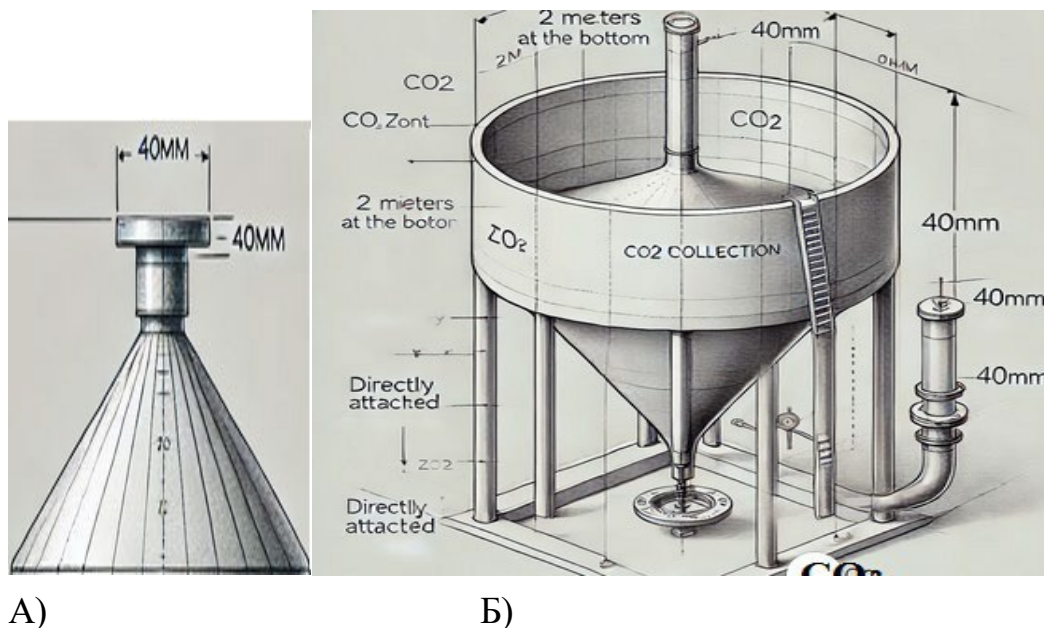


Рис. 2.1. 3 D модель зонта А) встановленого в ЦКБА Б)

Конструкції зонти для відбору CO₂ з процесу бродіння показує зрізаний конус з діаметром верхньої частини 40 мм для трубопроводу та діаметром основи 2 м. Така конструкція дозволить ефективно збирати CO₂ і направляти його в конічну частину апарату.

2.3.2. Моделювання течії газу в трубопроводі

Моделювання течії газу в трубопроводі з описаними характеристиками може бути виконано за допомогою методу скінчених об'ємів, використовуючи

програмне забезпечення, яке дозволяє аналізувати гідродинамічні процеси. Загальний підхід до моделювання цього процесу ґрунтується на початкових умовах:

- Довжина трубопроводу: $L = 2,5$ м.
- Зовнішній діаметр трубопроводу: $D_t = 40$ мм.
- Товщина стінки труби: $\delta_t = 3,5$ мм.
- Тип газу: характеристики газу (густина, в'язкість, температура тощо).

На середині трубопроводу встановлено з'єднання (цей елемент можна моделювати як місцевий опір або зміну геометрії, що впливає на потік). Розбиття трубопроводу на елементи (комірки) для чисельного розв'язку рівнянь переносу та гідродинамічних процесів. Для турбулентного потоку використано рівняння Нав'є-Стокса з відповідними умовами для газу, враховуючи конвекцію та дифузію. Визначити швидкість потоку газу на вході в трубопровід, а також умови на виході.

З'єднання на трубопроводі моделювано як місцевий опір (змінюється форма потоку, виникають локальні завихрення). Враховуються місцеві втрати напору, які можуть бути визначені за допомогою коефіцієнта місцевого опору, розрахованого для цього елемента.

Для розрахунку втрат напору в трубопроводі використано рівняння Дарсі-Вейсбаха, що дозволяє оцінити втрати по довжині трубопроводу та на місцеві опори. Місцеві втрати (h_m) на з'єднанні оцінені за допомогою коефіцієнта місцевого опору для даного типу з'єднання.

При моделюванні потоку через трубопровід використано рівняння переносу для обчислення зміни температури, густини та швидкості газу вздовж трубопроводу. Розраховано динаміку потоку газу з урахуванням змін у властивостях газу (в'язкість, температура, тощо).

Після виконання моделювання отримано розподіл швидкості потоку, тиску та температури по всій довжині трубопроводу. Визначено критичні зони, де спостерігаються значні втрати напору або зміни в характеристиках потоку (наприклад, біля з'єднання).

Важливими аспектами для газів із високими швидкостями потоку необхідно враховувати вплив турбулентності на потік, що може значно впливати на гідравлічні втрати та ефективність транспортування газу. Якщо температура газу змінюється по трубопроводу, це також впливає на його властивості та може змінювати швидкість потоку.

Таким чином, застосування методу скінчених об'ємів для моделювання течії газу в трубопроводі з урахуванням змін геометрії та місцевих опорів дозволяє отримати детальні дані щодо динаміки потоку, втрат напору та оптимізації умов транспортування (рис.2.2).

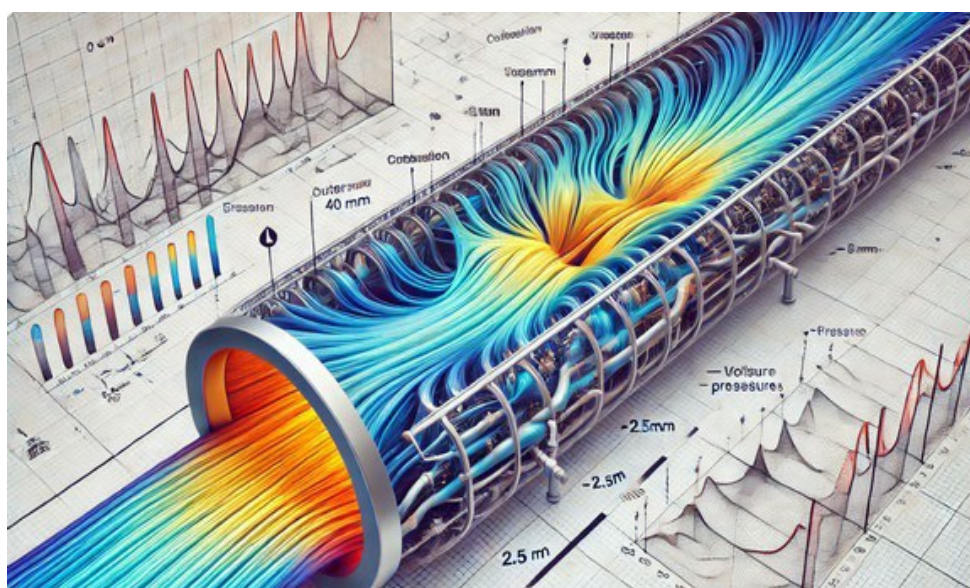


Рис. 2.2. Моделювання течії газу в трубопроводі (FlowVision)

Оцінка теплових потоків через сусло до та після модернізації

У конічно-циліндричному апараті, де проходить бродіння сусла з виділенням CO_2 , процес відбувається за участі конвективних потоків. У цьому випадку важливо врахувати, як виділення газу (CO_2) впливає на циркуляцію рідини і передачу тепла, а також взаємодію між газовою та рідкою фазами. Під час бродіння сусла в конічно-циліндричному апараті відбувається виділення газу CO_2 , що утворюється в результаті ферментації. Цей газ піднімається від дна апарата до верхньої частини, при цьому виникає конвективний потік у рідкому середовищі. Рух газу і рідини впливає на

температуру і інтенсивність процесу бродіння, а також на передачу маси та тепла.

Основними чинниками, що впливають на конвективний процес є виділення CO_2 — газ піднімається в рідкому середовищі, створюючи конвективні потоки в суслі. На осно цього виникають температурні градієнти — процес бродіння супроводжується виділенням тепла, що також сприяє розвитку конвективних потоків. Також відіграє в'язкість суслу — чим вища в'язкість суслу, тим менш інтенсивними будуть конвективні потоки, і навпаки. Конічна форма забезпечує додаткову турбулентність і змішування в нижній частині апарата.

Враховуючи конвективний процес, можна оцінити швидкість потоку газу в суслі, що буде залежати від виділення CO_2 та температурних градієнтів. Це можна описати через рівняння, яке включає кількість виділеного газу, в'язкість рідини і температуру.

Конвективний потік газу це швидкість підйому, яку можна оцінити через рівняння:

$$v_{\text{газ}} = \frac{\Delta P}{\eta} \cdot d$$

де:

- ΔP — перепад тиску між верхньою та нижньою частинами апарата,
- η — в'язкість суслу,
- d — діаметр апарата або діаметр трубки, що дає змогу оцінити шлях підйому газу.

Для моделювання процесу конвекції в рідкому середовищі можна використовувати рівняння Нав'є-Стокса для рідини, яке розглянуто у 2 розділі:

$$\rho \left(\frac{\partial \mathbf{v}}{\partial t} + (\mathbf{v} \cdot \nabla) \mathbf{v} \right) = -\nabla P + \mu \nabla^2 \mathbf{v} + \mathbf{f}$$

де:

- ρ — густина рідини,
- $\mathbf{v}$ — швидкість потоку,
- P — тиск,
- μ — динамічна в'язкість рідини,

- f — сила, яка діє на рідину (в даному випадку, це може бути сили, що виникають через виділення газу).

У процесі бродіння важливо враховувати теплові потоки та перенесення маси, які можуть бути описані рівнянням теплопереносу:

$$\frac{\partial T}{\partial t} = \alpha \nabla^2 T + Q$$

де:

- T — температура,
- α — коефіцієнт теплопровідності,
- Q — джерело тепла, яке виникає від ферментації.

Це рівняння дозволяє оцінити, як змішування і рух сусла сприяють тепловому балансу в апараті, що в свою чергу впливає на швидкість бродіння. Загальна споживча потужність для такого процесу може бути оцінена як сума потужностей, необхідних для забезпечення переміщення рідини, газу і для забезпечення теплового балансу. Потужність для конвекції рідини — ця потужність включає енергію, яка потрібна для створення конвективних потоків у рідкому середовищі. Для її оцінки можна використати рівняння для роботи сил тертя або для переносу маси та енергії. Потужність для виділення газу — для руху газу через сусло необхідно врахувати механізми турбулентності і витрату енергії на підйом газу через рідину. Теплова потужність — враховуючи виділення тепла в процесі ферментації, потрібно оцінити потужність, яка витрачається на нагрів рідини і компенсацію теплових втрат.

У конічно-циліндричному апараті, де відбувається бродіння сусла і виділяється CO_2 , конвективні потоки газу і рідини є важливою частиною процесу.

Розрахунок таких процесів включає визначення швидкості конвекції, обчислення теплових і масових потоків та оцінку споживчої потужності для ефективного проведення процесу бродіння. Із врахуванням модернізації системи відведення і використання CO_2 , то з таким підходом система бродіння в конічно-циліндричному апараті буде змінена.

Подача CO_2 з верхньої частини циліндра в конічну частину має кілька важливих наслідків для процесу:

Вплив на конвективні потоки. Подача CO₂ у кінчну частину апарата збільшить інтенсивність конвекції в рідкому середовищі, оскільки газ, потрапляючи в рідину, буде створювати додаткові турбулентні потоки. Це може допомогти покращити перемішування та рівномірніше розподіляти тепло та компоненти бродіння.

Зміна теплового балансу. Викид CO₂ із верхньої частини апарата і подача його в кінчну частину може вплинути на тепловий баланс. Виділення газу у вигляді бульбашок у кінчній частині допоможе прискорити процес теплообміну, оскільки тепле сусло в нижній частині буде активно змішуватися з холоднішими шарами рідини, підвищуючи ефективність бродіння. В такому випадку для оцінки швидкості потоку газу при подачі в кінчну частину, його потік може бути описаний рівнянням:

$$v_{\text{газ}} = \frac{\dot{m}}{\rho_{\text{газ}} A}$$

де:

- $\dot{m}$ — масовий потік газу,
- $\rho_{\text{газ}}$ — густина газу (залежить від температури та тиску),
- A — площа поперечного перерізу каналу для подачі газу.

Для забезпечення оптимального процесу бродіння необхідно врахувати змішування рідини, яке стимулюється подачею CO₂. Рівняння для оцінки змішування можуть бути змінені з урахуванням подачі газу в кінчну частину, що спричинить додаткову турбулентність і збільшення швидкості обміну масою:

$$\frac{\partial c}{\partial t} = D \nabla^2 c + \mathbf{v} \cdot \nabla c$$

де:

- c — концентрація компонентів сусла,
- D — коефіцієнт дифузії,
- v — швидкість потоку рідини, яка в даному випадку буде включати вплив газових потоків.

Також споживча потужність буде залежати від кількості газу, що подається в конічну частину, і впливу цього газу на швидкість процесу бродіння. Необхідно також враховувати потужність, необхідну для транспортування газу та забезпечення його рівномірного розподілу в рідині. Потужність для подачі газу можна оцінити через рівняння:

$$P_{\text{газ}} = \dot{m} \cdot \Delta h$$

де Δh — зміна енергії, необхідної для транспортування газу в рідину.

Подача CO_2 з верхньої частини циліндра в конічну частину змінить динаміку процесу бродіння, створюючи додаткові турбулентні потоки в рідині. Це дозволить прискорити процес змішування, підвищить ефективність теплообміну і сприятиме швидшому бродінню. Оцінка таких змін потребує коригування теплових і масових рівнянь, а також нової оцінки споживчої потужності. Для проведення нової оцінки споживчої потужності в системі з подачею CO_2 в конічну частину бродильного апарату, ми повинні врахувати кілька факторів, зокрема вплив газового потоку на процеси змішування та теплообміну.

3.2. Розрахунок об'єму сусли у ЦКБА

Загальний об'єм ЦКБА 3000, тобто 300 м^3 і його заповнюють не повністю, так як при підйомі CO_2 утворюються завитки. Крайній випадок завитки піднімаються через клапани й здатні закупорити арматуру. Дуже небезпечно, сусли заблокують арматуру, і вона не може функціонувати. Для проведення розрахунку маємо вихідні дані:

1. Повний об'єм апарата: $V_{\text{ап}}=300\text{ м}^3$
2. Коефіцієнт заповнення: $\varphi=0.85$
3. Вільний простір для піноутворення та газу: 15–25 % від об'єму апарата (враховується у коефіцієнті заповнення).

Обчислення об'єму заповнення сусли: об'єм сусли, що заповнює апарат, обчислюється за формулою:

$$V_{\text{сусли}} = \varphi \cdot V_{\text{ап}}$$

Підставимо значення:

$$V_{\text{сусло}} = 0.85 \cdot 300 = 255 \text{ м}^3$$

Об'єм вільного простору для піни: об'єм вільного простору розраховується як:

$$V_{\text{піна}} = V_{\text{ан}} - V_{\text{сусло}}$$

Підставимо значення:

$$V_{\text{піна}} = 300 - 255 = 45 \text{ м}^3$$

Таким чином об'єм сусла для бродіння: $V_{\text{сусло}} = 255 \text{ м}^3$

об'єм вільного простору для піни: $V_{\text{піна}} = 45 \text{ м}^3$

Таке заповнення апарата забезпечує безпечне проведення процесу бродіння, запобігаючи закупорюванню запобіжної арматури піною та засохлим суслом.

3.2.1. Розрахунок напружень у сферичній частині апарату

В апараті існує 4 зони. Зона 1 є сферичною, має навантаження внутрішнім тиском надлишковим газу; зона 2 є верхня частина циліндричного апарату від стику з частиною сферичною і до рівня рідини; зона 3 є також частка оболонки від рідини до кільця опорного; зона 4 це днище.

Для обчислення меридіональних (σ_m і колових (σ_c) напружень у сферичній частині, використовується формула для тонкостінної сферичної оболонки:

$$\sigma_m = \sigma_c = \frac{P_n R}{2\delta}$$

Для проведення розрахунку вихідні дані:

1. Радіус сфери: $R = 1750 \text{ мм} = 1.75 \text{ м}$
2. Тиск газу: $P_n = 0.08 \text{ МПа} = 80 \text{ кПа}$
3. Товщина стінки: $\delta = 6 \text{ мм} = 0.006 \text{ м}$

Підставляємо значення у формулу:

$$\sigma_m = \sigma_c = \frac{80 \cdot 10^3 \cdot 1.75}{2 \cdot 0.006}$$

$$\sigma_m = \sigma_c = \frac{140 \cdot 10^3}{0.012} = 11.67 \cdot 10^6 \text{ Па}$$

Переводимо у мегапаскалі:

$$\sigma_m = \sigma_c = 11.67 \text{ МПа}$$

Меридіональні та колові напруження у сферичній частині апарата становлять:

$$\sigma_m = \sigma_c = 11.67 \text{ МПа}$$

Ці напруження є однаковими завдяки симетричному навантаженню сферичної поверхні.

3.2.2. Розрахунок напружень у 2 зоні апарату

Друга важлива зона апарату є друга. Тому розглядаємо її як відсікання частини апарата в заданій зоні за допомогою кругового перерізу I-I і не враховуємо іншу частину. Вплив відкинутої частини на решту конструкції замінюється дією меридіональних сил N_m (див. рис. 3.1). Такий підхід дозволяє спростити аналіз напружень і дослідити взаємодію окремих частин конструкції в заданій зоні.

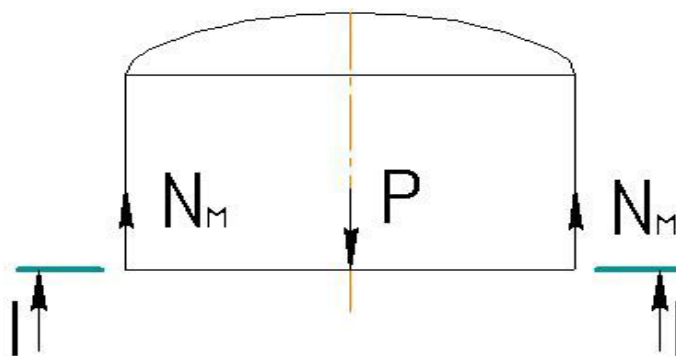


Рис.3.1. Схематична зона 2

Частина апарата, що залишилася після відсікання, перебуває в стані рівноваги. На неї діють:

- зовнішня сила P , яка зумовлена внутрішнім надлишковим тиском P_n ;
- внутрішня сила N_m , яка виникає через пружність матеріалу стінки оболонки, тобто силу, що передається від відкинутої частини апарата на ту, що розглядається.

З огляду на те, що геометрична форма апарата та умови навантаження вздовж довжини заданої зони не змінюються, головні напруження залишаються незмінними, незалежно від місця вибору перерізу. Це забезпечує постійність напружень у межах аналізованої ділянки.

Колові напруження в заданій зоні можна визначити, використовуючи

$$\text{рівняння Лапласа: } \frac{\sigma_m}{\rho_m} + \frac{\sigma_k}{\rho_k} = \frac{P}{\delta_u}$$

де σ_m — напруження в меридіональному та коловому напрямках відповідно;

ρ_m — відповідні радіуси кривизни;

P — зовнішній тиск;

δ_u — товщина стінки оболонки.

Оскільки в нашому випадку $\rho_m = \infty$, а ρ_k (надлишковий тиск), рівняння спрощується до:

$$\sigma_k = \frac{P_n \cdot D}{2\delta_u} = \frac{0.8 \cdot 4.9}{2\delta_u} = 1.96 / \delta_u.$$

Ця формула дозволяє оцінити колові напруження в зоні для даних параметрів оболонки та навантаження. Для визначення меридіональних напружень σ_m складемо рівняння рівноваги для відсіченої зони апарата, проектуючи сили на вертикальну вісь. У рівновазі знаходяться:

1. Сила, створена внутрішнім надлишковим тиском P_n , яка діє на площу основи відсіченої частини.
2. Сила, що виникає внаслідок меридіональних напружень σ_m , яка передається через стінки оболонки.

З рівняння рівноваги маємо:

$$\pi \cdot \frac{D^2}{4} \cdot P_n = 2 \cdot \pi \cdot \frac{D}{2} \cdot \delta_u \cdot \sigma_m,$$

де:

- $\pi \cdot D^2/4$ — площа основи відсіченої частини,
- P_n — надлишковий тиск,
- $2 \cdot \pi \cdot D/2$ — довжина кола основи,
- δ_u — товщина стінки оболонки,
- σ_m — меридіональне напруження.

Спрощуючи рівняння, отримаємо:

$$\sigma_m = \frac{P_n \cdot D}{4 \cdot \delta_u}.$$

Це рівняння дозволяє розрахувати меридіональні напруження в стінках апарата для заданих параметрів.

Розрахунок меридіональних напружень

Підставляючи значення діючих сил у рівняння рівноваги відсіченої зони, отримаємо:

Рівняння рівноваги для сил у вертикальній проєкції виглядає так:

$$\pi \cdot D^2/4 \cdot P_n = 2 \cdot \pi \cdot D/2 \cdot \delta u \cdot \sigma_m,$$

де:

- $\pi \cdot D^2/4 \cdot P_n$ — сила, створена внутрішнім надлишковим тиском P_n на площу основи відсіченої частини;
- $2 \cdot \pi \cdot D/2 \cdot \delta u \cdot \sigma_m$ — сила, що виникає внаслідок дії меридіональних напружень σ_m .

Спростимо рівняння:

$$\pi D^2/4 \cdot P_n = \pi D \cdot \delta u \cdot \sigma_m.$$

Скоротивши π і D у чисельнику й знаменнику, отримаємо:

$$D/4 \cdot P_n = \delta u \cdot \sigma_m$$

Виразимо меридіональні напруження σ_m :

$$\sigma_m = P_n \cdot D/4 \cdot \delta u.$$

Цей результат дозволяє визначити меридіональні напруження у стінці оболонки, враховуючи параметри геометрії та тиску в системі.

$$\sigma_m = \frac{DP_n}{4\delta_u} = \frac{4,9 \cdot 0,8}{4\delta_u} = \frac{0,98}{\delta_u}$$

$$\delta_u = 6 \text{ мм}, \sigma_m = \frac{1,96}{0,006} = 327 \text{ МПа}$$

3.3. Розрахунок конструкції зонта

Знаходимо площу днища конуса (зонта)

$$F_{\text{дн}} = \pi l (R_{\text{дн}} + r_{\text{дн}}) \quad ()$$

де l – довжина сорочки охолодження;

Приймаємо: $l = 1/2 l_{\text{дн}} = 2805 \text{ мм}$;

$r_{\text{дн}}$ – менший радіус зонта, що встановлена на днищі;

$$r_{\text{дн}} = \frac{R_{\text{дн}} \cdot l_1}{l_{\text{дн}} + l_1} = \frac{2,178 \cdot 1,1}{2,805 + 1,1} = 0,610$$

Приймаємо: $r_{\text{дн}} = 0,610 \text{ м}$

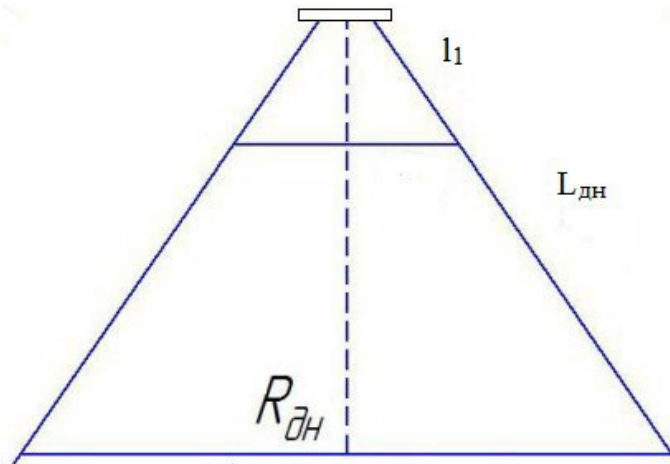


Рис. 3.2 Геометрична схема зони 1(зонти)

$$F_{\text{дн}} = \pi 2805(2,178 + 0,610) = 24,6 \text{ м}^2$$

Для відбору CO_2 із бродильного апарату приймаємо встановлення зонти, щоб знайти діаметр отвору для фланця трубопроводу. Знаходимо витрату CO_2 .

$$G_{\text{со}} = G_{\text{пива}} \cdot 0,05 = 2,4 \cdot 10^{-3} \cdot 0,05 = 0,12 \cdot 10^{-3} \text{ м}^3 / \text{с}$$

де, $G_{\text{пива}}$ – це кількість вибродженого пива, $\text{м}^3 / \text{с}$

Визначимо загальну площу перерізу отвору зонти.

$$F = \frac{G_s \cdot t}{v} = \frac{0,12 \cdot 10^{-3} \cdot 1200}{18} = 0,008 \text{ м}^2 = 8000 \text{ мм}^2$$

де- v - швидкість відривання і проходження CO_2 через отвір;

$v = 15\text{-}20 \text{ м/с}$;

t -це тривалість процесу.

Знайдемо загальний діаметр, мм

$$D = \sqrt{\frac{4 F F}{\pi \pi}} = \sqrt{\frac{4 \cdot 1500}{3.14}} = 43.71$$

приймаємо d -середнє значення діаметру одного отвору $d = 40 \text{ мм}$.

Також проводимо визначення діаметр патрубкa відводу CO_2

$$D = \sqrt{\frac{4 F F}{\pi \pi}} = \sqrt{\frac{4 \cdot 1500}{3.14}}$$

де v -це швидкість проходження CO_2 через патрубок;

$$FF = \frac{GG \cdot TT}{VV} = \frac{1200}{15} = 4050 \text{ мм}^2$$

$v=15\text{-м/с}$;

$$D = \sqrt{\frac{4FF}{\pi}} = \sqrt{\frac{4 \cdot 4050}{3.14}} = 71.82$$

Технічна характеристика зонта

Об'єм, м^3 - 14,2

Габаритні розміри, мм :

висота 2850; діаметр 2000; Тиск, 4-5 бар; маса, 3.9 кг.

Площа зовнішньої поверхні конуса:

$$S_{\text{кон}} = \pi \cdot D_{\text{ап}} \cdot \sqrt{\left(\frac{D_{\text{ап}}}{2}\right)^2 + H_{\text{кон}}^2},$$

де

$H_{\text{кон}}$ – висота конуса.

Враховуючи, що кут $\alpha=60^\circ$

$$H_{\text{кон}} = \frac{D_{\text{ап}}}{2} \cdot \tan(60^\circ) = 1,25 \cdot \sqrt{3} \approx 2,165 \text{ м.}$$

Обчислимо площу:

$$S_{\text{кон}} = \pi \cdot 2,5 \cdot \sqrt{\left(\frac{2,5}{2}\right)^2 + 2,165^2},$$

$$S_{\text{кон}} = \pi \cdot 2,5 \cdot \sqrt{1,5625 + 4,6882} = \pi \cdot 2,5 \cdot 2,438 \approx 19,17 \text{ м}^2.$$

3.3.1. Визначення товщини стінки зонта

Прибавку на корозійний вплив рівний нулю, із-за використання нержавіючої сталі 12X18H10T: $C=0$

Коефіцієнт міцності проведених зварного шва $\varphi\varphi=0,9$ для стикового із 2 стороннім проварюванням.

Напруження допустиме для сталі 12X18H10T стінки зонта, при 20°C

$$[\sigma]_{20}=184 \text{ МПа}$$

Розрахункова текучість межі для сталі 12Х18Н10Т

$$\sigma_{T20}=276 \text{ МПа.}$$

Пробний тиск при гідро випробуванні

$$p_{\text{в}} = \left\{ \begin{array}{l} 1,5 \cdot p[\sigma]_{20} / [\sigma] = 0,2 \text{ МПа} \\ 1,5 \cdot 0,04 = 0,06 \text{ МПа} \end{array} \right\} = 0,2 \text{ МПа}$$

Номінальна товщина стінки зонта знаходимо по формулі

$$S_p = \max \left\{ \begin{array}{l} pD / (2\varphi[\sigma] - p) \\ p_{\text{в}}D / (2\varphi[\sigma]_{\text{в}} - p_{\text{в}}) \end{array} \right\},$$
$$S_p = \max \left\{ \begin{array}{l} 0,06 \cdot 5600 / (2 \cdot 0,9 \cdot 184 - 0,06) = 1,01 \\ 0,2 \cdot 5600 / (2 \cdot 0,9 \cdot 184 - 0,2) = 3,35 \end{array} \right\} = 3,35 \text{ мм};$$

де, D-внутрішній діаметр зонта мм;

Виконуюча товщина листа зонта

$$S \geq S_p + c = 3,35 + 0 = 3,35 \text{ мм}$$

Згідно отриманих результатів припускаємо товщину з врахуванням стійкості при виготовленні S=4,5мм.

Провіряємо умови використання формули безмоментних теорій

$$(S - c) / D \leq 0,1$$
$$(4,5 - 0) / 5600 = 0,8 \cdot 10^{-3}$$

При менше 0,1- умова формули виконується. Допустимий CO_2 внутрішній тиск в зонті при товщині S=4,5мм знаходимо по формулі:

$$p_{\text{в}} = \frac{2[\sigma]\varphi(S-c)}{D+(S-c)} = \frac{2 \cdot 184 \cdot 0,9(4,5-0)}{5600+(4,5-0)} = 0,27 \text{ МПа}$$

В робочих умовах створюється даний тиск, який на поверхні апарату зменшується, але це дозволяє мати швидкість відриву газу від поверхні сусли. Цей тиск позподіляється по апарату і знаходимо відповідно товщину днища апарата. Приймаючи $H=0,25D$, якого параметр $D=5601 \text{ мм}$. Розрахунок параметру днища за формулою

$$S_p = \max \left\{ \frac{\rho D / (2\varphi[\sigma] - 0,5\rho)}{\rho_\delta D / (2\varphi[\sigma]_\delta - 0,5\rho_\delta)} \right\},$$

$$S_p = \max \left\{ \frac{0,06 \cdot 5600 / (2 \cdot 0,9 \cdot 184 - 0,5 \cdot 0,06) = 1,01}{0,2 \cdot 5600 / (2 \cdot 0,9 \cdot 184 - 0,5 \cdot 0,2) = 3,34} \right\} = 3,34 \text{ мм};$$

Визначаємо тиск конічного допустимий днища в умовах робочих

$$[\rho_1] = \frac{2[\sigma]\varphi(S_1 - c)}{D + (S_1 - c)} = \frac{2 \cdot 184 \cdot 0,9(4,5 - 0)}{5600 + 0,5(4,5 - 0)} = 0,27 \text{ МПа}$$

Перевірка умов:

$$(S - c) / D \leq 0,1$$

$$(4,5 - 0) / 5600 = 0,8 \cdot 10^{-3}$$

використання виконується.

3.4. Розрахунок фланцевого з'єднання труби

Внутрішній діаметр $D=40$ мм;

Товщина $\delta=10$ мм;

Внутрішній тиск $P_r = 0,25$ Мпа;

Температура $T = 35^\circ\text{C}$;

Матеріал фланця - сталь 09Г2С;

Фланці неізолювані, приварні, мають поверхню «виступ-западина». Коефіцієнт зварних швів міцності $\phi=1$.

Конструктивні розміри фланця. Товщину втулки прийм

Матеріал болтів - сталь 35.

ята $S_0 = 12$ мм, що задовольняє умови: $S < S_0 < 1,3 \times S$ мм. $S - S_0 < 5$ мм, $10 < 12 < 1,3 \times 10$ мм, $12 - 10 < 5$ мм,

Товщина втулки S_1 рівна: $S_1 = \beta_1 \times S_0$ мм,

де $\beta_1 = 2,2$ при $D/S_0 = 600/12 = 50$

$$S_1 = 2,2 \times 12 = 26,4 \text{ (мм)}.$$

Висота втулки: $h_b \geq \dots \times (S_1 - \dots) \text{ (мм)}$

$$h_b \geq \dots \times (26,4 - 12) = 43 \text{ (мм)}$$

Приймаємо $h_b = 45 \text{ мм}$

Зквивалент 1а товщину а в [и] фланця:

$$11 \text{ (РГ1)}$$

$$S_{зк} = S_0 [\dots] \text{ мм,}$$

$$h + 0,25 \times (\dots - 1) \times 0,5 \times S \{I$$

$$45 \text{ (} 2 \times 2 - 1 \text{)}$$

$$S_{зк} = 14 \times [\dots] = 21,42 \text{ мм.}$$

$$45 + 0,25 \times (2,2 + 1) \times 600 \times 12$$

Діаметр болтового кола $\geq D + 2 \times (\dots + d_b + \dots) \text{ мм}$

$$d_b = 20 \text{ мм при } P_p = 1,25 N_1 \text{ а } D = 6 \text{ (Ю мм)}$$

$$C > 600 \quad 2 \times (26,4 + 20 + 6) = 7048 \text{ мм,}$$

$$\text{Приймаємо: } C = 720 \text{ мм.}$$

Зовнішній діаметр фланця:

3.) внш. ший діаметр прокладки: $D_{н.п} = D_{фл.} + \dots \text{ мм;}$

це $e = 30 \text{ мм}$, для шпорових прокладок $щ.и.с.ю = 20 \text{ мм}$

$$D_{н.п} = 720 - 20 = 700$$

$l_1, \dots, l_n, z, \dots$ діаметр підштанових

$$D_{с.п} = D_{р1-n} + b \text{ мм}$$

де 20 мм , - ширина плоскої неметалічної прокладки для діаметра апарату $D = 10 \text{ (Ю ш)}$,

$$D_{с.п} = 700 - 20 = 680 \text{ мм.} \quad \dots \times D_0$$

Кількість болтів: $\dots > \dots \text{ шт.}$

де $\underline{t_{ш}} = \underline{2,7 \times 2 \times 10} = 54 \text{ мм}$ - КХЖ розміщення болтів при $P_p = 1,25 \text{ в } D_{ла}$.

$$3,14 \times 720$$

$$n_{fi} \geq \dots = 41,9 \text{ шт, приймаємо } n_{fi} = 44 \text{ крає чогирьом.}$$

товщина фланця:

$$h_{\phi} \geq \lambda_{\phi} \times D \times S_{\text{эк}} \text{ мм},$$

где $\lambda_{\phi} = 0.36$ —для $P_p = 1.25$ МПа и приварних встик фланців.

$$h_{\phi} \geq 0.36 \times 600 \times 21.42 = 40.8 \text{ мм}, \text{ приймаємо } h_{\phi} = 42 \text{ мм}.$$

Відстань між опорними поверхнями гайок для фланцевого з'єднання з ущільненою поверхнею типу «шпилька-паз»

$$l_{\text{б.о}} \sim 2(h_{\phi} + h_{\text{п}}) \text{ мм},$$

де $h_{\text{п}} = 2$ мм - висота (товщина) стандартної прокладки.

Коефіцієнт жорсткості з'єднання фланцевого

$$k_{\text{ж}} = \frac{y_{\text{б}} + 0.5 \times y_{\phi} \times (D_{\text{б}} - D - S_{\text{эк}}) \times (D_{\text{б}} - D_{\text{с.п}})}{y_{\text{п}} + y_{\text{б}} + 0.5 \times y_{\phi} \times (D_{\text{б}} - D_{\text{с.п}})^2}$$

$$k_{\text{ж}} = \frac{8.49 \times 10^{-6} + 0.5 \times 1.109 \times 10^{-3} (0.72 - 0.6 - 0.02142) \times (0.72 - 0.68)}{14.7 \times 10^{-6} + 8.49 \times 10^{-6} + 0.5 \times 1.109 \times 10^{-3} \times (0.72 - 0.68)^2} = 0.468$$

Перевірка герметичності та міцності з'єднання.

$$\frac{F_{\text{б1}}}{n_{\text{б}} \times f_{\text{б}}} < [\sigma]_{\text{б20}} \text{ МПа}, \quad \frac{F_{\text{б}}}{n_{\text{б}} \times f_{\text{б}}} < [\sigma]_{\text{б}} \text{ МПа}$$

де $[\sigma]_{\text{б20}} = 130$ МПа, $[\sigma]_{\text{б}} = 113,5$ МПа - відповідно для матеріалу при 20 °С і при 35 °С.

$$\frac{0.32}{44 \times 10.9 \times 10^{-4}} = 6.67 < 130 \text{ МПа}$$

Умову виконано.

Вибір допоміжного обладнання

Насос аераційний. Вміст CO_2 повинен забраний та перекачаний за 30хв, то насосу продуктивність повинна бути: $14,5 \cdot 60 / 30 = 28,6 \text{ м}^3 / \text{год}$

Приймаємо насос марки Я9-0НЦ-1 із технічною характеристикою: подача, $\text{м}^3 / \text{год} = 31$; Напір, 30м; потужність двигуна, кВт = 5,5

3.4.1. Розрахунок болтового з'єднання

Болтовим з'єднання з'єднано конічне днище зонта до конусу (Рис 3.3).

Для з'єднання прийнято відкидний болт й звичайні болти.

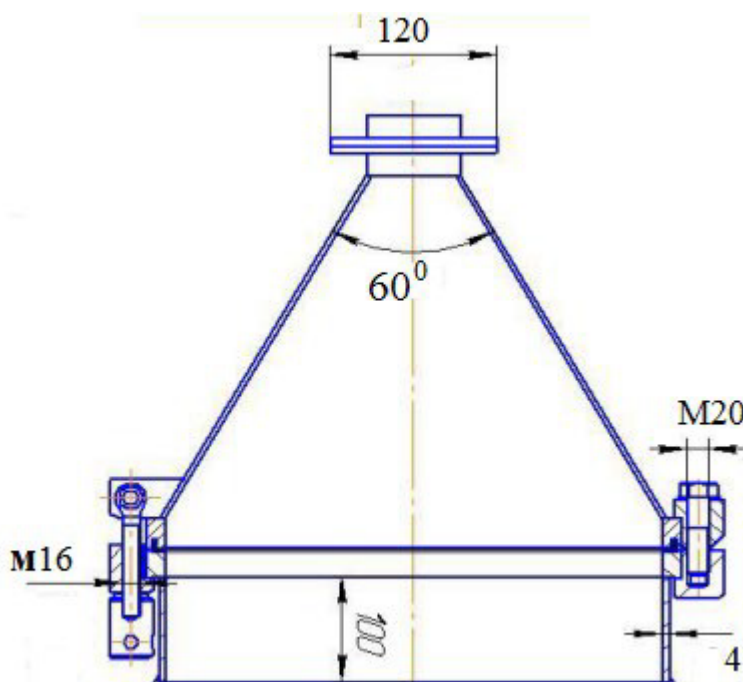


Рис. 3.3. Схема кріплення зонта до сферичної частини апарату

Розрахунок міцності відкидного болта

Вихідні дані:

- Різьба: M20
- Довжина болта: $l=125 \text{ мм}$;
- Довжина різі: $l_0=80 \text{ мм}$;
- Матеріал: сталь 35Х, $\sigma_v=880 \text{ МПа}$;
- Допустиме напруження: $[\sigma_v]=120 \text{ МПа}$;
- Коефіцієнт запасу: $n=6.5$;
- Внутрішній діаметр конічної частини апарату: $D=450 \text{ мм}$;
- Тиск в апараті: $p=0.2 \text{ МПа}$;

- Температура: $t=80^{\circ}\text{C}$;
- Товщина стінки апарата: $\delta=6\text{ мм}$.

Перевірка міцності болта на розтяг. Розрахуємо зусилля, що діє на болт:

$$F=p \cdot A,$$

де A — площа проєкції внутрішньої поверхні конічної частини апарата:

$$A=\pi D^2/4=\pi \cdot (450\text{ мм})^2/4=159043.13\text{ мм}^2.$$

Отже, зусилля:

$$F=p \cdot A=0.2\text{ МПа} \cdot 159043.13\text{ мм}^2=31808.63\text{ Н}.$$

$$\sigma=F/A_{\text{різьби}},$$

де $A_{\text{різьби}}$ — розрахункова площа різьби:

$$A_{\text{різьби}}=\pi/4 \cdot (d^2),$$

d^2 — середній діаметр різьби. Для М20:

$$d^2=17.774\text{ мм}.$$

$$A_{\text{різьби}}=\pi/4 \cdot (17.774)^2=248.13\text{ мм}^2.$$

Напруження:

$$\sigma=31808.63/248.13=128.2\text{ МПа}$$

Перевіримо міцність:

$$\sigma \leq [\sigma_v].$$

Оскільки $128.2\text{ МПа} > 120\text{ МПа}$, болт необхідно замінити або вибрати інший матеріал з більшим $[\sigma_v]$.

При температурі $t=80^{\circ}\text{C}$ напруження у сталі 35Х зменшується. Згідно з довідниками, для цього матеріалу допустиме напруження за такої температури залишається в межах розрахункового $[\sigma_v]$.

3.4.2. Розрахунок параметрів кріплення для апарата з прокладкою

Геометрична ширина прокладки

Вихідні дані:

- Зовнішній діаметр: $D_{\text{пр}}=175\text{ мм}$;
- Внутрішній діаметр: $D_{\text{вн}}=40\text{ мм}$.

Ширина прокладки обчислюється за формулою:

$$b=D_{\text{пр}}-D_{\text{вн}}/2=175-40/2=12.5\text{ мм}.$$

Приведена ширина прокладки визначається як:

$$b' = 0.5 \cdot b = 0.5 \cdot 12.5 = 6.25 \text{ мм.}$$

Ефективна ширина прокладки обчислюється:

Ефективна ширина прокладки обчислюється:

$$b_0 = \sqrt{b' \cdot b} = \sqrt{6.25 \cdot 12.5} = 8.84 \text{ мм.}$$

Розрахунковий діаметр визначається за формулою:

$$D_{\text{пр}} = D_{\text{вн}} + 2 \cdot b_0 = 450 + 2 \cdot 8.84 = 467.68 \text{ мм.}$$

Навантаження на болти з урахуванням тиску в апараті:

$$Q_p = \frac{\pi}{4} \cdot D_{\text{пр}}^2 \cdot p + m \cdot \pi \cdot D_{\text{пр}} \cdot b_0 \cdot p,$$

де:

- $p = 0.2 \text{ МПа}$ — тиск в апараті,
- $m = 2.25$ — коефіцієнт питомого тиску.

Обчислимо:

$$Q_p = \frac{\pi}{4} \cdot (467.68)^2 \cdot 0.2 + 2.25 \cdot \pi \cdot 467.68 \cdot 8.84 \cdot 0.2 = 37652.3 \text{ Н.}$$

Навантаження на болти при затяжці:

$$Q' = \pi \cdot D_{\text{пр}} \cdot b_0 \cdot p = \pi \cdot 467.68 \cdot 8.84 \cdot 0.2 = 13611.2 \text{ Н.}$$

Розрахуємо допустиме навантаження на болт:

$$H_1 = \frac{\pi}{4} \cdot (d^2 - \delta^2) \cdot [\sigma_v],$$

де:

- $d = 20 \text{ мм}$ — діаметр різьби,
- $\delta = 14 \text{ мм}$ — діаметр отвору під болт,
- $[\sigma_v] = 120 \text{ МПа}$.

Обчислимо:

$$H_1 = \pi/4 \cdot (0.022^2 - 0.014^2) \cdot 120 \cdot 10^6 = 11398 \text{ Н.}$$

Кількість болтів визначаємо за формулою:

$$n = \frac{Q_p}{H_1} = \frac{37652.3}{11398} \approx 3.3.$$

Приймаємо кількість болтів рівною **6** для рівномірного розподілу навантаження.

Для апарата з прокладкою рекомендовано використовувати **6 болтів** різьбою М20 для забезпечення міцності та герметичності.

Допустиме напруження на згин для матеріалу фланця (сталь 12Х18Н10Т)

$[\sigma_b] = \sigma_b / n = 530 / 5 = 106 \text{ МПа}$, де $n=5$ – коефіцієнт запасу міцності.

Товщина фланця

$$\delta = 0,75 \sqrt{\frac{Q(D_b - D_s)D_b}{n(\pi D_s - n d_0)d_0[\sigma_s]}} + 0,012 =$$
$$= 0,75 \sqrt{\frac{376523(0,515 - 0,450)0,515}{6(\pi 0,45 - 6 \cdot 0,018)0,018 \cdot 106 \cdot 10^6}} + 0,012 = 0,029 \text{ м,}$$

де d_0 – діаметр отвору під болт;

D_b – діаметр кола розташування центрів болтів;

n – остаточно прийнята кількість болтів.

Товщину фланця приймаємо рівною 40мм.

3.4.3. Розрахунок патрубків

Визначимо в патрубку діаметр подачі сусли і відбору CO_2 . Також подачу дріжджів й вивантаження пива із дріжджами. Діаметр визначимо при значенні подачі сусли.

$$d_c = \sqrt{\frac{4 \cdot G_c}{\pi \cdot v_c}},$$

де G_c – подача сусли секунднa в апарат;

v_c – швидкість сусли.

Тривалість наповнення апарату варкою сусли 80 хв. У ЦКБА вміст 7 варок. Тоді весь час наповнення триває 560 хвилин. Визначимо подачу сусли:

$$G_c = V/T = 255/(560 \cdot 60) = 7,59 \cdot 10^{-3} \text{ м}^3/\text{с.}$$

$$d_c = \sqrt{\frac{4 \cdot 7,59 \cdot 10^{-3}}{\pi \cdot 1}} = 0,098 \text{ м,}$$

Приймаємо діаметр $d_c = 100 \text{ мм}$.

Швидкість подачі:

$$v_d = \frac{4 \cdot G_d}{\pi \cdot d_c^2},$$

Подача дріжджів: $G_d = 5/4800 = 1,04 \cdot 10^{-3} \text{ м}^3/\text{с}$

3.5. Тепловий розрахунок процесу бродіння в циліндрично-конічному бродильному апараті (ЦКБА)

1. Температурний режим:

- Початкова температура: $t_{\text{поч}} = 9^\circ\text{C}$.
- Підвищення протягом перших двох діб: $t_{\text{кін}1} = 14^\circ\text{C}$.
- Головне бродіння: $t_{\text{брод}} = 14^\circ\text{C}$ (верхня частина) і $t_{\text{ниж}} = 10-13^\circ\text{C}$ (нижня частина).

2. Тривалість процесу:

- Перші дві доби: підвищення температури.
- Наступні 5-6 діб: головне бродіння.

3. Зміна екстрактивних речовин:

- Початковий вміст: $E_{\text{поч}} = 12\% \text{ мас.}$
- Кінцевий вміст: $E_{\text{кін}} = 4.5\% \text{ мас.}$

4. Тиск: $P_{\text{надл}} = 0.05-0.06 \text{ МПа}$

Етапи теплового розрахунку:

1. **Тепло, що виділяється під час бродіння.** Тепловиділення обумовлене перетворенням цукру на етиловий спирт і CO_2 . Орієнтовна кількість тепла розраховується за енергією реакції:

$$Q = \Delta H \cdot m_{\text{сусло}},$$

де:

- $\Delta H = 97 \text{ кДж/моль}$ — теплота реакції,
- $m_{\text{сусло}}$ — маса сусла.

Для оцінки маси сусла необхідно знати об'єм апарата $V_{\text{ап}}$ і густину сусла $\rho_{\text{сусло}}$.

Тепло для нагріву сусла визначається за формулою:

$$Q_{\text{нагр}} = c_{\text{сусло}} \cdot m_{\text{сусло}} \cdot \Delta t,$$

де:

- $c_{\text{сусло}}=4.2 \text{ кДж}/(\text{кг}\cdot\text{K})$ — питома теплоємність сусла,

- $\Delta t=t_{\text{кін}}-t_{\text{поч.}}$

3. Враховується тепловіддача через стінки апарата. Тепловтрати обчислюються за формулою:

$$Q_{\text{втрати}}=k\cdot A\cdot\Delta T\cdot\tau,$$

де:

- k — коефіцієнт теплопередачі,
- A — площа поверхні апарата,
- ΔT — різниця температур між суслом і навколишнім середовищем,
- τ — час бродіння.

Загальний тепловий баланс процесу:

$$Q_{\text{сум}}=Q_{\text{вид}}-Q_{\text{втрати}},$$

де $Q_{\text{вид}}$ — сумарне тепло від реакції бродіння та нагріву.

Для 1 м³ сусла (умовний розрахунок): $m_{\text{сусло}}=\rho_{\text{сусло}}\cdot V_{\text{ап}}=1000 \text{ кг}$.

Підставляючи значення в рівняння, отримуємо приблизну кількість тепла для підтримання температурного режиму та оцінюємо тепловтрати.

Загальна площа теплообмінної поверхні апарата складає приблизно **46,7 м²**. Це значення враховує ефективну площу сорочок із трапецієподібними профілями та всі секції охолодження. Збільшення коефіцієнта теплопередачі k дозволить компенсувати додаткове теплове навантаження від вторинного CO₂ та забезпечить ефективне охолодження сусла. Для точного розрахунку необхідно врахувати всі теплові потоки та параметри вторинного CO₂ (витрату, температуру, теплоємність).

Коефіцієнт теплопередачі

$$k = \frac{1}{\frac{1}{\alpha_1} + \frac{\delta}{\lambda} + \frac{1}{\alpha_2}},$$

де λ — для нержавіючої сталі коефіцієнт теплопровідності;

δ — товщина.

$$k = \frac{1}{\frac{1}{254,075} + \frac{0,006}{17,5} + \frac{1}{9472,6}} = 230 \text{ Вт}/(\text{м}^2\text{K})$$

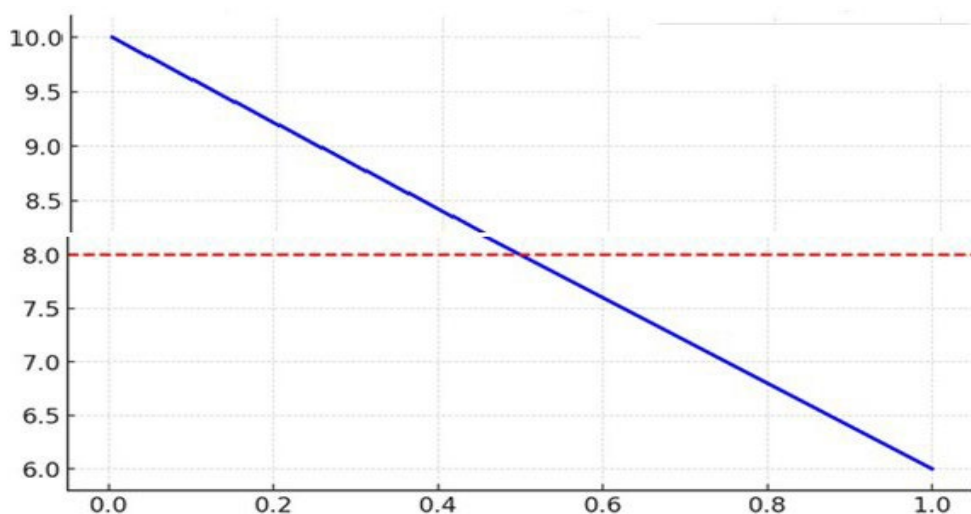
Середня різниця температур ($\Delta T_{\text{ср}}$) визначається для теплообміну між двома середовищами (суслом і холодоагентом) за формулою для логарифмічної різниці температур (LMTD — Log Mean Temperature Difference):

$$\Delta T_{\text{ср}} = \frac{\Delta T_1 - \Delta T_2}{\ln \left(\frac{\Delta T_1}{\Delta T_2} \right)},$$

де:

- $\Delta T_1 = t_{\text{сусла}}^{\text{вх}} - t_{\text{холодоагента}}^{\text{вих}}$ — різниця температур на початку теплообмінника;
- $\Delta T_2 = t_{\text{сусла}}^{\text{вих}} - t_{\text{холодоагента}}^{\text{вх}}$ — різниця температур на кінці теплообмінника.

Середня різниця температур становить приблизно 7.83°C. Це значення використовується для подальшого розрахунку теплового потоку (Q) через поверхню теплообміну.



Ось графік, що показує зміну температурної різниці (ΔT уздовж теплообмінника. Середня різниця температур ($\Delta T_{\text{ср}}$) позначена пунктирною червоною лінією.

Графік ілюструє, як температура змінюється поступово, відображаючи ефективність процесу теплообміну.

Оцінки енергетичного потенціалу бродіння середовища

Під час зброджування в однорідному газорідинному середовищі, після досягнення стану насичення за відповідним показником, починається формування газової фази у вигляді бульбашок. Це призводить до підвищення тиску в газовому просторі над рідиною. Зі свого боку, зростання тиску сприяє підвищенню максимальної розчинності газу, внаслідок чого система зазнає постійних змін, супроводжуючись збільшенням енергетичного потенціалу.

Внаслідок дії гідростатичного тиску в середовищі спостерігається вертикальна нерівномірність за показниками та концентрацією розчиненого CO_2 . Це також свідчить про те, що енергетичний потенціал розчиненого газу збільшується разом із зростанням гідростатичного тиску. Ця особливість свідчить про можливість інтенсифікації процесів масообміну, гомогенізації та бродіння шляхом використання вертикального градієнта потенціалів. Для досягнення цього необхідно забезпечити вертикальну циркуляцію суміші, використовуючи наявну нерівномірність енергетичних потенціалів у середовищі.

Для оцінки енергетичного потенціалу середовища, в якому постійно синтезується CO_2 , розглянемо рідинний шар висотою H . На певній висоті x виділимо елементарний шар товщиною dx . Рівень насичення CO_2 для цього шару позначимо як: $S(x)=f(P(x),T)$,

де $P(x)$ — гідростатичний тиск на висоті x , а T — температура.

Кількість розчиненого CO_2 в елементарному шарі товщиною dx визначається за формулою:

$$dC=S(x)\cdot\rho\cdot dx,$$

де:

- $S(x)$ — рівень насичення на висоті x ,
- ρ — густина рідини,
- dx — товщина елементарного шару.

Ця залежність дозволяє інтегрувати кількість розчиненого CO_2 по всій висоті рідинного шару для подальшої оцінки енергетичного потенціалу.

Загальна кількість розчиненого CO_2 у рідинному шарі може бути обчислена шляхом інтегрування кількості газу в кожному елементарному шарі товщиною dx по висоті шару. Це дається формулою:

$$C_{\text{total}} = \int_0^H S(x) \cdot \rho \cdot dx,$$

де:

- C_{total} — загальна кількість розчиненого CO_2 ,
- $S(x)$ — рівень насичення на висоті x ,
- ρ — густина рідини,
- H — висота рідинного шару.

Інтеграл враховує зміну рівня насичення $S(x)$ уздовж висоти шару, яка залежить від гідростатичного тиску та інших параметрів.

Якщо процес розширення газової фази є адіабатним, то робота розширення газу може бути визначена за формулою:

$$A = \int_{V_1}^{V_2} P dV,$$

- A — робота розширення газу,
- P — тиск газу, що змінюється з об'ємом,
- V_1 та V_2 — початковий і кінцевий об'єми газової фази.

Для адіабатного процесу, враховуючи рівняння Пуассона $PV^\gamma = \text{const}$, тиск P змінюється за законом:

$$P = P_1 \left(\frac{V_1}{V} \right)^\gamma,$$

де:

- $\gamma = C_p / C_v$ — показник адіабати,
- P_1 — початковий тиск,
- V_1 — початковий об'єм.

Підставивши цей вираз у формулу роботи, отримаємо:

$$A = \int_{V_1}^{V_2} P_1 \left(\frac{V_1}{V} \right)^\gamma dV.$$

$$A = \frac{P_1 V_1^\gamma}{1 - \gamma} \left(V_2^{1-\gamma} - V_1^{1-\gamma} \right),$$

Ця формула описує роботу адіабатного розширення газової фази в процесі. Для зв'язку роботи газу з процесом досягнення насичення CO_2 , слід врахувати, що газова фаза починає формуватися у верхніх шарах через зниження гідростатичного тиску на цій висоті, що зменшує розчинність CO_2 . У процесі формування бульбашок газ виконує роботу за рахунок розширення у рідині, і ця робота впливає на енергетичний баланс системи.

У перехідному режимі концентрація розчиненого CO_2 досягає стану насичення спочатку у верхніх шарах через менший гідростатичний тиск. Робота розширення газу в цьому шарі визначається як: $A = P \Delta V$,

де P — локальний тиск на висоті, а ΔV — об'єм газової фази, що утворюється.

Формування бульбашок газу в верхніх шарах створює локальну різницю тиску, що сприяє вертикальній циркуляції рідини. Ця циркуляція покращує масообмін і сприяє переносу розчиненого CO_2 до нижніх шарів, де процес насичення триває. Робота газу в перехідному процесі може бути оцінена як інтеграл за висотою шару, де формується газова фаза:

$$A_{\text{total}} = \int_{x=0}^H P(x) \Delta V(x) dx,$$

де:

- $P(x)$ — тиск на висоті x ,
- $\Delta V(x)$ — об'єм газової фази, що утворюється на x .

Оскільки газ виконує роботу, він змінює енергетичний потенціал системи, сприяючи встановленню нового рівноважного стану. У верхніх шарах робота розширення газу швидше компенсує тиск, зумовлюючи подальше насичення і рівномірний розподіл CO_2 по всьому об'єму.

Цей підхід дозволяє пов'язати роботу газу з процесом досягнення стану насичення CO_2 у рідині (рис.4.1).

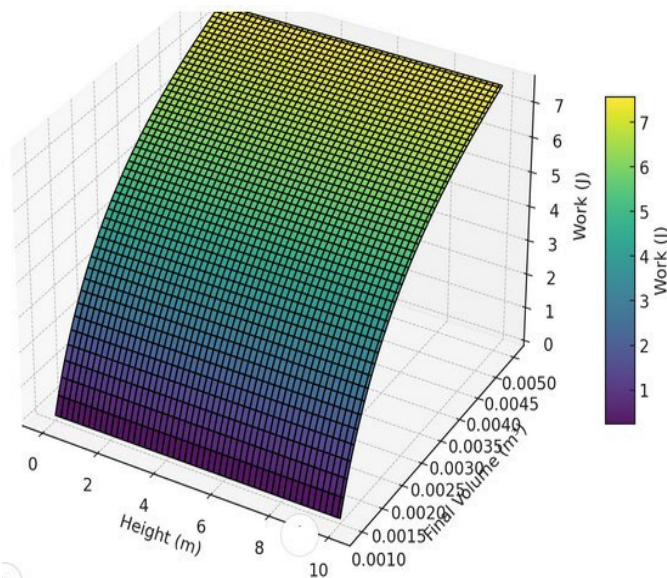


Рис. 4.1. 3D-графік роботи газу в залежності від висоти рідинного стовпа та кінцевого об'єму газової фази

На графіку видно, що висота рідинного шару (м) та кінцевий об'єм газу (m^3) визначають як робота змінюється із збільшенням висоти та кінцевого об'єму газу. Це демонструє залежність енергетичного потенціалу системи від параметрів процесу. Робота процесу бродіння формує енергетичний потенціал системи, який сприяє виділенню CO_2 . Цей потенціал безпосередньо залежить від ключових параметрів процесу: **температури, що впливає** на розчинність CO_2 у середовищі та швидкість бродіння. При підвищенні температури швидкість реакцій зростає, але розчинність CO_2 знижується, що сприяє його виділенню. Збільшення тривалості бродіння дозволяє більше CO_2 накопичуватися в середовищі, досягаючи насичення і формування газової фази. Гідростатичний тиск рідинного шару впливає на рівень насичення CO_2 . У глибших шарах через більший тиск газ довше залишається розчиненим, що створює потенціал для циркуляції.

Об'єм середовища впливає на загальну кількість виділеного CO_2 і рівномірність розподілу газової фази в системі. Ці параметри визначають рівноважний стан системи і дозволяють управляти процесами бродіння для підвищення ефективності. Наприклад, оптимізація циркуляції середовища

може сприяти рівномірному виділенню CO_2 і забезпечувати стабільні умови бродіння.

Забір CO_2 з верхніх шарів та подача його в нижню частину апарату для оптимізації циркуляції — це дуже ефективний підхід для підтримання стабільних умов бродіння. Така стратегія дозволяє досягти кількох важливих результатів: **рівномірне насичення середовища CO_2** у верхніх шарах, а в нижніх — вища розчинність завдяки більшому гідростатичному тиску, забір газу з верхніх шарів і подача його в нижні допомагає збалансувати концентрацію CO_2 в усіх частинах апарату.

Подача CO_2 в нижню частину апарату створює додаткові циркуляційні потоки, які покращують масообмін між рідиною та газом. Це сприяє більш ефективному транспортуванню CO_2 через весь об'єм середовища, що прискорює процес бродіння.

Подача CO_2 з верхніх шарів в нижні також може зменшити ризик утворення газових порожнин і бульбашок у верхніх шарах, що дозволяє зберегти стабільний рівень тиску та температури в апараті, що в свою чергу підтримує стабільні умови бродіння.

За рахунок циркуляції і подачі CO_2 можна створювати оптимальні умови для розвитку потрібної мікрофлори (наприклад, дріжджів) шляхом контролю концентрації газів та рівня розчиненого CO_2 , що дає змогу ефективно регулювати процес бродіння.

Таке управління газовим обміном дозволяє більш точно контролювати параметри бродіння, що важливо для забезпечення високої ефективності і стабільності процесу.

3.1.1. Математичний опис впливу циркуляції на динаміку розчинення та виділення CO_2

Для математичного опису впливу циркуляції на динаміку розчинення та виділення CO_2 в процесі бродіння можна розглянути кілька ключових аспектів, таких як масовий та енергетичний баланс, а також врахування циркуляційних потоків, що сприяють рівномірному розподілу CO_2 .

Масовий баланс для CO_2 в системі можна описати рівнянням, яке враховує розчинення CO_2 в рідині, виділення газу з рідини та забір CO_2 з верхніх шарів для подачі в нижні:

$$\frac{dM_{\text{CO}_2}}{dt} = \dot{m}_{\text{produced}} - \dot{m}_{\text{removed}} - \dot{m}_{\text{dissolved}}$$

де:

- M_{CO_2} — кількість розчиненого CO_2 в середовищі (моль або кг);
- $\dot{m}_{\text{produced}}$ — масова швидкість виділення CO_2 (моль/с або кг/с), що залежить від інтенсивності процесу бродіння;
- $\dot{m}_{\text{removed}}$ — швидкість видалення CO_2 з верхніх шарів середовища (моль/с або кг/с);
- $\dot{m}_{\text{dissolved}}$ — швидкість розчинення CO_2 в рідині (моль/с або кг/с), яка залежить від концентрації газу в рідині та рівня тиску.

Гідростатичний та газовий тиск: Насичення CO_2 в рідині залежить від гідростатичного тиску, який змінюється з висотою в системі. Це можна описати рівнянням рівноваги газової фази з рідкою:

$$P_{\text{gas}} = P_{\text{sat}}(T) \cdot \left(1 + \frac{\rho \cdot g \cdot h}{P_0} \right)$$

де:

- P_{gas} — тиск газової фази;
- P_{sat} — максимальний тиск насичення CO_2 при температурі ТТТ;
- ρ — густина рідини;
- g — прискорення вільного падіння;
- h — висота рідинного шару;
- P_0 — атмосферний тиск.

Це рівняння дозволяє враховувати зміни в тиску по висоті рідинного шару та відповідно регулювати розчинність CO_2 .

Розширення газової фази: Робота розширення CO_2 , що піддається адіабатному розширенню, також може бути включена в модель. Для цього можна використати рівняння адіабатного процесу:

$$W_{\text{expansion}} = \int_{V_1}^{V_2} P(V) dV = P_0 \cdot V_1 \cdot \left(\frac{V_2}{V_1} \right)^\gamma \cdot \left(\frac{1}{1 - \gamma} \right)$$

де:

- $W_{\text{expansion}}$ — робота, виконана під час розширення;
- V_1, V_2 — початковий та кінцевий об'єми газу;
- γ — показник адіабатності для CO_2 .

Це дозволяє враховувати зміни об'єму газу при його розширенні у процесі бродіння.

Циркуляція та динаміка потоків: Для моделювання циркуляції можна використовувати рівняння, які описують переміщення рідини та газу за допомогою швидкостей потоків у вертикальному напрямку. Для цього можна застосувати рівняння Нав'є-Стокса для рідин в поєднанні з рівнянням для масової швидкості потоку CO_2 , яке буде залежати від вертикального градієнта концентрації газу.

$$\frac{\partial C}{\partial t} + \mathbf{v} \cdot \nabla C = D \cdot \nabla^2 C$$

де:

- C — концентрація CO_2 в рідині;
- $\mathbf{v}$ — швидкість потоку;
- D — коефіцієнт дифузії CO_2 в рідині.

Комбінування всіх факторів: кілька можливих рівнянь для опису впливу циркуляції на динаміку розчинення та виділення CO_2 :

- Рівняння для масового балансу;
- Рівняння для зміни концентрації газу в рідині залежно від швидкості потоку та циркуляції;
- Рівняння для розширення газової фази;
- Рівняння для тиску і насичення CO_2 .

Ці рівняння можуть бути інтегровані для отримання системи, яка дасть змогу моделювати зміни концентрації CO₂, його виділення та циркуляційні потоки в процесі бродіння.

Таким чином, у звичайному режимі зброджування газова фаза видаляється зі всього об'єму середовища, що забезпечує усталений стан. Однак у перехідному процесі, який триває від початку зброджування до досягнення стану насичення CO₂, формування газової фази розпочинається у верхніх шарах. Згодом цей процес поступово поширюється на глибші шари середовища, де також досягається рівень насичення $S(x)$.

4. 2. Оцінка споживчої потужності для транспортування газу

При подачі CO₂ з верхньої частини циліндра до конічної частини, частина потужності буде витрачатися на переміщення газу. Оскільки газ подається до рідини, необхідно врахувати споживчу потужність для цього процесу. Оцінка споживчої потужності для газового потоку здійснюється через рівняння енергії:

$$P_{\text{газ}} = \dot{m} \cdot \Delta h$$

де:

- $P_{\text{газ}}$ — потужність, що витрачається на транспортування газу,
- $\dot{m}$ — масовий потік газу CO₂,
- Δh — зміна ентальпії газу при переміщенні (залежить від різниці температур та тиску між верхньою та конічною частиною).

Для оцінки зміни ентальпії Δh , можна використовувати рівняння для газу і його теплоємності:

$$\Delta h = c_p \cdot \Delta T$$

де:

- c_p — теплоємність газу CO₂,
- ΔT — зміна температури газу під час транспортування.

Подача газу CO₂ може сприяти додатковому тепловому потоку в сусло через змішування газу з рідиною. Це викликає підвищення інтенсивності теплообміну між газом і рідиною в конічній частині. Потрібно оцінити тепловий потік, що передається в рідину, і потужність, необхідну для забезпечення цього обміну.

Інтенсивність теплового потоку можна оцінити через рівняння теплопередачі в рідкому середовищі:

$$Q = k_{\text{передач}} \cdot A \cdot \Delta T$$

де:

- Q — тепловий потік, що передається в сусло,
- $k_{\text{передач}}$ — коефіцієнт теплопередачі,
- A — площа контакту газу з рідиною (площа поверхні, на яку надходить CO_2),
- ΔT — різниця температур між газом і рідиною.

Подача газу до конічної частини спричиняє турбулентність і активізує процеси змішування в рідині. Для оцінки потужності, необхідної для змішування, можна використано рівняння для потужності, витраченої на створення турбулентних потоків:

$$P_{\text{мішання}} = \mu \cdot \dot{\gamma} \cdot V$$

де:

- μ — динамічний коефіцієнт в'язкості рідини,
- $\dot{\gamma}$ — швидкість деформації рідини (залежить від турбулентності),
- V — об'єм сусла в конічній частині.

Загальна споживча потужність для процесу бродіння включає теплові і масові потоки, а також енергію, витрачену на забезпечення необхідної швидкості потоку газу та змішування в рідкому середовищі. Формула для загальної споживчої потужності:

$$P_{\text{заг}} = P_{\text{газ}} + P_{\text{теплот}} + P_{\text{міш}}$$

де:

- $P_{\text{заг}}$ — загальна споживча потужність, необхідна для підтримки бродильного процесу з подачею газу,
- $P_{\text{газ}}$ — потужність для транспортування газу,
- $P_{\text{теплот}}$ — потужність для теплопередачі в рідкому середовищі,
- $P_{\text{міш}}$ — потужність, витрачена на змішування.

Для більш точних розрахунків оцінки споживчої потужності в апараті з подачею CO₂ і охолоджувальною сорочкою з урахуванням температурних умов та площі контакту, застосуємо основні рівняння і значення. Вхідні дані:

1. Температура CO₂: 26°C (температура газу).
2. Температура сусла: змінна, оскільки під час бродіння температура підвищується, але візьмемо її середнє значення для розрахунків — припустимо, 30°C (температура сусла).
3. Площа контакту газу з рідиною: коло діаметром 5.5 м.
4. В'язкість газу: для CO₂ при 26°C в'язкість можна прийняти за

$$\mu_{\text{газ}} = 1.56 \times 10^{-5} \text{ Па}\cdot\text{с}.$$

5. В'язкість сусла: в'язкість сусла при температурі 30°C може бути прийнята

$$\text{як } \mu_{\text{сусло}} = 1.5 \times 10^{-3} \text{ Па}\cdot\text{с}.$$

Припустимо, що газ подається в середовищі при температурі 26°C, а потім відбувається його нагрів до температури сусла (30°C). Зміна ентальпії може бути оцінена за допомогою теплоємності CO₂ (для спрощення) та зміни температури. Однак для точності потрібно знати більше даних про подачу газу (потік), тому цей етап може бути уточнений на основі конкретних умов.

Задача включає оцінку теплового потоку, що передається від CO₂ до сусла через процес теплопередачі: $Q_{\text{теплоп}} = K_{\text{перед}} \cdot A \cdot \Delta T$

де:

- A — площа контакту газу з рідиною, для кола діаметром 5.5 м площа обчислюється за формулою

$$A = \pi \cdot \left(\frac{d}{2}\right)^2 = \pi \cdot \left(\frac{5.5}{2}\right)^2 = 23.76 \text{ м}^2$$

- $K_{\text{пер}}$ — коефіцієнт теплопередачі. Для підрахунку цього коефіцієнта потрібно враховувати деталі конструкції, але для спрощення можна прийняти середнє значення, наприклад, $K_{\text{пер}} = 50 \text{ Вт/м}^2\cdot\text{°C}$.
- ΔT — різниця температур між CO₂ і суслом, тобто:
 $\Delta T = T_{\text{сусло}} - T_{\text{CO}_2} = 30^\circ\text{C} - 26^\circ\text{C} = 4^\circ\text{C}$

Отже, потік тепла, що передається в сусло:

$$\Delta T = T_{\text{сусло}} - T_{\text{CO}_2} = 30^\circ \text{C} - 26^\circ \text{C} = 4^\circ \text{C}$$

$$Q_{\text{тепл}} = 50 \cdot 23.76 \cdot 4 = 4,752 \text{ Вт}$$

Оскільки подача газу також стимулює змішування рідини, ми можемо оцінити потужність для змішування через рівняння для турбулентного змішування:

$$P_{\text{міш}} = \mu_{\text{сус}} \cdot \dot{\gamma} \cdot V$$

де:

- $\mu_{\text{сус}} = 1.5 \times 10^{-3} \text{ Па} \cdot \text{с},$

Оцінка споживчої потужності показує, що ключовими чинниками для цього процесу є теплообмін і змішування, а також забезпечення ефективного транспортування CO_2 в систему. Для точних розрахунків потрібно враховувати більш детальні параметри системи та використовувати відповідні коефіцієнти, які можуть бути отримані через експерименти або моделювання.

Швидкість деформації $\dot{\gamma}$ в контексті процесу змішування рідини (особливо при турбулентному змішуванні) визначається як швидкість зміни швидкості в точці рідини. Це характеристика турбулентності в потоці рідини, і для її розрахунку часто використовують наближені рівняння на основі числових методів або теоретичних моделей.

Розрахунок швидкості деформації для турбулентного потоку у турбулентному потоці швидкість деформації можна обчислити за допомогою наступного рівняння:

$$\dot{\gamma} = \sqrt{2 \cdot \left(\frac{D}{L} \right) \cdot \left(\frac{\Delta v}{t} \right)}$$

де:

- D/L — характеристична величина (розмірність елемента потоку, в даному випадку це діаметр трубопроводу, що бере участь у змішуванні, 100мм),
- Δv — різниця швидкостей потоку в суміжних шарах рідини, 0.02м/с;
- t — час, за який відбувається змішування або турбулентне змішування, 15с.

Швидкість деформації $\dot{\gamma}$ є важливим параметром для оцінки енергетичних витрат при транспортуванні та конвективному процесі в апараті. Для точних розрахунків можна використовувати або теоретичні моделі, або спеціалізоване програмне забезпечення для моделювання потоку, а також експериментальні дані для верифікації результатів.

Для побудови 3D графіка деформації швидкості $\dot{\gamma}$ обираємо параметри, якими будемо варіювати із-за їхнього впливу. Початкові дані фіксують $D/L=0.1$ (оскільки діаметр труби 100 мм, а характерна довжина L теж вважається 1 м),

$$\Delta v=0.02 \text{ м/с і } t=15\text{с.}$$

Побудуємо графік для залежності $\dot{\gamma}$ від параметрів Δv та t , і зробимо наступні кроки:

1. Обчислимо $\dot{\gamma}$ за формулою: $\dot{\gamma}=2\cdot(D/L)\cdot(\Delta v/t)$

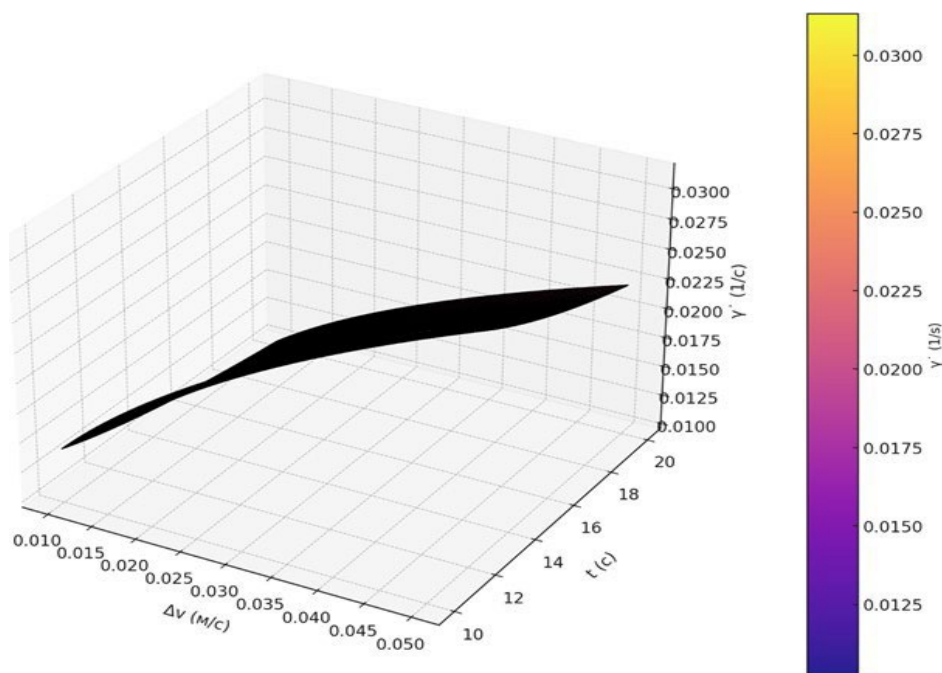


Рис. 4.2. Залежність швидкості деформації від швидкості потоку CO_2 і часу

Графік демонструє залежність швидкості деформації $\dot{\gamma}$ в різниці швидкостей потоку $\Delta v(\text{м/с})$, де чим більше часу транспортування $t(\text{с})$ зі збільшенням Δv . Графік ілюструє, як можна керувати швидкістю деформації $\dot{\gamma}$, для оптимізації змішування в трубопроводах, проектування обладнання чи оцінки ефективності

4.3. Математичний опис потоку газу через зонт

Математична модель потоку газу через трубопровід включає рівняння Нав'є-Стокса з моделлю турбулентності $k-\epsilon$ та оцінку швидкості деформації для турбулентного потоку. Основними кроками для побудови моделі описуємо рух газу рівнянням Нав'є-Стокса. Використовуємо модель турбулентності для розрахунку кінетичної енергії турбулентності і швидкості дисипації та визначаємо швидкість деформації в трубопроводі. Оцінюємо теплові та масові потоки для загальної оцінки ефективності процесу.

Для моделювання руху CO_2 в конічній зоні використаємо FlowVision через реалізацію рівнянь Нав'є-Стокса та енергії в обертовій системі координат. Основна система рівнянь для опису руху газу:

$$\frac{\partial \mathbf{V}}{\partial t} + (\mathbf{V} \cdot \nabla) \mathbf{V} = -\frac{\nabla P}{\rho} + \nu \nabla^2 \mathbf{V} + \mathbf{B},$$

де:

- $\mathbf{V}$ — вектор швидкості,
- t — час,
- P — тиск,
- ρ — густина,
- $\nu = \mu/\rho$ — кінематична в'язкість,
- $\mathbf{B} = -2(\boldsymbol{\omega} \times \mathbf{V}) - (\boldsymbol{\omega} \times (\boldsymbol{\omega} \times \mathbf{r}))$ — сили Коріоліса і центробіжні сили,

де:

- $\boldsymbol{\omega}$ — кутова швидкість обертання,
- $\mathbf{r}$ — радіус-вектор.

Рівняння стану (густина газу)

$$\rho = \rho_0(1 + \beta(P - P_0)),$$

де β — коефіцієнт стисливості газу.

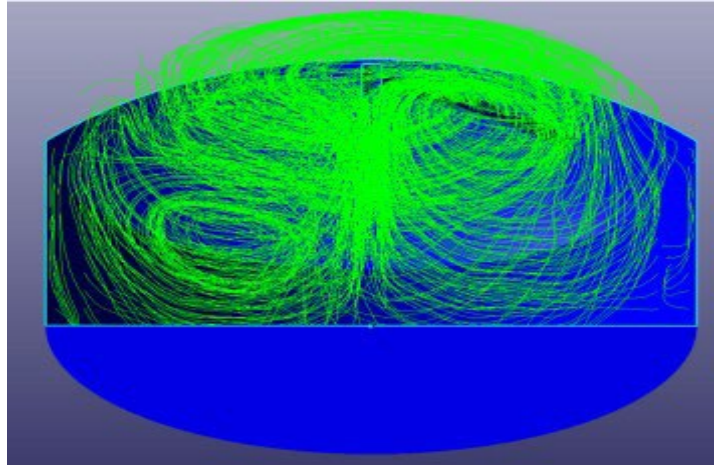


Рис. 4.3. Розподіл швидкості газу CO₂ (групи частинок)

Із рис. 4.3 швидкість біля верхньої частини частинок в апараті найвища, що пояснюється дією бродіння. **Рисунок** ілюструє розподіл швидкості газу CO₂ та його поведінку, зокрема, у вигляді груп частинок, що можуть утворюватися під час процесів, наприклад, ферментації або в апаратах із газообміном.

$$\rho c_p (\partial h / \partial t + V \cdot \nabla h) = \lambda \nabla^2 T + Q,$$

де:

- c_p — питома теплоємність,
- λ — теплопровідність,
- T — температура,
- Q — об'ємне джерело тепла.

Для побудови графіка незалежності та аналізу рівня теплопровідності можна вивести спрощений випадок. Припустимо, що ентальпія лінійно $\partial h / \partial t = 0$ год). Тод

$$\rho c_p (V \cdot \nabla T) = \lambda \nabla^2 T + Q,$$

При побудові графіка розглянемо просторовий розподіл температури $T(x, y, z)$

- $\rho = 1000 \text{ кг/м}^3$, $c_p = 4200 \text{ Дж/(кгК)}$,
- $\lambda = 0,6 \text{ Вт/(м К)}$,
- $Q = 1000 \text{ Вт/м}^3$, $V = (0,1) \text{ м/с}$.

Змоделюємо процес у прямокутній області розміром $1 \text{ м} \times 1 \text{ м}$.

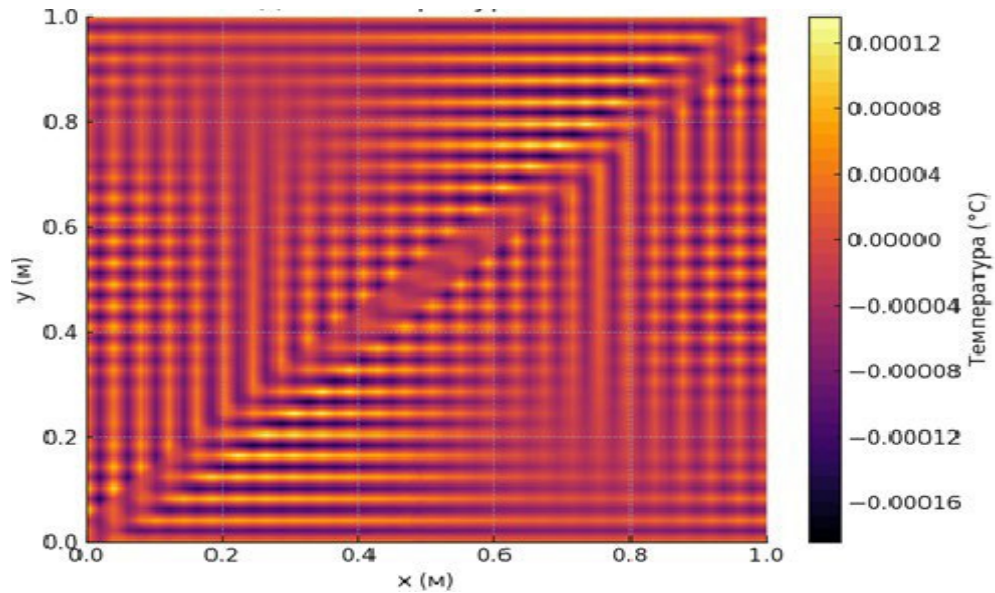


Рис.4.4. Розподіл температури в області зонта

Графік демонструє розподіл температури $T(x,y)$ у прямій площині зонта $1\text{m} \times 1\text{m}$ із урахуванням Q , B . Область із вищою температурою формується в центрі через джерело тепла Q . Вплив швидкості потоку $B=(0,1)$ на температурний розподіл в зонті під час руху газу, такого як CO_2 рівень теплопередачі враховує.

Більш наглядно розподілення швидкості та температури в зонті на основі вище проведених модельних візуалізацій потоку, на рис. 4.5. відображено узагальнений вихід газу у модернізовану трубопровідну систему.

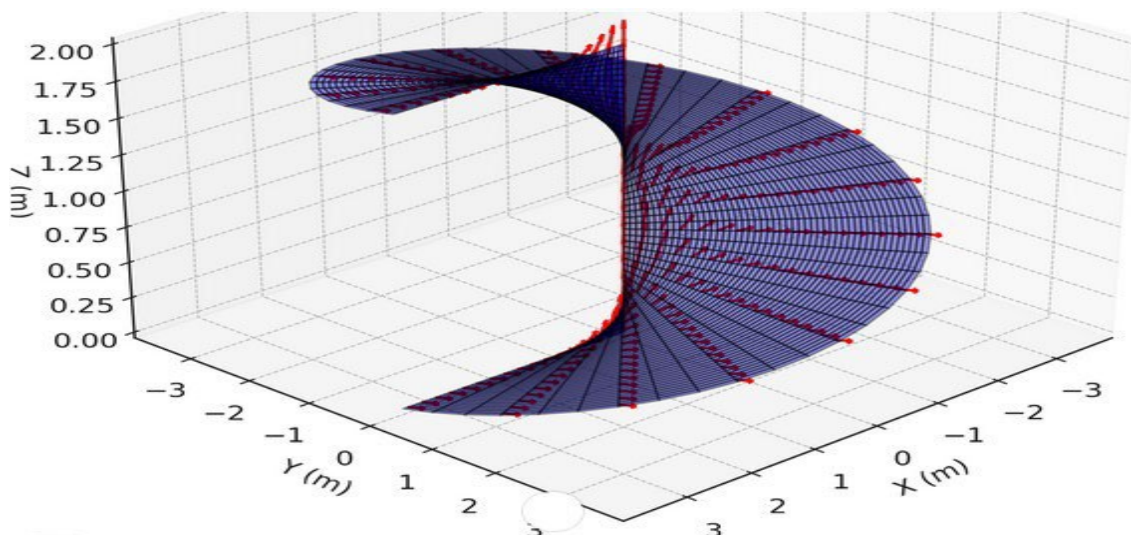


Рис. 4.5. Векторний розподіл потоку: осьовий, тангенціальний і радіальний компоненти швидкості

Ось візуалізація руху CO_2 у кінці зонти. Поверхня конуса відображає геометрію зонти, а червоні стрілки демонструють векторний розподіл потоку.

Синтетичні дані показують осьовий, тангенціальний і радіальний компоненти швидкості. Маємо змогу встановити, що розподіл швидкості є не рівномірним по всій поверхні.

4.4. Розподіл параметрів вздовж осі труби при транспортуванні газу

Для візуалізації розподілу температури в трубі діаметром $d = 100\text{мм}$) можна побудувати 3D-графіку або циліндричний зріз, який показує температурне поле та вектор швидкостей вздовж осі труби і в поперечному перерізі. Це дозволить краще уявити, як змінюється температура.

Побудуємо розподіл температури вздовж осі труби (координата (z) та в радіальному напрямку (r)). Це зображення показує лише трубопровід з потоком газу всередині без додаткових графіків, що спрощує огляд самого процесу переміщення газу. Тут ми можемо спостерігати за моделлю потоку в реальному часі і помічати, де саме відбуваються зміни швидкості або напрямку потоку.

Швидкість газу впливає на конвекційний перенос тепла, що зсуває температурне поле в сторону потоку. Цей підхід дозволить точно змоделювати рух CO_2 і отримати якісний аналіз впливу обертових сил на динаміку газу в трубопровідній зоні.

Створимо сітку на основі геометрії труби. Виберемо відповідний рівень деталізації сітки для відображення границь трубопроводу. Налаштуємо розділення сітки для визначення середніх густин потоків на гранях. Вибераємо точки області для збору даних та зазначаємо місця вимірювання густини потоків та швидкості. За допомогою FlowVision робимо графіки потоку газу у трубопроводі:

- Температура: 28°C .
- Початкова швидкість потоку: 0.2 м/с .
- Густина CO_2 : приблизно 1.799 кг/м^3 при цій температурі.

Середні густини потоків на гранях сітки можна виразити наступними рівняннями: через вільні грані S_{ji} :

$$\dot{m}_{ji} = \frac{1}{\tau} \int_{S_{ji}} \rho \cdot \vec{v} \cdot \hat{n} dS$$

де:

- $\dot{m}_{ji}$ — потік маси через грань S_{ji} ,

Через тверді грані g_i :

$$\dot{m}_{ij} = \frac{1}{\tau} \int_{g_{ij}} \rho \cdot \vec{v} \cdot \hat{n} dg$$

де:

- $\dot{m}_{ij}$ — потік маси через грань g_{ij} ,

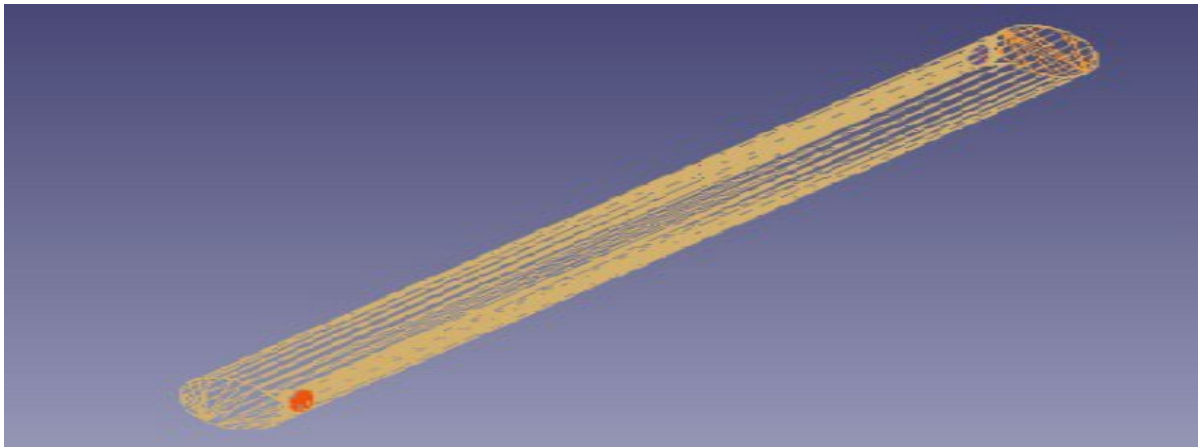


Рис. 4.6. 3D модель трбопроводу відбору CO₂ із апарату

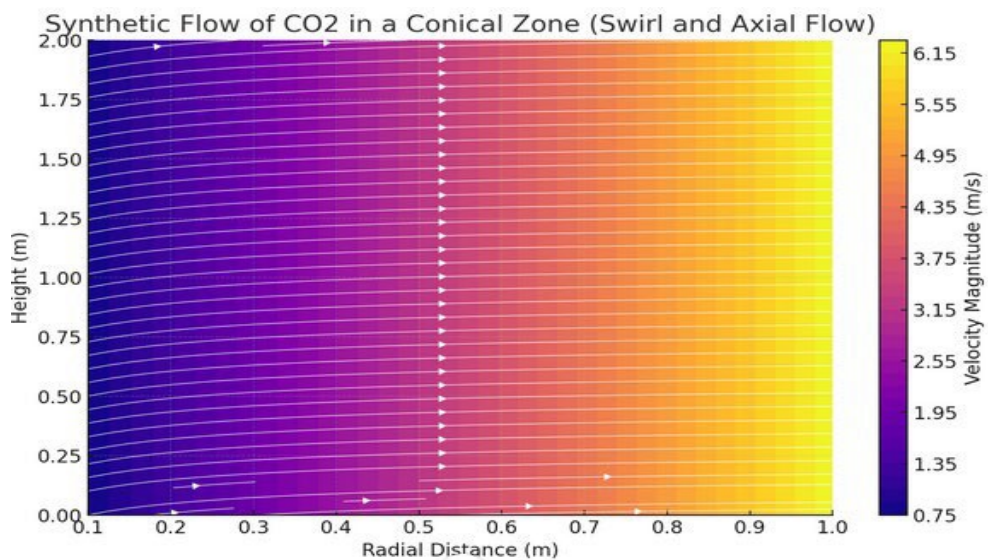


Рис. 4.7. Вектор швидкості рух CO₂

Візуалізація синтетичного руху CO₂ в кінчній зоні демонструє розподіл швидкостей: осьовий потік із затуханням по радіусу та тангенціальний компонент (v), який імітує змішаний рух. На графіку відображено векторну величину швидкості потоку (м/с), де показують напрямки потоку.

Формула розподілу для ламінарного потоку описана рівнянням:

$$v(r) = v_{\max} \left(1 - \frac{r^2}{R^2} \right),$$

де $v(r)$ — швидкість на відстані r від центра, R — радіус трубопроводу,

$v_{\max}$ — максимальна швидкість у центрі.

На рис. 4.8 подано зміну швидкості газу щодо центральної осі трубопроводу.

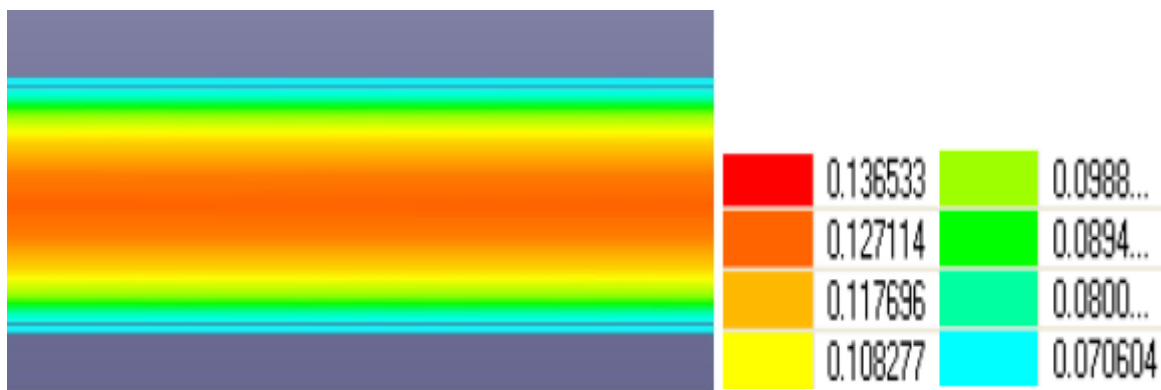


Рис. 4.8. Зміну швидкості газу

Швидкість газу змінюється симетрично щодо центральної осі, що відповідає класичній моделі потоку в круглому трубопроводі (параболічний профіль швидкості). Такий розподіл характерний для ламінарного потоку, але за умов турбулентності профіль може змінюватися. Вищі швидкості у центрі сприяють транспортуванню CO₂, тоді як у пристінкових областях утворюються застійні зони або локальна турбулентність.

Температурні чи тискові градієнти також можуть впливати на такий розподіл. У центрі трубопроводу (червоний і помаранчевий кольори) швидкість досягає свого піка. Це зона, де газ рухається найбільш інтенсивно, без суттєвого впливу сил тертя. Профіль швидкості тут може бути параболічним для ламінарного потоку або більш плоским для турбулентного потоку.

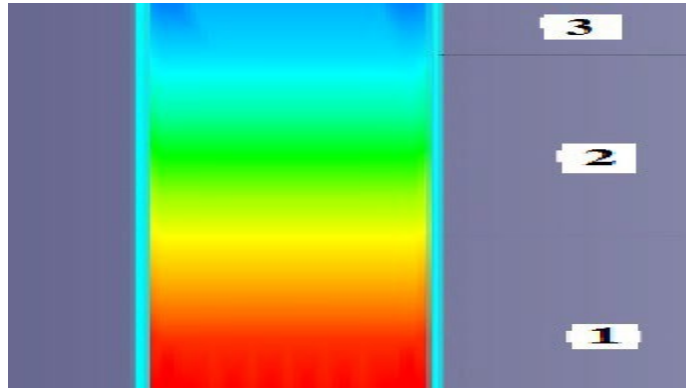


Рис. 4.9. Зміна температури по висоті трубопроводу

Із рис.4.9 розподілу температури газу всередині трубки видно, як розподіляється температура під час руху. Так, із підйомом по висоті його температура збільшується до температури на виході. Нагрівання газу до температури ($T=16^{\circ}\text{C}$) здійснюється за допомогою постійного надходження та деякого тертя та тиску (0,4 МПа).

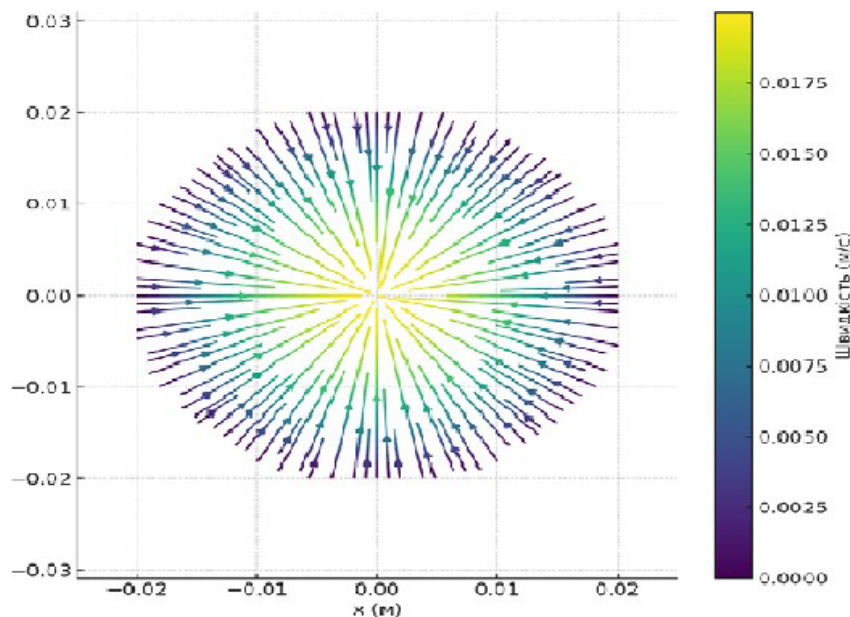


Рис. 4.10. Векторне поле розподілу швидкості газу CO_2

На графіку зображено векторне поле розподілу швидкості газу CO_2 у поперечному перерізі труби. Як видно, швидкість максимальна в центрі труби і зменшується до нуля біля стінок, відповідно до ламінарного профілю (параболічного розподілу).

На 3D графіках представлено розподіл температури та швидкості по довжині і радіусу трубопроводу, що входить в систему відведення CO_2 .

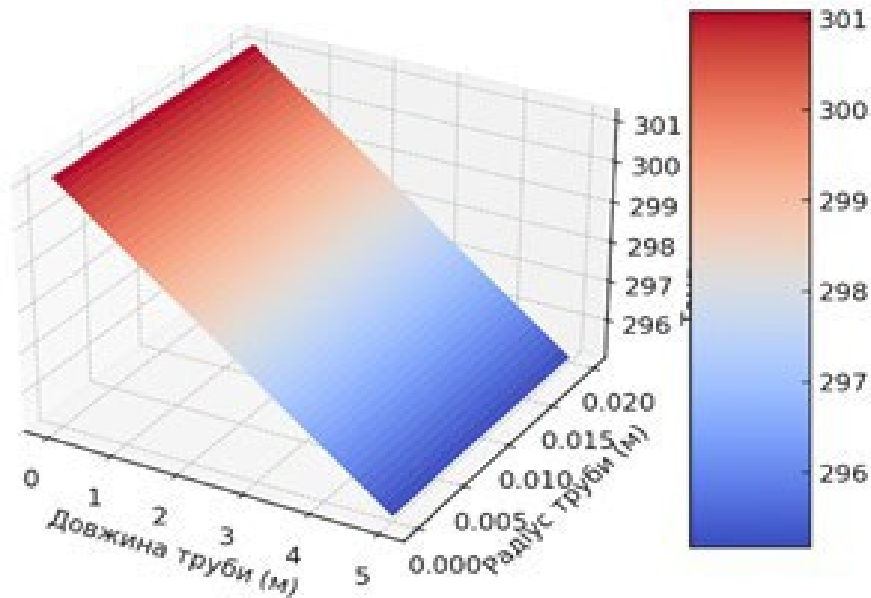


Рис. 4.11. Розподіл температури по довжині і радіусу

Температура газу CO_2 знижується вздовж довжини труби, наближаючись до температури стінки. Це відбувається через теплопередачу від газу до охолоджених стінок труби. У реальних умовах теплопередача може бути нелінійною, залежно від параметрів теплообміну, товщини стінки, температурного градієнта тощо. В нашій моделі вона вважається лінійною, що добре відображає простий випадок, коли теплообмін залишається постійним вздовж труби. Температура газу знижується від вхідної до температури стінки вздовж **довжини труби, демонструючи охолодження через теплопередачу.**

Сила тертя об стінку (τ_w) для ламінарного потоку є сталою по всій довжині труби. Це пов'язано з тим, що для ламінарного потоку швидкість на поверхні труби дорівнює нулю, а градієнт швидкості в радіальному напрямку стабільний. Динамічна в'язкість (μ) і радіус труби залишаються незмінними, тому величина тертя зберігає постійне значення. Це важливо для розуміння енергетичних втрат через взаємодію між потоком і стінкою труби.

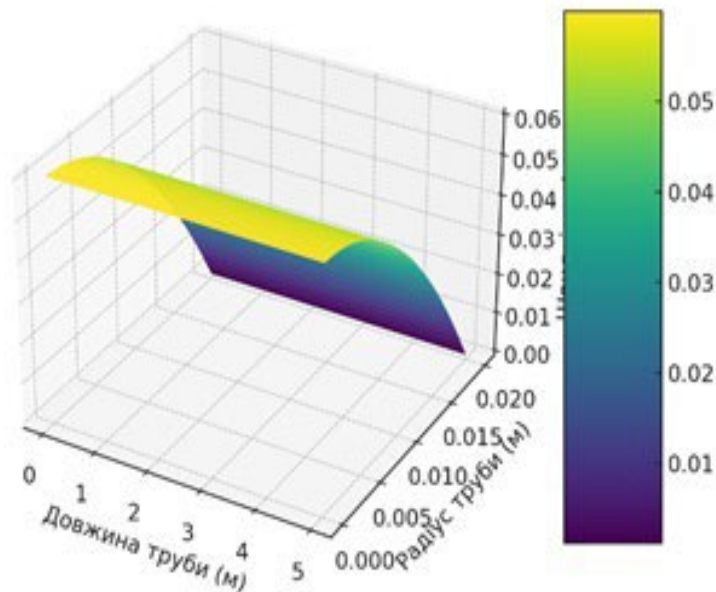


Рис. 4.12. Розподіл швидкості по довжині і радіусу

Швидкість газу трохи зменшується вздовж довжини труби. Це викликано перепадом тиску, що виникає через втрати енергії на тертя. Згідно з рівнянням Дарсі-Вейсбаха, ці втрати визначаються коефіцієнтом тертя, довжиною труби (L), діаметром (D), щільністю (ρ) та середньою швидкістю потоку (V). У довгих трубах чи трубах з високим коефіцієнтом тертя (через шорсткість або високий в'язкий опір) швидкість буде помітніше знижуватися, навіть для ламінарного потоку.

Ці графіки допомагають зрозуміти важливі процеси, такі як теплообмін і втрати тиску, що впливають на поведінку газу під час транспортування трубопроводом. Це може бути корисним для проектування трубопроводів, де потрібно підтримувати певні параметри потоку або мінімізувати енергетичні втрати.

Ці графіки демонструють взаємодію параметрів температури і швидкості всередині труби, що корисно для аналізу поведінки газу під час транспортування.

5. Охорона праці

Вступ

Охорона праці – це комплекс організаційно-технічних, санітарно-гігієнічних і лікувально-профілактичних заходів, які направлені на запобігання дії шкідливих і небезпечних факторів на працюючих.

В Україні був прийнятий Верховною Радою Закон „Про охорону праці”. Цей закон, а також „Кодекс законів про працю України” є основною законодавчою базою охорони праці. Їх доповнюють державні та нормативні акти про охорону праці – стандарти, правила, нормативні положення, яким надано чинність правових норм, обов’язкових для виконання усіма установами і працівниками України.

Харчова промисловість — одна з провідних структуроформуючих галузей не лише агропромислового й промислового комплексів, а й усього народного господарства України.

Досить значну частку надходжень в державний бюджет багатьох країн забезпечують підприємства горілчано-лікерної та пивоварної промисловості, не винятком в цьому є і наша держава. Підприємства пивоварної промисловості забезпечують біля 15% сукупних надходжень в Державний бюджет України.

Розслідування та облік нещасних випадків, професійних захворювань та аварій на підприємстві проводиться власником або уповноваженим органом відповідно до Положення про розслідування та облік нещасних випадків, професійних захворювань та аварій на підприємствах, в установах і організаціях, затвердженого Кабінетом Міністрів України.

Збір та розроблення державної статистичної звітності з питань виробничого травматизму проводять органи державної статистики. Метою дослідження виробничого травматизму є розроблення заходів до запобігання нещасних випадків на підприємстві. Для цього необхідно систематично аналізувати та узагальнювати їх причини. Для вивчення виробничого травматизму використовують різні методи. Найпоширеніші та взаємодоповнюючі – статистичний, монографічний, економічний, ергономічний та психофізіологічний методи.

Для характеристики рівня виробничого травматизму на підприємстві і в галузі використовують кількісні і якісні відносні показники, які застосовані на вивченні первинних документів про травматизм (актів за формулою Н-1 і звітів за формулою 7-тнв).

На сьогодні ймовірність травматизму та професійних захворювань у 5-8 разів вище, ніж в інших промислово-розвинутих країнах ЄС. Стан охорони праці залишається незадовільним. Проблема виробничого травматизму є дуже гострою – щорічно на виробництві травмується близько 50 тис. чоловік, з них 1,5 тис. гинуть, понад 3,5 тис. отримують професійні захворювання.

На підприємстві проводяться всі типи інструктажів. Мета інструктажу - навчити працівника правильно і безпечно для себе і оточуючого середовища виконувати свої трудові обов'язки. Інструктажі за часом та характером проведення бувають вступними, первинними, повторними, позаплановими та цільовими.

Ввідний інструктаж проводиться в кабінеті охорони праці з усіма робітниками, які приймаються на будь-які роботи, в тому числі з підрядних організацій; зі студентами, які прибули для проходження практики; а також з групами, які прийшли на екскурсію. Запис про його проведення здійснюють у журналі реєстрації інструктажу, а також у документі про прийом на роботу.

Первинний інструктаж проводять перед початком роботи безпосередньо на робочому місці з робітником або у кабінеті, лабораторії, де навчальний процес пов'язаний з небезпекою або шкідливими факторами. Він проводиться індивідуально або з групою осіб однієї професії по діючим на підприємстві інструкціям.

Програма первинного інструктажу розробляється керівником цеху чи дільниці, узгоджується зі службою охорони праці і затверджується керівником підприємства.

Повторний проводять з усіма робітниками на робочому місці у терміни, визначені відповідними діючими галузевими нормативами, але не рідше 1 разу на 3 місяці на роботах підвищеної небезпеки та 1 разу на 6 місяців – для решти робіт. Він проводиться аналогічно попередньому по тим самим питанням.

Позаплановий інструктаж проводять з робітниками в кабінеті охорони праці при введенні в дію нового або модернізації старого обладнання, приладів, інструментів; при порушенні робітниками вимог нормативних актів про охорону

праці. Об'єм та зміст визначається в кожному окремому випадку в залежності від причин та обставин, з яких виникла потреба його проведення.

Цільовий інструктаж проводиться при виконанні разових робіт, не передбачених трудовими договорами, при ліквідації аварії, стихійного лиха, при проведенні робіт з наряд-допуском, розпорядженням. Об'єм та зміст визначається в залежності від виду робіт, які будіть виконуватися.

Всі робітники, які приймаються на постійну або тимчасову роботу повинні проходити інструктажі по охороні праці, навчання про надання першої медичної допомоги. Контроль за виконанням правил техніки безпеки та охорони праці виконує інженер з техніки безпеки, який підпорядковується начальнику з виробництва. Він також входить до складу комісії, яка здійснює санітарний контроль приміщень.

Для перевірки знань посадових осіб і спеціалістів наказом по підприємству створюється комісія, яку очолює керівник (заступник керівника) підприємства.

Для виявлення наявності шкідливих і небезпечних чинників виробництва треба проаналізувати роботу обладнання. Умовні позначення шкідливих і небезпечних чинників зазначені на (рис 1).

- 1- циліндрично-конічний бродильний апарат;
- 2- збірник CO₂;
- 3- панель управління апаратом/

Для забезпечення здорових і безпечних умов праці навколишнє середовище на виробництві повинно відповідати встановленим санітарно-гігієнічним нормативам. Серед цих нормативів для харчових підприємств особливе значення належить метеорологічним умовам на робочих місцях, так як для харчових виробництв характерне виділення теплоти і вологи. Вимоги до метеорологічних умов регламентуються санітарними нормами. Оптимальними мікрокліматичними умовами вважаються такі, які при тривалому впливові на людину забезпечують нормальний тепловий стан організму без напруги терморегуляції.

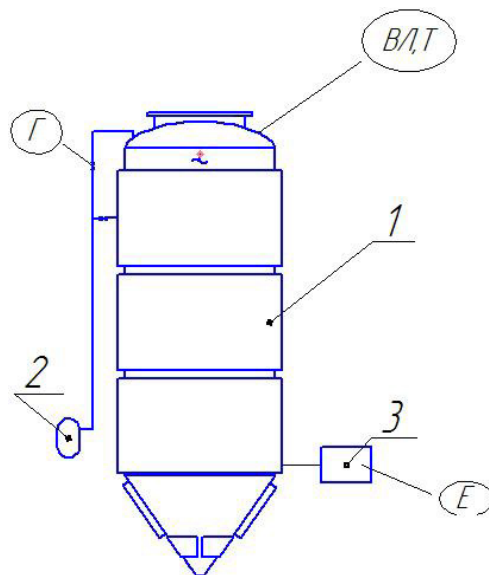


Рис.1. Умовні позначення шкідливих та небезпечних факторів при роботі ЦКБА

Умовні позначення шкідливих та небезпечних факторів:

Г- газовиділення;

Е- електробезпека;

ВЛ, Т- волого виділення, тепловиділення.

Показники, які характеризують оптимальні і допустимі метеорологічні умови в закритих виробничих приміщеннях є температура, відносна вологість, швидкість руху повітря, інтенсивність теплового випромінювання, а також температура поверхні, що оточує робочу зону.

Норми мікроклімату встановлюють в залежності від сезону року та категорії робіт. Сезони року діляться на теплий та холодний (середньо добова температура $> +10$; $< +10$ °С). Категорія робіт - розмежування робіт на основі загальних енерговитрат організму. У бродильному відділенні пивзаводу встановлені норми, які узгоджені з технологічним процесом, який не дозволяє підвищувати температуру вище 16°C і при роботі апаратів присутня підвищена вологість. Але для спостереження технологічного процесу обладнана спеціальна кімната з відповідним технічним оснащенням. Тоді для виконання робіт повинні дотримуватися оптимальні норми : $t = 20...24$ °С ; $W = 40...60$ % і $V = 0,1$ м/с . Для забезпечення встановлених норм на даному робочому місці в цеху використовують припливно-витяжну вентиляцію, яка дозволяє підігрівати

повітря при необхідності. А у відділенні ЦКБА встановлено аварійну вентиляцію.

5.2. Цивільний захист

Розробка рекомендацій щодо консервації циліндрично-конічного бродильного апарата

Вступ

Консервація обладнання – це комплекс заходів призначений для запобігання псування обладнання, яке не експлуатується, вивіз його з підприємства або при виникненні небезпечних ситуацій на необхідний час.

Консервація технологічного обладнання передбачає здійснення комплексу організаційних і технічних питань, що забезпечують промислову і екологічну безпеку при консервації; матеріальне збереження об'єкту; запобігання його руйнуванню, зокрема внаслідок корозії, а також його працездатності після розконсервації.

Основні положення щодо консервації технологічного обладнання підприємств харчової промисловості

Консервація обладнання супроводжується технологічною картою.

Технологічна карта встановлює порядок робіт по консервації об'єктів харчової промисловості, вибухопожежонебезпечних і хімічно небезпечних виробництв, складів і сховищ вибухопожежонебезпечних і хімічно небезпечних продуктів і інших небезпечних виробничих об'єктів.

Загальні вимоги до консервації технологічного обладнання підприємства харчової промисловості.

Консервація технологічного обладнання харчового виробництва полягає в виводі з експлуатації основних засобів виробництва (устаткування, будівель і споруд) з припиненням отримання товарної продукції, за винятком устаткування,

необхідного для забезпечення об'єкту, регламентних і санітарно-технічних вимог, екологічної безпеки, вирішення соціальних питань і тому подібне.

Консервація технологічного обладнання полягає у виведенні його з експлуатації у межах конкретного виробництва із закінченим технологічним циклом.

Організація і проведення робіт по його консервації і розконсервації здійснюється відповідно до документів розроблених на основі певних положень.

Для визначення робіт по консервації будь-якого технологічного обладнання організації наказом керівника організації створюється комісія у складі технічного керівника організації або начальника виробничого відділу і членів комісії.

Проекти документів на консервацію готує і погоджує з головними фахівцями організації виробничий технічний відділ (або група фахівців,призначених при утворенні комісії, а також інші підрозділи підприємства по розсуду керівництва).

Комплекс заходів щодо консервації установки у багат шарову картонну тару:

- розрахунок засобів, матеріалів, оснащення, реагентів, енергоресурсів і людських ресурсів,необхідних для виконання заходів;
- порядок підготовки установки для консервації з урахуванням заходів по безпечній консервації різних видів устаткування, його збереження, вимог паспортів і м документів;
- порядок розробки і оформлення організаційно-технічної і розпорядливої документації (проектною - при необхідності);
- організацію і координацію робіт задіяних служб підприємства;
- готовність до введення в експлуатацію в установленому порядку після закінчення терміну консервації;

- проведення повного або часткового капітального ремонту, діагностування, метрологічного контролю;
- порядок розробки декларації безпеки на консервоване технологічне обладнання або виключення цього обладнання з декларації безпеки, що дії.

Рекомендації по порядку консервації для знов проєктованого технологічного обладнання, що вводиться в експлуатацію, слід передбачити у складі проєктної документації об'єкту, а також в технологічних регламентах і інструкціях по його пуску.

Комплекс заходів щодо консервації технологічного обладнання, що діють, розробляється експлуатуючою організацією (або власником об'єкту), що має ліцензію Держміськтехнагляду України на експлуатацію небезпечних виробничих об'єктів.

На весь період знаходження обладнання в стані консервації складаються кошториси на зміст законсервованих об'єктів і проведення періодичного контролю за їх станом.

Консервація проводиться відповідно до плану-графіка, який додатком до наказу про консервацію.

Проведення консервації обладнання (апаратів, машин, механізмів, пристроїв, приладів і ін.) оформлюють актом. У ньому,

крім загальних питань, вказують застосовані методи консервації (варіанти захисту від корозії), застосовані матеріали, строки можливого зберігання виробів і строки чергової переконсервації.

До обладнання законсервованого на тривалий час обмежують доступ. При їхньому зберіганні у виробничих приміщеннях встановлюють огороження з попереджувальними табличками; люки, вентиля і зовнішні невеликі елементи закривають чохлами й опечатують. Дрібні деталі демонтують і зберігають на складах. У випадках консервації більших партій машин і апаратів вікна і скляні двері приміщень у районі їхнього розміщення закривають

дерев'яними щитами або зашивають дошками. Ділянку відокремлюють від основних елементів каркасом або забором, періодично, але не рідше одного разу у квартал, здійснюють перевірку законсервованого обладнання. При проведенні роботи роблять запис у журналі огляду або складають акт на переконсервацію.

Відповідальність за безпечну реалізацію заходів щодо консервації технологічного обладнання в повному об'ємі і у встановлений термін покладається на керівника об'єкту.

Після проведення організаційно-технічних заходів щодо даного технологічного обладнання і здачі устаткування, будівель і споруд на консервацію складається акт. Що затверджується технічним керівником організації (підрозділи).

При знаходження утановки у багатошаровій картонній тарі на консервації складаються додаткові акти в наступних випадках:

- при демонтажі устаткування і комунікацій з метою утилізації або передачі іншим цехам, використання їх в інших цілях, зокрема для продажу;
- при відвантаженні або передачі іншим цехам залишків сировини, напівфабрикатів, продукції і допоміжних матеріалів.

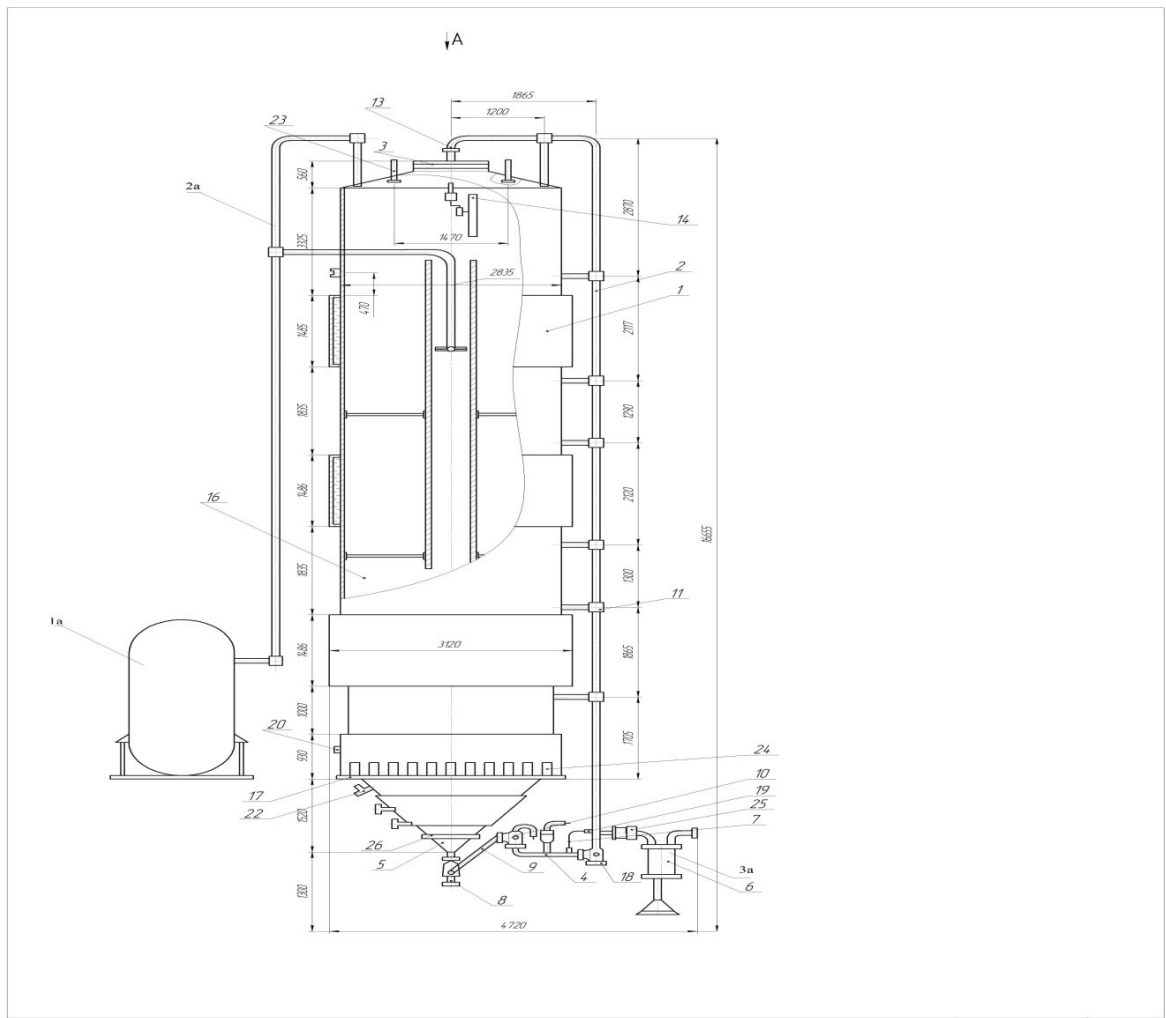


Рис.1 Циліндрично-конічний бродильний апарат

Підрахуємо загальний час консервування:

$$T_m = 1 + 0,3 + 1 + 8 * 0,05 + 0,3 + 4 * 0,4 + 0,8 + 0,5 + 0,5 = 6,4 \text{ год.}$$

$$T_r = 1,2 + 0,5 + 1,2 + 8 * 0,06 + 0,5 + 4 * 0,7 + 1 + 0,7 + 0,8 = 8,7 \text{ год.}$$

Трудові витрати: при механізованому способі консервації – 6,4
чол.-год., вручну – 8,7 чол.-год., Розряд виконавців – IV.

Висновок

Е випадку стихійних лих та надзвичайних ситуацій: пожеж, землетрусів, затоплень, аварій техногенного походження доцільно провести консервацію обладнання. Головним фактором консервації є швидке і зручне відновлення роботи машини в разі необхідності.

ВИСНОВКИ

Виконані теоретичні і експериментальні дослідження щодо особливостей процесів замочування і пророщування зерна у виробництві солоду дозволяють відмітити те, що у магістерській роботі було розглянуто

теоретичні уявлення щодо механізму замочування зерна; описано відсутність балансу по кисню, що транспортується у зернівку вологою і загальною кількістю споживаного кисню, що свідчить про існування дифузійного перенесення O_2 через оболонки зернівки і необхідність регулярної доставки його в середовище за рахунок аерації; досліджено, що спряжені матеріальні потоки води, кисню, діоксиду вуглецю і тепловий потік мають нестационарний характер у зв'язку зі змінами рушійних факторів. Так концентрація CO_2 у рідинній фазі зростає від нуля на початковій фазі до стану насичення, що супроводжується зростанням осмотичного тиску, зміною також є концентрація розчиненого кисню. Було запропоновано універсальний апарат для виробництва солоду і пристрій для інтенсифікації процесу замочування зерна.

Список використаної літератури

1. Методичні вказівки до виконання кваліфікаційної роботи освітньо-кваліфікаційного рівня «Бакалавр» галузі знань 0505 «Машинобудування та металообробка» напряму підготовки 6.050502 «Інженерна механіка»

для студентів спеціальностей «Обладнання переробних і харчових виробництв», «Обладнання фармацевтичних та біотехнологічних виробництв» ден. Форми навч. / Уклад.: В.М. Таран, В.Г. Мирончук, С.І.Блаженко, О.М.Прохоров, В.В.Пономаренко, О.А.терещенко-К.:НУХТ,2010.-46 с.

2. Технологічне обладнання для виробництва виробів з борошна: Навчальний посібник. Ч.1. Хлібопекарське виробництво; Сухенко Ю.Г., Стадник І.Я., 72 Василів В.П., Сухенко В.Ю. За ред.проф. Ю.Г.Сухенка. — К.: ЦП "КОМПРИНТ", 2015. — Ч.1. — 388 с.

3. Стадник И.Я., Паньків Ю.Ю. Метод интенсивного образования фазового контакта компонентов при смешивании. Volumul include materialele Simpozionului Științific Internațional „Realizări și perspective în inginerie agrară și transport auto” dedicat aniversării a 85 ani de la fondarea Universității Agrare de Stat din Moldova. Chișinău : UASM, 2018. Vol. 51. P. 78–82.

4. І.Я. Стадник, В.А. Піддубний, О.В. Хареба, В.М. Федорів, В.В. Підгорний «Сучасні технології та енергетичні потоки при формуванні борошняних

напівфабрикатів» монографія – Тернопіль : Тернопільський національний технічний університет імені Івана Пулюя, 2021. – 392 с

5. Закалов О.В. Технологічне обладнання харчових виробництв / Закалов О.В., Закалов І.О.-Тернопіль:Видавництво ТДТУ, 2000.-406 с.

6. Стадник І.Я., Зварич Н.М. Оцінка хімічної обстановки при хімічно небезпечних об'єктах викидом небезпечних хімічних речовин та застосуванні хімічної зброї. Методичні вказівки, м. Тернопіль, ТНТУ, 32с.

7. Гаврилко П., Піддубний В., Стадник І., Гуштан Т., Краєвська С., Каганець-Гаврилко Л Визначення розрахункових навантажень виробничих механізмів і машин та технологічні розрахунки виробництва борошняних виробів /навч.методичний посібник:.. Ужгород: РІК-У, 2023. 468 с.

8. Стадник, В.А. Піддубний Вдосконалення технологічного процесу та обладнання для формування виробів- 1 частина: Монографія. / Стадник І.Я, Піддубний В.А. –Тернопіль: Видавництво ТНТУ імені Івана Пулюя, 2019.-290с.

9. Improvement of environmental sustainability of milk processing enterprises / Oleh Kravets, Mariia Shynkaryk, Viktor Kravets // Scientific Journal of TNTU. — Tern.: TNTU, 2024. — Vol 114. — No 2. — P. 111–118.

10. Piddubnyi, V., Stadnyk, I., Kravets, O., Chahaida, A., Hushtan, T., Kahanets-Havrylko, L., Karpovych, I., Tupitska, O., Kostiuk, T., & Rozbytska, T. (2023). Characteristics of mucous-forming polysaccharides extracted from flax seeds. Potravinarstvo Slovak Journal of Food Sciences, 2023. Vol. 17, P. 677–693

11. Igor Yaroslavovych Stadnyk, Juilia Pankiv, Petro Havrylko, Halina Karpyk RESEARCHING OF THE CONCENTRATION DISTRIBUTION OF SOLUBLE LAYERS WHEN MIXED IN THE WEIGHT CONDITION // Potravinarstvo Slovak Journal of Food Sciences vol. 13, 2019, no. 1, p. 581-592

(скопус) <https://doi.org/10.5219/1129>