

НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ ХАРЧОВИХ ТЕХНОЛОГІЙ

Інститут (факультет) ННІТІ ім. акад. І.С.Гулого

Кафедра мехатроніки та пакувальної техніки

Освітній ступінь магістр

Спеціальність 131 Прикладна механіка

(код і назва)

Освітньо-професійна програма Прикладна механіка

(назва)

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри МПТ

А.І.Соколенко

“ 5 ” 11 2020 року

ЗАВДАННЯ

НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ ЗДОБУВАЧА

Лапін Артем Вікторович

(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема роботи Визначення рушійних параметрів і факторів опору в системах енергозабезпечення процесів аерації

керівник роботи Соколенко Анатолій Іванович, д.т.н., професор,

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

затверджені наказом закладу вищої освіти від “ 5 ” 11 2020 року №925-кв

2. Строк подання здобувачем роботи 2.02.2021 р.

3. Вихідні дані до роботи 1. Вид дослідження – аналітичні. 2. Досліджувані параметри системи – кінематичні, динамічні та енергетичні. 3. Припущення – загальноприйняті для динаміки машин.

4. Зміст пояснювальної записки (перелік питань, які потрібно розробити) 1. Реферат 2. Вступ 3. Огляд літературних джерел 4. Розділи аналітичних досліджень. 5. Висновки. 6. Список використаних джерел

1. Реферат 2. Вступ 3. Огляд літературних джерел 4. Розділи аналітичних досліджень. 5. Висновки. 6. Список використаних джерел

5. Перелік графічного матеріалу

Презентація доповіді

Зміст

1. Вступ.....	5
2. Розділ 1. Літературний огляд джерел інформації.....	7
Розділ 1.1. Види тари для пакування рідкої продукції.....	7
Розділ 1.2. Бродіння в Акротофорах.....	11
Розділ 1.3. Фасування в тару.....	14
Розділ 1.4. Види сировини для виробництва спирту.....	16
Розділ 1.5. Метод шампанізації вина в безперервному потоці.....	18
Розділ 1.6. Технологія ЦКБА (циліндро конічні бродильні апарати).....	22
Розділ 1.7. Технологія БРУ (браго ректифікаційна установка).....	29
3. Розділ 2. Термодинамічні процеси у спиртовому бродінні.....	32
Розділ 2.1. Теоретичні данні.....	32
4. Розділ 3. Науково дослідна робота.....	49
Розділ 3.1. Розрахунок термодинамічних параметрів в процесі аерації при 20 °С.....	49
Розділ 3.2. Розрахунок термодинамічних параметрів в процесі аерації при 15 °С.....	58
Розділ 3.3. Розрахунок термодинамічних параметрів в процесі аерації при 10 °С.....	64
Розділ 3.4. Розрахунок термодинамічних параметрів в процесі аерації при 5 °С.....	71
Список використаної літератури.....	79

Реферат

Дана магістерська робота «Визначення рушійних параметрів і факторів опору в системах енергозабезпечення процесів аерації».

Магістерська робота включає розрахункову частину, до якої входить пояснювальна записка обсягом 82 стр. 24 рисунків і 4 таблиці і список використаної літератури.

Ключові слова (аерація, бродіння, термодинаміка, анаеробне, тиск, потоки, температура, адіабата.)

Об'єктом дослідження- та дослідження параметрів процесу анаеробного бродіння.

Розглянуто сучасні методи бродіння в процесі виготовлення спирту та алкогольних напоїв.

Проведено розрахунковий аналіз енергетичних перетворень в системах аерації.

Характер бродіння, його інтенсивність, кількісні співвідношення кінцевих продуктів, а також напрям бродіння залежать від особливостей його збудника і умов, за яких бродіння протікає (рН, аерація, субстрат і ін.). Традиційно цукрова галузь України була спрямована на максимально можливе вилучення цукру із цукрового буряка, що досягалось впровадженням у виробництво дво- та трипродуктових технологічних схем.

Реферат

Данная магистерская работа «Определение движущих параметров и факторов сопротивления в системах энергообеспечения процессов аэрации».

Магистерская работа включает расчетную часть, в которую входит пояснительная записка объемом 82 стр. 24 рисунков и 4 таблицы и список использованной литературы.

Ключевые слова (аэрация, брожение, термодинамика, анаэробное, давление, потоки, температура, адиабата.)

Объектом исследования-и исследования параметров процесса анаэробного брожения.

Рассмотрены современные методы брожения в процессе изготовления спирта и алкогольных напитков.

Проведен расчетный анализ энергетических преобразований в системах аэрации.

Характер брожения, его интенсивность, количественные соотношения конечных продуктов, а также направление брожения зависят от особенностей его возбудителя и условий, при которых брожения протекает (рН, аэрация, субстрат и др.). Традиционно сахарная отрасль Украины была направлена на максимально возможное изъятие сахара из сахарной свеклы, что достигалось внедрением в производство двух- и трипродуктовых технологических схем.

Abstract

This master's thesis "Determination of driving parameters and resistance factors in energy supply systems of aeration processes".

The master's thesis includes a calculation part, which includes an explanatory note of 82 pages, 24 figures and 4 tables and a list of references.

Keywords (aeration, fermentation, thermodynamics, anaerobic, pressure, flows, temperature, adiabatic.)

The object of study - and the study of the parameters of the process of anaerobic fermentation.

Modern methods of fermentation in the process of making alcohol and alcoholic beverages are considered.

The calculated analysis of energy transformations in aeration systems is carried out.

The nature of fermentation, its intensity, quantitative ratios of final products, as well as the direction of fermentation depend on the characteristics of its pathogen and the conditions under which fermentation takes place (pH, aeration, substrate, etc.). sugar beet, which was achieved by introducing two- and three-product technological schemes into production.

Вступ

Бродіння, процес анаеробного розщеплювання органічних речовин, переважно вуглеводів, що відбувається під впливом мікроорганізмів або виділених з них ферментів. У ході бродіння в результаті зв'язаних окислювально-відновних реакцій звільняється енергія, необхідна для життєдіяльності мікроорганізмів, і утворюються хімічні сполуки, які мікроорганізми використовують для біосинтезу амінокислот, білків, органічних кислот, жирів і ін. компонентів тіла. Одночасно накопичуються кінцеві продукти бродіння. Залежно від їх характеру розрізняють бродіння спиртове, молочнокисле, маслянокисле, пропіоновокисле, ацетоно-бутилове, ацетоно-етилове та ін. види. Характер бродіння, його інтенсивність, кількісні співвідношення кінцевих продуктів, а також напрям бродіння залежать від особливостей його збудника і умов, за яких бродіння протікає (рН, аерація, субстрат і ін.). Традиційно цукрова галузь України була спрямована на максимальне можливе вилучення цукру із цукрового буряка, що досягалось впровадженням у виробництво дво- та трипродуктових технологічних схем.

Особливістю даних схем є проведення багатостадійного концентрування напівпродуктів цукрового виробництва, що призводить до значних витрат теплової енергії, погіршення якості та підвищення собівартості готової продукції, та, відповідно, стає однією з причин невизначеності вітчизняного цукру на зовнішньому ринку. Основною цукровмісною сировиною для виробництва етанолу в Україні є меляса (Меляса, меляс, маляс, міляс, патока кормова — побічний продукт бурякоцукрового виробництва, густа брунатна рідина, що залишається після переробки цукрових буряків та цукрової тростини як відходи виробництва цукру.

Використовується як сировина для виробництва етилового спирту, харчових кислот, хлібопекарських та кормових дріжджів, як добавка до корму сільськогосподарських тварин, а також як зв'язуюча речовина при грудкуванні дрібнодисперсного вугілля. За невеликих дозувань (менше 1 %)

діє як прискорювач, а за великих дозувань — як уповільнювач хімічних реакцій; застосовується за плюсових температур; має пластифікувальні властивості; не викликає корозії. ДСТУ 3696-98.) , однак не менш цікавими для використання є і такі напівпродукти, як дифузійний сік, відтік I та II кристалізації. Дані продукти мають різний фізико-хімічний склад, однак досить високий вміст цукру в них дозволяє ефективно використовувати їх як альтернативну сировину для виробництва біоетанолу. З економічної точки зору більш вигідним є використання тих напівпродуктів, які дають змогу одержати максимальний вихід етанолу та можуть довше зберігатися .

Розділ 1. Літературний огляд джерел інформації.

Розділ 1.1. Види тари для пакування рідкої продукції.

Скляна тара:

Значну питому вагу в товарообігу займає скляна тара. Скляною тарою називають групу скляного посуду, яка призначена для фасування, транспортування, зберігання і використання при споживанні різних продуктів. Скляна тара є незамінною для упакування багатьох харчових продуктів і напоїв.

Скло має ряд особливо цінних переваг:

- хімічна нейтральність забезпечує збереження харчових продуктів без суттєвих змін;
- прозорість особливо цінна для деяких харчових продуктів, хоча вимагає додаткового захисту від дії світла; для більшості видів;
- міцність та стійкість до навантажень забезпечує розливання, закупорювання, в окремих випадках – вакуумування;
- стійкість до внутрішнього тиску дає змогу випускати газовані напої та аерозольні товари;
- стійкість до нагрівання. Скло витримує температуру до 500оС, хоча різка зміна температури не повинна бути надвеликою та швидкою. Значна кількість товарів фасується в нагрітому стані або після фасування проводиться їх стерилізація.

Серед недоліків скла можна виділити крихкість та велику питому вагу. За останні роки маса скляних пляшок та банок значно зменшилась, проте транспортні витрати порівняно вищі, ніж в інших упаковках.

Для скла характерні технологічні властивості (в'язкість, поверхневий натяг, кристалізаційна здатність) та експлуатаційні (оптичні, термічні, хімічні, механічні).

Згідно з гідролітичною класифікацією існує п'ять класів скла:

- I клас – скло, яке не розчиняється водою (кварцове скло);
- II клас – стійке скло (хіміко-лабораторне скло та окремі види тарного скла);
- III клас – тверде апаратне скло (більшість тарного скла та промислове скло)
- IV клас – м'яке апаратне скло;
- V клас – нестійке скло (легко розчиняється у воді).

Для виробництва тарного скла використовуються такі основні матеріали – кварцовий пісок, сода, сульфат, доломіт, вапняк, глинозем, польові шпати. Допоміжними матеріалами при виробництві скла є: освітлювачі, знебарвлюючі речовини, барвники, окислювачі, відновлювачі.

Виробництво тари зі скла в Україні має давні традиції. На її території розміщено 68 підприємств, які включають близько 150 скловидних печей, загальною потужністю майже 1млн.т. скломаси на рік. Наприкінці 80-х років і Україні вироблялось 2202,3 млрд. умовних (у перерахунку на 0,5л) пляшок та банок.

Склотарна галузь помітно розвивається завдяки підвищенню попиту на пиво і лікєро-горілчані вироби. Важливим стимулом у цьому можна вважати визначеним фактором покупки безпеку для здоров'я споживача, а екологічні аспекти тари і упаковки віднесено до першочергових пріоритетів вибору.

За призначенням скляну тару поділяють на: пляшки для харчових продуктів, банки для харчових продуктів, пляшки і банки для дитячого харчування, пляшки і банки для товарів побутової хімії, банки і флакони для парфумерно-косметичної продукції, тара скляна для лікарських засобів

Жерстяна упаковка:

Основна сировина, яку ми використовуємо для виробництва жерстяної банки – літографована біла жерсть ЕЖК виробництва Туреччини, Словаччини, Німеччини, товщина жерсті 0,20-0,22 мм (ГОСТ-4480:2005, ГОСТ 4481:2005). Всередині жерсть покривається прозорим харчовим лаком для захисту від іржі.

Існує кілька видів жерстяних банок: збірна, зварна і суцільнотягнута (штампована).

Збірна банка складається з:

- жерстяне тіло з клепаним швом «у замок»;
- прикатне жерстяне дно;
- з'ємна жерстяна кришка.

Виготовляється на напівавтоматичних лініях.

Банки такого типу можуть бути різної форми: круглої, конічної, прямокутної, овальної і будь-якої іншої нестандартної форми за запитом замовника. Більш детально дивіться у розділі КАТАЛОГ ФОРМ.

За рахунок такої конструкції банка не є герметичною. Вона підходить для зберігання продуктів в індивідуальній красивій упаковці (алкоголь, кондитерські вироби, чай, кава, парфумерія) – сухих, сипучих харчових і не харчових продуктів, текстилю тощо.

Зварна банка складається з:

- жерстяне тіло зі зварним швом;

- прикатне жерстяне дно;
- з'ємна жерстяна кришка або
- кришка типу easy open або easy peel.

Виготовлення упаковки такого типу здійснюється на напівавтоматичних і автоматичних лініях.

За рахунок технології зварного шва банка є герметичною, використовується для зберігання будь-яких продуктів – сухих харчових і хімічних.

Суцільнотягнута банка (штампована) складається з:

- жерстяне дно;
- жерстяна кришка.

Виготовляється методом штампування на пресах. Використовується для упаковки карамелі та драже, засобів догляду за взуттям, тютюну, фармацевтичних і косметичних засобів, свічок тощо.

Розділ 1.2 Бродіння в Акротофорах.

Для бродіння в пляшках і доведення ігристих вин до потрібних кондицій в кожній пляшці окремо по шампанському методу потрібні великі витрати робочої сили, багато часу і місця. Отже, бродіння в пляшках можна використовувати тільки для продуктів особливо високої якості, розрахованих на тривале зберігання і продаються через необхідність за високими цінами.

Для вироблення більш дешевих продуктів, призначених для швидкої реалізації, доводиться застосовувати іншу систему, яка простіше, економічніше і краще пристосована для промислового виробництва, - це метод шампанізації в закритих резервуарах, або акратофорах (відомий під назвою системи Шарма або Шосепье по іменах конструкторів цих апаратів).

На рис. 1.1 представлена схема спрощеної установки, що складається зі сталевих резервуарів, покритих емаллю, пластмасами або виконаних з нержавіючої сталі, які забезпечують швидку шампанізацію. Резервуар / призначений для приготування активної дріжджовий розведення з вина, цукру і відповідної раси дріжджів. Кюве (купаж кількох вин), що підлягає шампанізації, поміщають в резервуар 3, куди додають цукор і дріжджову розводку. Резервуар має електропідігрів, регульований термостатом, що забезпечує підтримку заданої температури бродіння, наприклад, 20 або 25 ° С.

Оскільки дріжджі вносяться в значній кількості, бродіння збуджується швидко; за його розвитком стежать за манометром. Коли буде отримано необхідний тиск (приблизно 5 кгс / см²), на що треба кілька днів, бродіння припиняється охолодженням і сульфитуванням в невеликих дозах. Залежно від типу бажане ігристе вино підсолоджують внесенням лікеру або, ще простіше, в резервуар 3 під час наповнення його вносять один раз цукор в кількості, необхідній для бродіння і для дозування; в цьому випадку можна обійтися без змішувального резервуара 2. Таким чином, при зупинці бродіння по досягненні потрібного тиску ігристе вино має необхідну

кондицію по цукру. Потім вино охолоджують при -5°C , пропускаючи його через резервуар 4; таку температуру підтримують протягом декількох днів. При цій же температурі вино фільтрують, завжди забезпечуючи збалансоване засунений щоб уникнути дешампанізації, після чого направляють в резервуар 5 і виробляють розлив.

Думка фахівців сходяться на тому, що описаний вище метод бродіння в великих обсягах не може дати такої якості вина, яке виходить при бродінні в пляшках. Але справа не в обсягах, а в тривалості вироблення ігристих вин. Загалом, мова йде про різницю в результатах між повільним бродінням і швидким. Крім того, часто якість сировини, т. Е. Первинного виноматеріалу, буває неоднаковим, і вина, що виробляються в закритих резервуарах, зазвичай готують не настільки ретельно, як по шампанському способу.

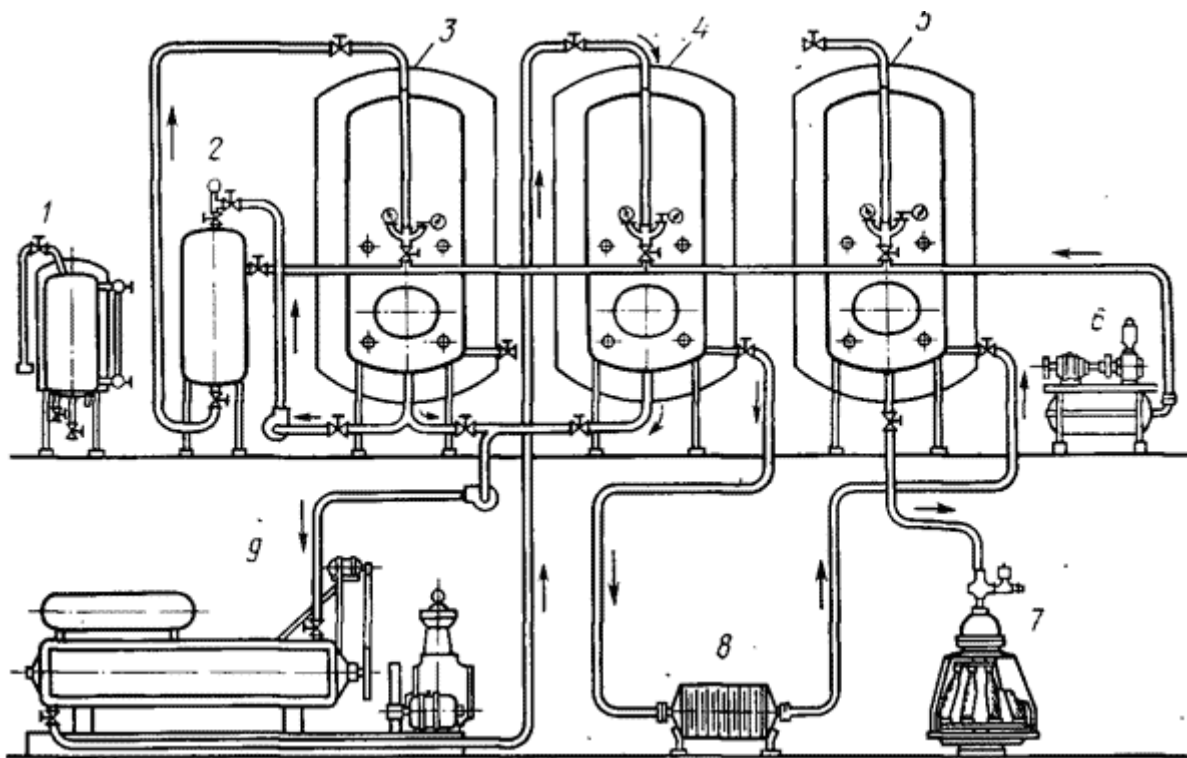


Рис 1.1. Схема установки для приготування ігристих вин в закритих резервуарах (акратофорах):

1 - резервуар для приготування дріжджової розводки; 2 резервуар для перемішування необхідних добавок; 3 - резервуар для бродіння під тиском; 4 - резервуар для охолодження; 5 - тиражне резервуар; 6 - повітряний

компресор для ізобарометрического зняття з дріжджів; 7 - ізобарометрическая розливна машина; 8 - фільтр; 9 - установка для охолодження.

Процес бродіння в резервуарах і в пляшках в общем-то ідентичний, але було б неправильно припускати, що при цьому виходить один і той самий продукт. Дійсно, в пляшці дію дріжджів не припиняється із закінченням бродіння. Вони надалі поступово повертають в вино і іноді в новій формі речовини, які вони використовували спочатку і деякі мають велике значення для остаточного формування вина. У пляшках таке витримання на дріжджах триває кілька років, тоді як при описаному способі приготування шампанського в закритих резервуарах дріжджі відокремлюють вже через кілька днів після завершення бродіння.

Однак в деяких випадках акратофорним метод може дати результати, якісно дуже близькі до отримуваних при шампанському методі з фільтрацією, зокрема, коли витримка виноматеріалу під тиском на дріжджовому осаді триває кілька місяців. Деякі резервуари великої місткості мають обладнання, необхідне для періодичного перекладу осаду у зважений стан і, отже, для прискорення дифузії речовин з дріжджів.

У деяких країнах з жарким кліматом акратофорним метод можна навіть рекомендувати більше, ніж класичний шампанський, щоб зберегти аромат винограду і свіжість, які часто погано розвиваються при віддержці. Потрібно також враховувати, що шампанський метод можна застосовувати тільки при температурах нижче 14 - 15 ° С.

Нарешті, коли мова йде про шампанізацію дуже ароматних вин, наприклад вироблених із сорту Мускат, що не поліпшуються при витримці, акратофорним метод дає кращі результати.

Розділ 1.3. Фасування в тару.

Рідка продукція дуже різноманітна за своїми фізичними та хімічними властивостями (в'язкість, здатність до спінювання тощо), а тому під час дозування та фасування її у споживчу тару повинні виконуватись відповідні умови, що гарантували б збереження специфічних властивостей тієї чи іншої продукції. Тому пристрої для дозування і фасування рідкої продукції різноманітні як за технологічними процесами, так і за конструктивними рішеннями.

На сьогодні рідку продукцію фасують у різні типи і види споживчої тари, виготовленої зі скла, полімерних матеріалів, металу, комбінованих матеріалів. Це сприяло створенню відповідної конструктивної гами фасувальних пристроїв. Для аналізу і визначення тенденцій вдосконалення конструктивних рішень цих пристроїв необхідно їх систематизувати за найбільш характерними ознаками. Пристрої дозування і фасування в залежності від продуктивності і компоновочних рішень машини можуть бути виконані з ручною, напівавтоматичною і автоматичною системами керування.

Пристрої з ручною системою керування застосовуються на підприємствах малої продуктивності (до 500 упаковок за годину). До складу такої машини здебільшого входить витратний резервуар і один-два дозувально-фасувальних пристроїв. Машини з напівавтоматичною системою керування додатково мають конвеєри подачі і відведення споживчої тари, а також за потреби і піднімально-опускальні столики. Продуктивність таких машин може сягати до 1500 упаковок за годину. До складу машин автоматичної дії входять пристрої подачі тари або пакувального матеріалу, орієнтування та переміщення тари до фасувально-дозувального пристрою, витратні резервуари, транспортна система, система керування запірною арматурою тощо.

В залежності від компоновання машини і її системи керування конструктивні рішення дозувально-фасувальних пристроїв також можуть

бути різноманітними. В процесі пакування рідкої харчової продукції у споживчу тару формування дози здійснюється об'ємним способом. Ваговий спосіб дозування застосовують головним чином під час пакування рідин у транспортну тару і спеціальні контейнери. Об'ємний спосіб дозування в залежності від умов формування дози можна поділити на той, що формується безпосередньо в тарі і той, що формується в тарованих імірниках або визначається лічильниками. До першого виду відноситься озучування за рівнем у споживчій тарі або формування дози геометричними розмірами упаковки, що виготовляється в процесі фасування — метод витискання (пакування в тетраедри). В першому і другому випадках здебільшого точність дозування залежить від стабільності внутрішніх розмірів упаковки. Дозування за рівнем застосовується тільки для жорсткої і напівжорсткої споживчої тари, виготовленої у вигляді пляшок і банок із скла, металу, ПЕТФ, ПЕН тощо.

Пристрої для фасування рідини за рівнем складаються з однієї, двох або трьох камер. Вони можуть бути виконані у вигляді сифону. В однокамерних пристроях тиск у надрідинному просторі витратного резервуару і у споживчій тарі перед фасуванням однаковий, в дво і трикамерних має місце перепад тиску. Однокамерні пристрої застосовуються як для барометричного фасування, або фасування з низьким вакуумом, так і для надбарометричного фасування. Дво і трикамерні пристрої призначені для вакуумного (з низьким чи високим вакуумом) або надбарометричного фасування .

Розділ 1.4. Види сировини для виробництва спирту.

Сировина, що використовується для виробництва спирту, повинна щорічно відновлюватися в кількості, достатній для промислової переробки, мати високий вміст крохмалю чи цукру та добре зберігатися, що забезпечує економічну доцільність виробництва. Цим вимогам відповідають клубні картоплі, зерно рослин сімейства мятликових (злаків) та меляса.

Відповідно до географічного положення та структури господарства, що склалася, в різноманітних країнах для виробництва спирту використовують різноманітні види сировини.

Картопля. З усіх видів рослинної харчової сировини картопля в найбільшій мірі відповідає технологічним вимогам спиртового виробництва. З картоплі з одиниці посівної площі отримують в 3 – 4 рази більше крохмалю у порівнянні з зерном. Картопляний крохмаль швидше розварюється, утворюється рухливе сусло, в ньому знаходяться азотисті та фосфорні речовини в кількості, достатній для харчування дріжджів, з нього отримують найбільший вихід спирту. При переробці картоплі виробнича потужність заводу на 10% більша, ніж при переробці зерна, а витрати палива на 12% менші ніж собівартість спирту.

До недоліків картоплі як сировини для виробництва спирту відносять значні витрати праці на вирощування картоплі, погану зберігаємість через великий вміст вологи та легке підупадання під вплив захворювань, а також великі витрати на транспортування на великі відстані.

Зернові культури. На спирт переробляють будь-яке зерно, в тому числі й зерно, що не використовується в харчових та кормових цілях. Щорічний об'єм переробки складає (%): пшениці 50 (переважно дефектної), ячменю 20, ржі 12, кукурудзи 8, проса 5, вівса 2 та інших культур (грачихи, вікі, гороху, рису та ін.) 3. для приготування солоду використовують конвенційне високоякісне зерно.

Кукурудза. Із зернових культур кращою сировиною для виробництва спирту є кукурудза (*Zea mays*). В ній міститься порівняно більше крохмалю,

менше клітковини, більше жиру (що підвищує харчову цінність барди). Родючість кукурудзи в 2 – 3 рази вища родючості інших зернових культур.

Пшениця, ячмінь, овес, ріж. Ріж (*Secale*), пшениця (*Triticum*), ячмінь (*Hordeum*) та овес (*Avena*) вирощуються в нашій країні та можуть використовуватися в якості сировини для виробництва спирту, проте виробництво спирту саме з цих зернових культур веде до великих грошових витрат, що в свою чергу впливає на підвищення собівартості спирту, до того ж технологічна схема виробництва спирту ускладнюється через необхідність розварювання сировини та осахарювання крохмалю.

Розділ 1.5. Метод шампанізації вина в безперервному потоці

Ідея шампанізації провина в безперервному потоці, заснована на роботах проф. С. В. Лебедева по безперервному бродінню цукровмісних речовин, була висунута в 1940 р. проф. Р. Р. Агабальянцем і доц. А. А. Мержаніаном (кафедра виноробства Краснодарського інституту харчової промисловості).

Запропонована авторами установка рис.1 детально випробувана колективом працівників Московського заводу шампанських вин, що вніс ряд важливих удосконалень в ході монтажу і впровадження установки, складається з наступних п'яти основних частин, зв'язаних газовими і винними комунікаціями в один загальний агрегат: завантажувальної частини, дріжджового і бродильного апаратів, приймальної частини і регулюючих пристроїв.

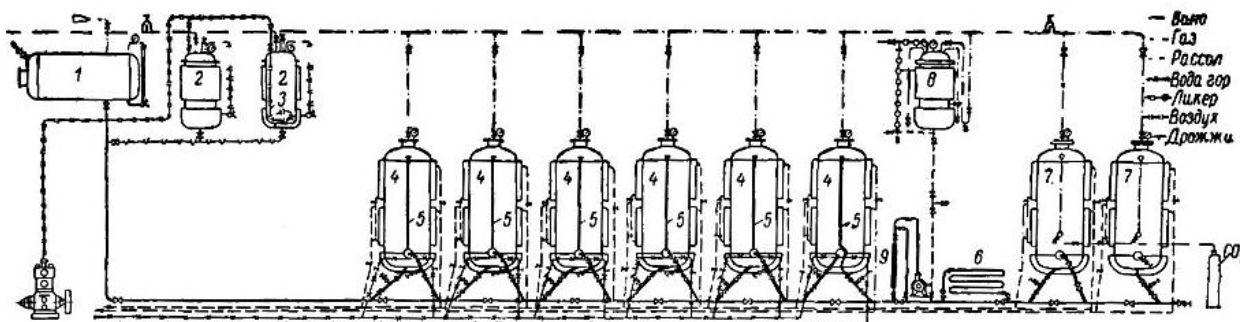


Рис1.2 Схема шампанізації вина в безперервному потоці.

Завантажувальна частина забезпечує безперервну подачу початкової суміші в бродильний апарат і складається з двох напірних резервуарів 1, пластинчастого фільтру і тиражного резервуару (на схемі не показаний), з якого бродильна суміш після термічної обробки тиском вуглекислоти переводиться через фільтр в напірний резервуар. Дріжджовий апарат призначений для розмноження дріжджів і підтримки постійної концентрації активної дріжджової маси в бродильному апараті. Дріжджовий апарат складається з трьох резервуарів, що поперемінно включаються, – дрожжанок 2, забезпечених барботерами для продування

повітря

3.

Бродильний апарат призначений для проведення процесу шампанізації вина в безперервному потоці. Він складається з 6 резервуарів-акратофоров Фролова-багреєва 4, послідователно сполучених так, що рідина входить в кожен з них знизу і виходить зверху через зливну трубу 5. Зливні труби розташовані усередині кожного резервуару по вертикальній осі і закінчуються у горловини воронкоподібним розширенням. Приймальна частина складається з теплообмінника 6 для охолодження шампанізованого вина в потоці, два що поперемінно включаються термос-резервуарів-акратофоров Фролова-багреєва 7 для прийому шампанізованою провина і відстоювання його при температурі -5° , а також лікерного резервуару 8 для безперервного дозування шампанська в потоці експедиційним лікером, з метою отримання на одній установці шампанська різних кондицій.

Регулюючі пристрої призначені для підтримки і регулювання технологічного режиму процесу шампанізації, швидкості потоку вина в установці по індикатору витрати рідини – ротаметру, постійного тиску в газовій комунікації (на схемі не показано), автоматичного перемикачання потоку шампанізованого вина (на схемі не показано) і др. Завантаження резервуарів бродильної батареї акратофорной сумішшю проводять послідовно – від останнього до першого з інтервалами між черговими завантаженнями в 2-5 днів при різниці в цукристості до 3 грама/л.

Перед завантаженням всі резервуари установки (напірні, дріжджові, бродильні, лікерний, приймальні) перевіряються на герметичність і стерилізуються. Після завантаження кожного з бродильних резервуарів вторинне бродіння в них протікає в герметичних умовах ізольовано, тобто так само, як в звичайних акратофорах. Коли в останньому бродильному резервуарі (завантаженому спочатку) вино, що шампанізується, стане кондиційним за змістом цукру, спирту і концентрації вуглекислоти, а в

першому бродильному резервуарі (завантаженому в останню чергу) почнеться бродіння, в установці створюють потік вина відкриттям останнього вентиля на ділянці стаціонарного трубопроводу між теплообмінником і приймальним резервуаром, причому заздалегідь, перед пуском, тиск у всій установці вирівнюється з тиском, сталим до цього моменту в шостому бродильному резервуарі. Для цього в кожен з бродильних резервуарів, в напірний і приймальні резервуари з балонів вводиться вуглекислий газ. Потім вентиля газової комунікації, окремі резервуари, що сполучають між собою, відкриваються і у всій системі встановлюється однаковий тиск.

Рух бродильної суміші в безперервному потоці забезпечується тиском стовпа рідини від напірного резервуару до приймального. Бродильна суміш, проходячи через всі бродильні резервуари, стикається з дріжджовою масою і шампанізується. Процес шампанізації ведеться під постійним тиском вуглекислого газу на рівні 5 атм. З останнього бродильного резервуару шампанізоване вино поступає в перший, а по його заповненні- в другий приймальний термос-резервуар. Продуктивність установки-180 дкл/сутки. Шампанізація вина в безперервному потоці має ряд переваг в порівнянні з періодичним методом шампанізації.

1. При шампанізації вина в безперервному потоці вторинне бродіння проходить під постійним тиском вуглекислого газу, що сприяє поліпшенню ігристих і пінявих властивостей готового продукту.

2. Вторинне бродіння вина в потоці забезпечує достатньо рівномірний розподіл дріжджових кліток по всій масі вина кожного бродильного резервуару, що у багато разів покращує контакт вина з дріжджами і сприяє збагаченню шам-панізуємого вина автолізатами.

3. Завдяки винесенню накопичення дріжджової маси за межі бродильного апарату і відпаданню у зв'язку з цим потреби в розмноженні дріжджів в процесі вторинного бродіння, представляється можливим

повністю позбавляти тиражну суміш кисню і, отже, проводити шампанізацію на найнижчому рівні ОВ-потенціала.

4. Шампанізація вина в безперервному потоці забезпечує збільшення продуктивності в порівнянні з періодичним методом на 45%, а також створює можливість повної автоматизації контролю і регулювання технологічного процесу.

Розлив резервуарного шампанська. Після відстоювання і перевірки кондиційності шампанське направляють на розлив в пляшки.

Розділ 1.6 Технологія ЦКБА (циліндро конічні бродильні апарати)

Звичайні бродильні апарати і лагерні танки мають певні обмеження в розмірах. Необхідність в більшій економії виробництва та збільшенні об'ємів виготовлення пива потребує великих виробничих одиниць для апаратів бродіння та дозрівання пива.

Результат - виникнення нових циліндро - конічних бродильних апаратів (ЦКБА), що застосовуються в наш час на більшості пивоварних заводів так як добре себе зарекомендували. Використання ЦКБА - це не тільки їх технічні переваги, але й проведення процесів бродіння - доброджування на якісно високому рівні.

Виробництво пива із суміщенням бродіння і доброджування, котре запозичена від способу Натана і допрацьоване, застосовується для виготовлення великої кількості сортів.

Суть його у тому, що в одному апараті об'ємом від 100 до 1500 мі (і навіть більше) з добовим заповненням його суслом при 5-17 °C та дріжджами суміщають два ступені: головне бродіння і доброджування. З першою варкою (освітлене гаряче охмелене сусло) вводять усі або порціями засівні сильнозброджуючі дріжджі (~ 300 г на 1 гл сусла вологістю 75%). У процесі перекачування сусла, до ЦКБА, його аерують для досягнення показника вмісту кисню не < 8 мг O₂/мл. сусла.

Протягом перших двох діб підтримується температура бродіння від 9-14 °C для досягнення необхідного кінцевого ступеня зброджування. Вона регулюється поясами зовнішніх оболонок із холодоносієм, охолодженим не нижче як до -6 °C.

За умови досягнення вмісту сухої речовини 3,2 - 3,5% апарат шпунтується при надлишковому тиску 0,04-0,07 МПа.

Закінчення бродіння визначають за припиненням подальшого зменшення вмісту екстракту протягом 24 год. На 5-ту добу досягають видимої кінцевої масової частки 2,2-2,5% сухої речовини. Після цього холодоносії подають в оболонку конусної частини і температура стає рівною 0,5-1,5 °C. У циліндричній частині $t = 3-4$ °C зберігається протягом 6-7 днів. Потім температуру пива вирівнюють по всій висоті апарата та шпунтують.

Через 10 днів (приблизно) від початку бродіння проводять перше знімання дріжджів. Перед освітленням - здійснюють друге знімання, а тільки тоді пиво передають на охолодження, сепарування. Температурне розшарування пива. Температура пива не однакова по всій товщі об'єму. На стадії інтенсивного бродіння проходить значне перемішування його головним чином за допомогою CO₂. Так, пиво із середньою екстрактивністю початкового сусла досягає найбільшої густини при +2,5 °C; з високим вмістом екстракту - при +1 °C, а з меншим - при +3 °C. Дані точки вважаються критичними, так як в них відбуваються зміни напрямів конвективних потоків в ЦКБА, у деяких, достатньо рідких випадках, конвекція взагалі може зупинитись й у верхній частині апарата розпочнеться утворення криги). Якщо пиво із середньою екстрактивністю охолоджувати до -1°C, то в конусній частині буде збиратись пиво, яке має максимальну густину при +2,5 °C (t замерзання пива ~ -2 °C).

Особливий вплив температурного розшарування спостерігається на дріжджах: якщо конус не охолоджувати, то більш тепле пиво з дріжджами збиратиметься внизу, а коли вже відчутна явна нестача харчових речовин - дріжджі продовжуючи бути в активному стані і автолізують, а як наслідок - якість пива помітно погіршиться.

Аспекти бродіння й дозрівання.

1. Азотний склад сусла, що залежить від режиму затирання. Головне - сусло повинне містити не < 25 мг вільного б - амінного азоту/100 мл.

яке необхідне для нормального харчування дріжджів. При застосуванні несолодженої сировини б - амінного азоту має становити 15 мг /100 мл.

2. Аерація сусла і норма введення дріжджів. Це найголовніший фактор для інтенсивного та швидкого зброджування. Норма - 30 млн клітин /1 мл, яка відповідає 1 л густих на 1 гл сусла. $He < 8 \text{ мг } O_2$.

3. Дріжджі дуже чутливі до різкої зміни температури. Різде переохолодження призведе до шоку. При внесенні їх в логарифмічній фазі росту потрібно запобігати різким зменшенням температури.

4. індикатор дозрівання - розчеплення діацетилу. Можна виходити з тих положень, що одночасно із значним розчепленням діацетилу зникають інші сполуки молодого пива. Загальний вміст діацетилу в кінці дозрівання має бути не більше 0,1 мг /л.

Збір дріжджів із ЦКБА.

Дріжджі потрібно знімати так часто, скільки це можливо. Для цього є свої причини:

-культура осідає не рівномірно через турбулентні потоки, які виникають при головному бродінні, тобто на поверхні молодого пива спостерігається висока концентрація клітин. Навіть при холодній витримці спостерігається явище збурювання дріжджів - завдяки теплим потокам в конусній частині апарата;

-дріжджі по ходу дозрівання виділяють в пиво азотовмісні низькомолекулярні речовини, які не споживаються ними повторно, а лише негативно впливають на стійкість піни;

-при дозріванні та холодній витримці дріжджі виділяють протеїназу, яка розчеплює композиції білків;

-поганий стан клітин призводить до їх автолізу (рН підвищується й крім того утворюються комплекси протеїнів, глікогена і маннана які розчиняються та призводять до помутніння напою, погіршення його фільтрування;

-біомаса, в конусі, знаходиться під впливом парціального тиску CO₂. Тиск стовпа рідини клітини краще витримують, а ніж дію CO₂.

Методи збору.

Із конуса дріжджі можна збирати за допомогою тиску стовпа рідини або насосом, який буде підтримувати потік постійним (мембранні, гвинтові, ексцентрові гвинтові). Важливо, щоб біомаса поступово сповзала й горизонтальна межа між пивом і дріжджами залишалась постійною; коли утвориться воронка - пиво може засмоктати. Це стосується і при роботі насосів (потрібно щоб вони працювали в пульсуючому режимі).

Згідно з принципово-технологічною схемою, гаряче, охмелене сушло охолоджують в пластинчастому двосекційному теплообміннику (це зроблено з метою підвищення продуктивності апарата): в 1-й секції - холодною водою, в 2-й - етиленгліколем.

Охолоджене сушло аерують в потоці та задають, відразу - в першу варку, всю норму засівних дріжджів (для активного початку бродіння і для запобігання поширенню інфекції).

Бродіння і доброджування, як згадувалось раніше, ведуть в ЦКБА. Період головного бродіння 5-7 діб при $t = 8-14^{\circ}\text{C}$, доброджування 6-7діб при $t = 0-1^{\circ}\text{C}$; В період між головним бродінням і доброджуванням проводять перше знімання дріжджів (вони являються не доброякісними в зв'язку з їх передчасною флокуляцією). Друге зняття дріжджів з конусної частини проводять після холодної витримки пива, коли температура вирівняна по всій висоті апарата.

Генеративні дріжджі направляють до дільниці їх очистки для повторного використання. Шпунтування пива (14 - 15 доба) - з метою кращого насичення напою двоокисом вуглецю. Напівбезперервний спосіб бродіння (доливно - переливний). Суть його в тому, що охолоджене сусло надходить у закритий бродильний апарат з мішалкою, в який додають 1 л дріжджів на 1 л середовища. Після появи завитків з'єднують перший апарат з другим і розділяють його вміст навпіл. Потім доливають обидва апарати свіжим суслom і аерують. Через 24 год. перший апарат з'єднують із третім і також розділяють вміст навпіл, доливають вміст свіжим суслom, аерують розброджують і так до кінця батареї. Проте такий спосіб вимагає підвищеної уваги до чистоти обладнання, а у випадку дезінфекції апаратів - продуктивність батареї падає. Крім того, початкова концентрація біомаси може розподілитись нерівномірно, тому логічніше буде з'єднувати не тільки перший апарат, а й другий.

Спосіб безперервного зброджування сусла в батареї з семи чи дев'яти ферментерів типу ЦКБА. Суть процесу полягає у безперервному бродінні в послідовно поєднаних апаратах. Після заповнення 1-го ферментера зброджуєме сусло самопливом надходить у наступний і так до кінця. У ході процесу зброджування видимий екстракт змінюється для 11,5% пива від 8% - у першому, 3 - 2,8% - в четвертому, до 2,6% - у сьомому. Вміст спирту відповідно 1,8; 3,2; 3,5% об., температура 8 - 10; 13; 0 - 2єс. Найвища температура (15 - 16єс) допускається у третьому ЦКБА. В четвертому бродіння в основному закінчується, починається безперервне промивання пива двоокисом вуглецю для видалення продуктів метаболізму дріжджів.

У п'ятому ЦКБА відбувається повне дозрівання, а в шостому і сьомому - повна стабілізація пива. Дріжджі безперервно виводять із п'ятого, шостого та сьомого апарата.

розуміло, що така технологія має також свій головний недолік - великі втрати пива, коли в хоча б одному ЦКБА з'явиться інфекція. Проте загальна тривалість бродіння - доброджування становить лише 7 діб. Продуктивність з 1мі місткості ЦКБА при цьому способі підвищується у два рази порівняно з періодичним суміщенням в тих же апаратах.

Отже, порівнюючи кілька режимів приготування пива, стає зрозуміло, що однозначно - досконалої схеми не існує (це стосується лише новітніх). Сучасно-оснащені апарати (періодичної дії) типу ЦКБА дали змогу розширити обсяги виробництва (в першу чергу рядового пива), та збільшити економію виробничих площ, проте, на мою думку, така перевага не є головною, а головною є якість виготовленої продукції, хоча застосування ЦКБА помітно не впливає на якість виготовлюваного напою. Маючи особисту прихильність до такого способу бродіння - обґрунтовую це скороченням тривалості процесу, що значно впливає на економічні показники виробництва.

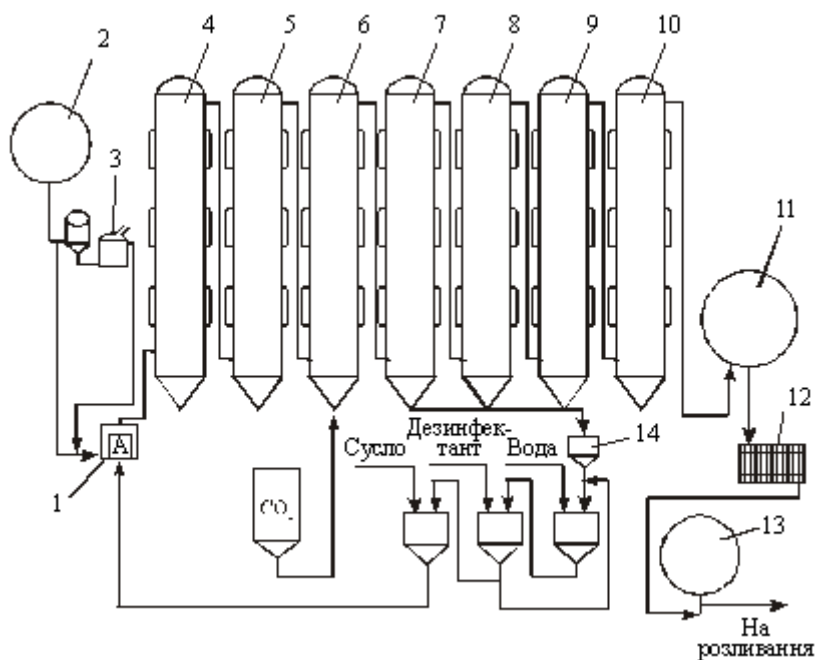


Рис.1.3Схема безперервного бродіння пива в ЦКБА:
1 — насос; 2 — збирач для сусла; 3 — дріжджогенератор; 4 — 10 — ферменти; 11 — збирач для нефільтрованого пива; 12 — фільтри; 13 — збирач для фільтрованого пива; 14 — збирач для дріжджів

Процес безперервний, більш економічно вигідний, тому що бродіння триває 6 діб, а доброджування — 11—12 діб.

Рзділ 1.7Технологія БРУ (браго ректифікаційна утсановка)

Рекуперативне (екстенсивне) енергозбереження поряд з ізоляцією теплоспоживаючого технологічного обладнання знайшло широке впровадження у процесі брагоректифікації. З цією метою використовується теплота водно-спиртової пари бражної колони (БРУ непрямої дії), спиртової та епюраційної колони (БРУ з елементами під вакуумом, прямої та напівпрямої дії), а також барди для нагріву бражки в установках прямої та напівпрямої дії. Слід відзначити, що резерви екстенсивного енергозаощадження практично вичерпані. Подальше зниження енергоємності виробництва знаходиться в області інтенсивного енергозбереження. На шляху переходу від екстенсивних способів заощадження енергоносіїв до інтенсивного енергозаощадження найбільший ефект досягається при комплексному підході до вирішення енергетичних проблем, які базуються на реалізації енергозберігаючих мало- та безвідходних технологій. Інтенсивне енергозбереження відкриває широкі можливості багатократного зниження витрат первинних джерел енергії, забезпечує суттєве зменшення викидів продуктів згоряння в атмосферу, стимулює безвідходне використання сировинних ресурсів, виступає як фактор глибокої нейтралізації шкідливого впливу виробничих об'єктів на довкілля.

Найбільш енергоємним у спиртовому виробництві є процес брагоректифікації. Розробки інтенсивного енергозбереження для цього процесу в останні роки проводяться за трьома основними напрямками:

- ступеневе використання теплової енергії в низці технологічних апаратів, які пов'язані між собою технологічними потоками;
- утилізація низькопотенціальної теплоти вихідних з технологічної системи матеріальних потоків за допомогою теплового насоса замкненого циклу;
- підвищення температурного потенціалу вторинної пари за рахунок її

рекомпресії (тепловий насос відкритого циклу). Найбільш простим способом зниження витрат пари при брагоректифікації є використання установок прямої дії (рис.). Особливістю установки є двократне використання всієї теплоти гріючої пари, що надходить до бражної колони. Підігріта у дефлегматорі спиртової колони та бражному підігрівачі спиртова бражка, піддається епюрації за рахунок водно-спиртової пари, що надходить з бражної колони до епюраційної. Особливістю спиртової колони є наявність тільки концентраційної частини та живлення її водно-спиртовою парою з бражної колони. Епюрована бражка та флегма зі спиртової колони потрапляє на верхню тарілку бражної колони та після звільнення від спирту виводяться з установки одним потоком. Двократне використання теплоти гріючої пари дає можливість знизити її витрати на процес на 35–40%. Недоліком установки є можливе погіршення якості спирту при переробці дефектного зерна, викликане прямим зв'язком бражної та спиртової колон, а також розведення барди лютерною водою.

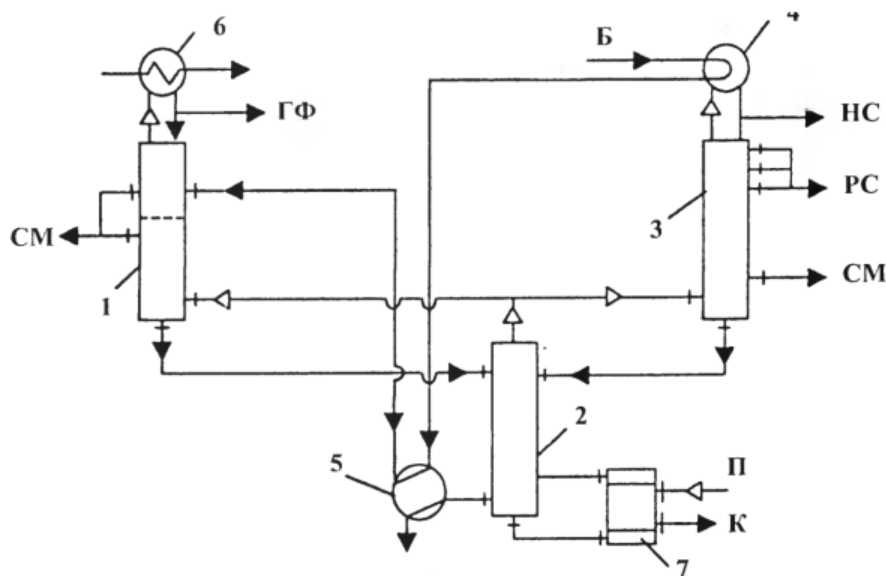


Рис.1.4 - БРУ прямої дії.

Колони: 1 - епюраційна; 2 - бражна; 3 - спиртова; 4, 6 - дефлегматори; 5 - підігрівач бражки; 7 - кип'ятильник

Основними методами енергозбереження при виробництві спирту є:

- ступеневе використання теплової енергії в низці технологічних апаратів, які пов'язані між собою технологічними потоками.
- утилізація низькопотенціальної теплоти з технологічної системи, матеріальних потоків, які виходять за допомогою теплового насоса замкнутого циклу;
- підвищення температурного потенціалу вторинної пари за рахунок її рекомпресії (тепловий насос відкритого циклу);
- використання установок прямої дії процесу брагоректифікації.

Розділ 2. Термодинамічні процеси у спиртовому бродінні.

Розділ 2.1 Теоретичні данні

Термодинаміка є розділом теоретичної фізики і однією з найбільш поширених галузей знань про перетворення різних видів енергії у взаємних переходах. Ця наука стосується різноманітних явищ природи і охоплює величезні галузі хімічних, механічних, фізико-хімічних і біохімічних технологій.

Очевидно, що вказані галузі представлені в харчових технологіях на самих високих рівнях і безперервно задіяні в екологічних циклах. При цьому вирішальна роль сукупності термодинамічних положень стосується закономірностей енергетичних трансформацій, які супроводжуються змінами характеристик матеріальних потоків, що виступають їх носіями. В циклах екологічних систем синтез і трансформації матеріальних і енергетичних потоків є нероздільними. Очевидно, що існування і використання цих особливостей в інтересах технологій створює всю сукупність можливостей агропромислового комплексу і переробної промисловості.

Звертання до закономірностей термодинаміки в описах процесів харчових технологій дозволяє наблизитися до їх оптимізації і оптимізації енергоматеріальних перетворень на рівні систем.

Сучасна термодинаміка умовно представлена загальною або фізичною, хімічною та технічною термодинамікою.

Загальна або фізична термодинаміка вивчає процеси перетворень енергії в твердих, рідких і газових середовищах, випромінення різних тіл, магнітні та електричні явища. Цей розділ стосується математичної формалізації між термодинамічними величинами.

Хімічна термодинаміка на основі законів загальної термодинаміки стосується хімічних, теплових, фізико-хімічних процесів, умов рівноваги

параметрів систем і рівноваги зовнішніх умов;

Технічна термодинаміка, яка вивчає закономірності взаємних перетворень теплоти і роботи. Це стосується взаємозв'язків між тепловими, механічними і хімічними процесами, перебіг яких має місце в газах і парах в теплових і холодильних машинах та зміни названих середовищ в різних фізичних умовах.

Підґрунтя термодинаміки стосується перших двох із наступних трьох законів. Перший закон термодинаміки є додатком (або початком у вивченні теплових явищ) до загального закону природи – закону перетворення і збереження енергії.

Другий закон термодинаміки встановлює умови перебігу і спрямованість макроскопічних процесів в системах, які складаються з великої кількості частинок. У зв'язку з останнім другий закон має більш обмежене використання.

Третій закон термодинаміки (теплова теорема Нернста) визначає властивості речовин за температур, наближених до абсолютного нуля, використовується у більшості випадків в хімічній термодинаміці і має обмежене прикладне значення.

Завданням цього дослідження є звертання до особливостей технологій мікробіологічного синтезу на основі поглибленого використання положень термодинаміки з метою удосконалення в них енергоматеріальних трансформацій.

Аналіз сукупностей процесів, задіяних в харчових і мікробіологічних технологіях приводить до висновку про застосування в них перших двох названих законів термодинаміки. Наприклад, тільки процес аерації культуральних середовищ для вирощування мікроорганізмів в узагальненому переліку потребує наступних складових:

- забирання із зовнішнього середовища повітря і його адіабатне стискання до величини тиску, що дозволяє подолати гідростатичний тиск середовища, в яке повітряний потік вводиться. Наслідком стискання повітря буде підвищення його температури, енергетичного потенціалу, зменшення об'єму;
- ізобарне охолодження повітря з метою наступної стабілізації температури культурального середовища;
- диспергування газового потоку в культуральному середовищі з утворенням міжфазної поверхні;
- перехідний і усталений режими спливання диспергованої газової фази з утворенням циркуляційних контурів;
- масообмін на поверхні поділу фаз з розчиненням кисню і десатурацією середовища та мікроциркуляція азоту;
- утворення повисотної нерівномірності газоутримувальної здатності середовища у зв'язку з генеруванням діоксиду вуглецю;
- утворення концентраційного градієнта розчинених газів у зв'язку з гідростатичними тисками;
- ізотермічне розширення диспергованої газової фази;
- змінні значення осмотичних тисків середовищ з впливами на динаміку приросту біомаси.

Часткове відображення останнього переліку наведено у графічній формі на рис. 2.1, а на рис. 2.2 – гістограма параметрів тиску і температури. Очевидно, що наведений перелік стосується першого і другого законів термодинаміки.

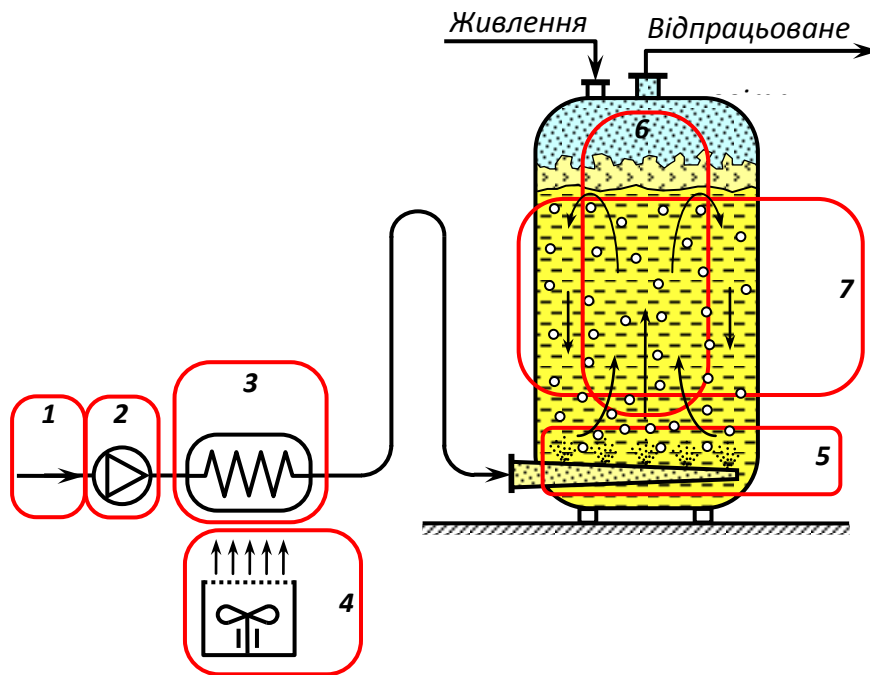


Рис.2.1. Схема до визначення параметрів процесу аерації культуральних середовищ: 1 – зона забору повітря; 2 – компресор; 3 – охолоджувач стиснутого повітря; 4 – зона забору повітря на охолоджувач; 5 – зона формування диспергованої газової фази; 6 – зона масообміну, розчинення кисню і десатурації середовища; 7 – зона біохімічних процесів і синтезу

Перший закон встановлює взаємозв'язки між кількістю теплоти, зміною внутрішньої енергії і зовнішньої роботи газу. При цьому кількість теплоти, що підводиться до середовища, залежить від характеру процесу. До переліку основних процесів, важливих в харчових технологіях, відносяться математичні формалізації процесів ідеальних газів, а саме ізохорний, ізобарний, ізотермічний, адіабатний. Окрім того існує група процесів, що за певних умов грають роль узагальнюючих для основних процесів. Вони мають назву політропних і характеризуються сталими значеннями теплоємності в процесі.

Вказаний процес аерації має кілька складових термодинамічних трансформацій, відносно яких виникає необхідність чіткого вибору при їх визначенні. Так стискання вхідного газового потоку в компресорі запропоновано вважати адіабатним, хоча такий вибір все таки потребує

деяких пояснень. Очевидно, що стискання газового потоку означає введення в нього енергії, еквівалентної роботі стискання. Підвищення енергії газового потоку означає зростання його температури, яке не може не відобразитися на температурах циліндра і поршня компресора (або робочих елементів турбокомпресора). Це супроводжується усталеним режимом теплопередачі в навколишнє середовище і частковою втратою енергії газового потоку, у зв'язку з чим стискання останнього може вважатися лише деяким наближенням до адіабатного процесу. При цьому ступінь такого наближення залежить від швидкості перебігу стискання і часу перебування стиснутого потоку в контакті з навколишнім середовищем, геометрії повітроводів і поверхні контактування.

Віднесення стискання повітря до адіабатного процесу дозволяє визначити всі кінцеві термодинамічні параметри за умови відомих початкових значень тиску і температури.

Очевидно, що вказані початкові параметри не будуть стабілізованими, як і параметри навколишнього середовища, а діапазон їх відхилення повинен враховуватися у зв'язку з обмеженнями нестабільності температур на вході в культуральне середовище.

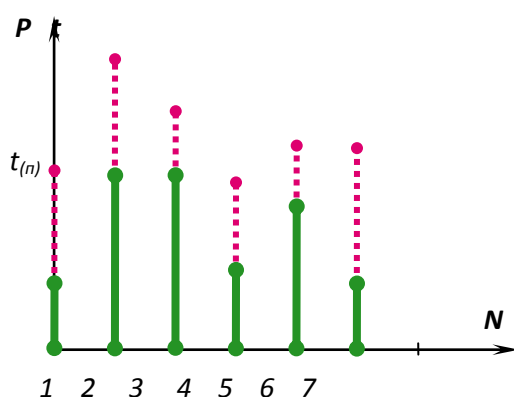


Рис. 2.2. Гістограма параметрів тиску і температури процесу аерації культуральних середовищ

технологічний апарат повітряного потоку.

Наступна термодинамічна операція пов'язана з охолодженням газового потоку в режимі ізобарного процесу. Вона має подвійне призначення як з точки зору інтересів відведення з системи теплоти біологічного синтезу, так і з точки зору можливості стабілізації температури вхідного в

Кількість відведеної теплоти визначається величиною масового потоку газової фази, що проходить через культуральне середовище, його теплоємністю і різницею кінцевої і початкової температур. У відповідності до теплового балансу кількості відведеної теплоти і теплоти біологічного синтезу між собою рівні, а ознакою такої рівності є стабілізована температура культурального середовища.

Номинальна температура культивування мікроорганізмів є відомою, що дає змогу визначити можливий діапазон в межах T_{min} і T_{max} . При цьому початковим умовам P_1 і T_1 відповідають залежності $T_{2max} = T_{2max}(P_{max})$ і $T_{2min} = T_{2min}(P_{min})$. Тобто для адіабатного процесу маємо:

$$T_{2max} = T_1 \left(\frac{P_{2max}}{P_1} \right)^{\frac{k-1}{k}} \quad (1)$$

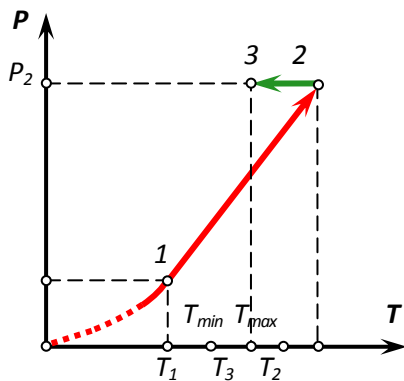


Рис. 2.3. Діаграма залежності $P = P(T)$ відображення процесів адіабатного стискання та ізобарного охолодження повітря в системах аерації культуральних середовищ для вирощування мікроорганізмів

Звідси

$$P_{\frac{2max}{min}} = P_1 \sqrt[k]{\frac{T_{\frac{2max}{min}}}{T_1}} \quad (2)$$

Оскільки маємо поєднання адіабатного та ізобарного процесів, що

виконуються в обумовленій послідовності, то доцільно оцінити діапазони змін початкових термодинамічних параметрів. Значення величин P_1 відповідають барометричним тискам і тому їх відхилення від середніх значень вкладаються в межі 2...4 %, тоді як значення початкових температур можуть мати добові відхилення 15...20 °С, а сезонні – 50...60 °С. Прогнозовані впливи цих відхилень мають враховуватися в системах стабілізації температур. Графічне відображення взаємозв'язків параметрів наведено на рис. 1.4.

Початковим параметрам P_1 та T_1 на діаграмі P–T відповідає точка 1, а адіабатне стискання повітря відображено відрізком 1–2. Точці 2, що відповідає завершенню цього стискання, відповідають параметри P_2 та T_2 . Оскільки значення T_2 перевищує допустимий параметр T_{\max} , то це означає необхідність охолодження газової фази, що відображується на діаграмі відрізком 2–3. Цей процес є ізобарним, оскільки має виконуватися умова

$$P_2 > \rho gh + P_0, \text{ Па}, \quad (3)$$

де ρ – питома маса рідкого культурального середовища, кг/м³; g – прискорення вільного падіння, м/с²; h – висота рідинної фази, м.

Положення точки 3 на ізобарі обирається одночасно на ізотермі, початок якої відповідає значенню T_3 в межах величин T_{\min} і T_{\max} .

Оскільки в цій і подальших частинах цього дослідження передбачається вивчення енергетичних трансформацій газових середовищ в різних умовах, то доцільним є звернення до визначень і характеристик процесів ідеальних газів. Так в аналізі щодо трансформацій, представлених схемою на рис. 2.3 показані адіабатний і ізобарний процеси, хоча така сукупність може бути представлена розширеною і такою, що стосується всіх процесів аерації культуральних середовищ (рис. 2.4).

Адіабатний та ізопроцеси є частковими випадками політропних, в яких питома теплоємність є сталою, а величина

$$n = \frac{c - c_p}{c - c_v} \quad (4)$$

є показником політропи, де c – питома теплоємність; c_p і c_v – відповідно

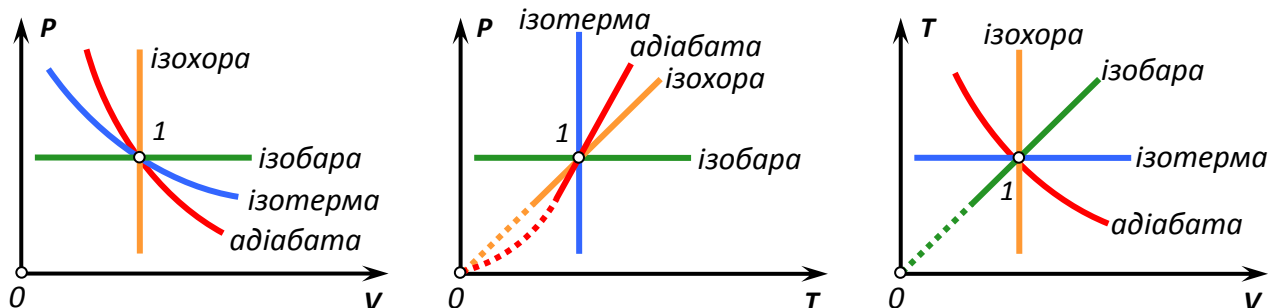


Рис.2.4. Діаграми термодинамічних процесів ідеальних газів

теплоємності в ізобарному та ізохорному процесах.

Ізохорою, ізобарою, ізотермою, адіабатою і політропою називаємо відповідні графічні відображення, якими представлені процеси ізохорний, ізобарний, ізотермічний, адіабатний і політропний.

Наступною технологічною і одночасно термодинамічною операцією є матеріальна трансформація безперервного газового потоку з утворенням в

рідинній фазі диспергованої газової фази. Її здійснення досягається барботажним процесом, а енергетичний потенціал забезпечується трансформацію кінетичної енергії газових потоків. При цьому мають місце наступні енергоматеріальні зміни двох видів.

По-перше, досягається утворення диспергованої газової фази і енергетичні витрати стосуються утворення міжфазної поверхні F :

$$E_F = \sigma F, \text{ Дж} \quad (5)$$

де σ – коефіцієнт поверхневого натягу, Дж/м².

Потужність газового потоку визначається його масовою характеристикою і швидкістю:

$$W_{\text{кін}} = m \frac{V^2}{2}, \text{ Вт}, \quad (6)$$

де m – масовий потік газу, кг/с.

Диспергування вхідного газового потоку можливо оцінювати суто механічним процесом, на який накладається енергетична трансформація у двох формах. Це, як відмічалось, стосується енерговитрат на утворення міжфазної поверхні і, по-друге, при розбіжності температур рідинної фази і стиснутого повітря має відбутися їх вирівнювання.

Феноменологічні міркування приводять до висновку, що вирівнювання температур у зв'язку зі значним рівнем дисперсності фази має відбутися достатньо швидкоплинно за відносно обмежених змін швидкостей спливання газової фази в обмежених координатах. Це означає, що енергообмін в таких умовах може вважатися ізобарним процесом. Вирівнювання температур в цих умовах означає початок режиму охолодження рідинної фази. В основі швидкоплинності цієї частини енергообміну лежить високий рівень турбулентності газорідинного середовища. Останнє накладає відбиток на цю локальну зону і на перехідний процес спливання газової фази. Однак

очікувана ефективність теплообміну за час перебування бульбашок в цій зоні приводить до вирівнювання температур. Від цього моменту газова фаза має вважатися такою, яка перебуває в ізотермічних умовах. В наступному процесі спливання диспергована газова фаза у зв'язку зі зниженням гідростатичного тиску розширюється, що забезпечує подальший перебіг процесу охолодження культурального середовища.

На основі останніх міркувань маємо можливість продовжити побудову графіків процесів в координатах P–T (рис.2.5).

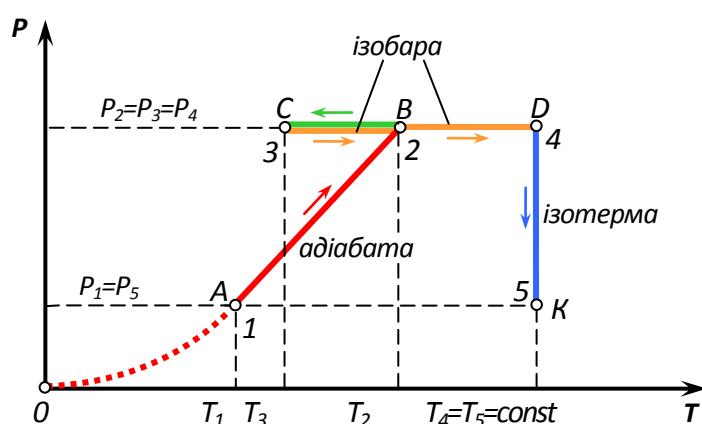


Рис. 2.5. Діаграма термодинамічних трансформацій газової фази в процесах аерації культуральних середовищ в координатах P–T:

1–2 – адіабатне стискання повітря компресором; 2–3 – ізобарне охолодження стиснутого повітря; 3–4 – ізобарне нагрівання диспергової газової фази в період утворення міжфазної поверхні; 4–5 – ізотермічне розширення диспергової газової фази

Загальне розташування діаграми в площині координат P–T залежить від початкових координат точки А. Якщо технологічний апарат виконано негерметичним, то протитиск в ньому відсутній і це означає, що за показниками тиску початкова і кінцева координати співпадають. Подібний збіг тисків початкових і кінцевих умов знаходить відображення на діаграмі P–V (рис. 2,6).

На рис. 2.7 зміну термодинамічних параметрів наведено в координатах T–V.

Функціональне навантаження щодо охолодження середовища досягається в ізобарному процесі 3–4, пов'язаному з утворенням диспергованої газової фази та в ізотермічному процесі розширення останньої. Розширення газової фази пов'язане з її спливанням і відповідним зниженням гідростатичного тиску.

Такі пульсації знаходять відповідне і еквівалентне відображення в кожній довільно обраній зоні середовища і сприяють активному оновленню міжфазної поверхні в її змінах. Проте зміна розмірів і об'ємів диспергованої газової фази є далеко не єдиним результатом відгуку системи на зміни тисків. Вторинним результатом у зв'язку зі змінами об'єму газової фази

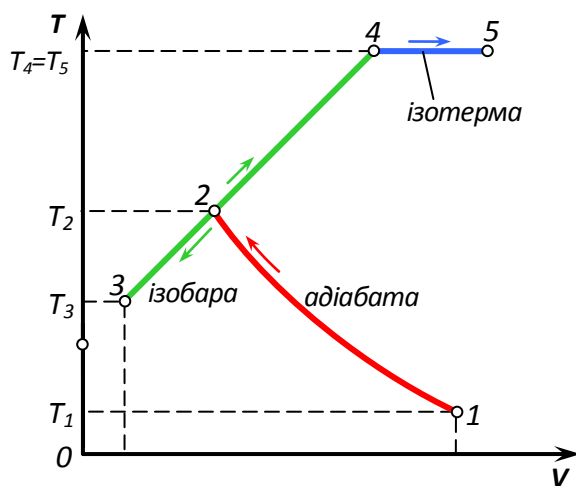


Рис. 2.7. Діаграма термодинамічних трансформацій газової фази в процесах аерації культуральних середовищ в координатах $T-V$:

1–2 – адіабатне стискання повітря компресором; 2–3 – ізобарне охолодження стиснутого повітря; 3–4 – ізобарне нагрівання повітря; 4–5 – ізотермічне розширення диспергованої газової фази

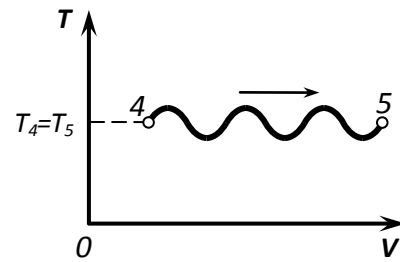


Рис. 2.6. Діаграма до змін газотримувальності в залежності від $P_0 = P_0(\tau)$, де τ – час перебігу процесу

мають бути зміни газотримувальності середовища, загальної гідродинаміки, пов'язаної з циркуляційними контурами, абсолютної швидкості спливання газової фази тощо. У загальному випадку присутність змінних тисків на діаграмі $T = T(V)$ має відобразитися

на ізотермі 4–5 і визначати коливальні зміни газотримувальної здатності (рис. 1.9). При цьому відхилення температури T є мінімізованими, оскільки процес залишається наближеним до ізотермічного, хоча в залежності від швидкості зміни тиску $P_0 = P_0(\tau)$ можливо бачити в ньому ознаки адіабатного процесу. Очевидно, що при цьому певна роль належить і закону зміни зовнішньому для системи тиску. Присутність останніх має прояв на молекулярному рівні масообміну, пов'язаному з законом Генрі і розчинністю газів.

Відомо, що аерація культуральних середовищ пов'язана з наступним переліком завдань:

- забезпечення аеробного режиму синтезу біомаси доставкою кисню в середовище;
- відведення синтезованого діоксиду вуглецю;
- відведення теплоти біологічного синтезу і стабілізація температурних параметрів системи;
- гомогенізація середовища.

Таким чином на особливості термодинамічних трансформацій газової фази в різних формах накладаються більш тонкі процеси масо- і теплообміну, синтезу біомаси, фізико-хімічні характеристики середовищ, показники осмотичних тисків зокрема.

Оцінку взаємовпливів названих параметрів можливо здійснювати на комплексному врахуванні їх присутності. Очевидно, що динаміка генерування біологічної теплової енергії закладається технологічною схемою, в основу якої покладається певний біологічний параметр. Останнім може бути швидкість приросту біомаси за відомої її концентрації. Це означає можливість визначення динаміки споживання живильних речовин, енерговиділення споживання розчиненого кисню, утворення діоксиду вуглецю.

Для прикладу звернемося до технології синтезу хлібопекарських дріжджів. Відомо, що нарощування їх біомаси є кількоступеневим для підтримання мікробіологічної чистоти починаючи від стадії абсолютно чистої культури (АЧК) до природно чистої (ПЧК) з переходом до передтоварної і товарної стадій. Саме в цих двох останніх стадіях мають місце перелічені особливості організації режимів аерації.

В товарній стадії передбачається засівний режим, створення початкового середовища з відповідними концентраціями живильних речовин з витримкою системи у формі лаг-фази. Подальше подавання живильних компонентів здійснюється з розрахунком на очікуваний приріст біомаси. Цей контрольний параметр обирається у відповідності до схеми вирощування, а діапазон приросту за одну годину може складати від 9 до 20 %.

За відомого приросту біомаси з врахуванням виходу з цукромісткої сировини визначається потужність синтезованого теплового потоку:

$$\frac{dQ_6}{d\tau} = \frac{dQ_6}{d\tau} \left(\frac{dM_6}{d\tau} \right), \quad (7)$$

де $\frac{dM_6}{d\tau}$ – швидкість приросту біомаси.

Стабілізація температурних параметрів може здійснюватися використанням різних технологічних прийомів. Це може досягатися використанням сорочок охолодження або охолодженням притоку води з компонентами живлення, або за рахунок досліджуваної в цій роботі системи. Очевидно, що придатними до використання можуть бути і комбінації з різних систем. Однак необхідність стискання аераційного повітря дозволяє використати термодинамічні наслідки цього процесу саме для охолодження культуральних середовищ.

Важливою перевагою у випадку останнього вибору є можливість досягнення стабілізації температури культурального середовища без

використання проміжних матеріальних носіїв теплових потоків. Очевидно, що підвищення температури повітря в режимі його стискання в адіабатному процесі дає можливість охолодити його наближено до початкової температури навколишнього середовища.

Сполучення ідеалізованих газових трансформацій приводять до послідовного переліку: адіабатного стискання повітря; ізобарного охолодження, ізобарного нагрівання, ізотермічного розширення. Цьому переліку відповідають залежності:

▪ *в адіабатному процесі*

$$\text{рівняння процесу} - \delta A = 0; \quad (8)$$

зв'язок між параметрами стану

$$pV^k = \text{const}; \quad pT^{\frac{k}{1-k}} = \text{const}; \quad VT^{\frac{1}{k-1}} = \text{const}; \quad (9)$$

робота в процесі

$$\delta A = p dV = -dU; \quad (10)$$

$$A = -\Delta U = c_v(T_1 - T_2) = \frac{1}{k-1}(P_1 V_1 - P_2 V_2); \quad (11)$$

$$A = \frac{M}{\mu} \cdot \frac{RT_1}{k-1} \left[1 - \left(\frac{P_1}{P_2} \right)^{\frac{k-1}{k}} \right] = \frac{P_1 V_1}{k-1} \left[1 - \left(\frac{V_2}{V_1} \right)^{1-k} \right]; \quad (12)$$

кількість теплоти, переданої в процесі

$$\delta Q = 0; \quad Q = 0; \quad (13)$$

▪ *в ізобарному процесі:*

$$\text{рівняння процесу} \quad p = \text{const};$$

(14)

зв'язок між параметрами стану

$$\frac{V}{T} = \text{const}; \quad (15)$$

робота в процесі

$$\delta A = p dV; \quad A = p(V_1 - V_2); \quad (16)$$

кількість теплоти, переданої в процесі

$$\delta Q = c_p dT; \quad Q = c_p(T_2 - T_1); \quad (17)$$

▪ в ізотермічному процесі:

рівняння процесу

$$T = \text{const};$$

(18)

зв'язок між параметрами стану

$$pV = \text{const}; \quad (19)$$

робота в процесі

$$\delta A = p dV; \quad A = \frac{M}{\mu} RT \ln \frac{p_1}{p_2}; \quad (20)$$

кількість теплоти, переданої в процесі

$$\delta Q = c_p dT; \quad Q = c_p(T_2 - T_1); \quad (21)$$

▪ в політропному процесі:

рівняння процесу

$$c = \text{const};$$

зв'язок між параметрами стану

$$pV^n = \text{const}; \quad pT^{\frac{n}{1-n}} = \text{const}; \quad VT^{\frac{1}{n-1}} = \text{const}; \quad (22)$$

робота в процесі

$$\delta A = p dV; \quad A = \frac{1}{n-1}(p_1 V_1 - p_2 V_2);$$

$$A = \frac{M}{\mu} \cdot \frac{RT_1}{n-1} \left[1 - \left(\frac{p_2}{p_1} \right)^{\frac{n-1}{n}} \right] = \frac{p_1 V_1}{n-1} \left[1 - \left(\frac{V_2}{V_1} \right)^{1-n} \right]. \quad (23)$$

кількість теплоти, переданої в процесі

$$\delta Q = c dT; \quad Q = c(T_2 - T_1); \quad (24)$$

В співвідношеннях присутні такі величини:

k – показник адиабати;

p – значення тисків, Па;

A – робота розширення газової фази, Дж; в питомому обчисленні Дж/кг;

δA – елементарна робота розширення, Дж;

ΔU – зміна внутрішньої енергії системи, Дж;

c_v – теплоємність газової фази в ізохорному процесі, Дж/(кг·град);

V – об'єм газової фази, м³;

dV – елементарний об'єм газової фази, м³;

M – маса газу, кг;

M – молекулярна маса газу;

m – масовий потік газу, кг/с;

Висновки. Поглиблений аналіз процесів аерації культуральних середовищ в процесах аеробного бродіння дозволяє зробити такі висновки.

1. Аерація середовища повинна здійснюватися безперервно, що

викликано високою швидкістю поглинання дріжджами розчиненого кисню. За припинення аерації концентрація розчиненого кисню за 15...30 с знижується до нуля.

2. Аерація забезпечується подаванням повітря з подоланням гідростатичного тиску. Потік газової фази утворюється механічним стисканням, що відповідає адіабатному процесу;

3. Ізобарне охолодження стиснутого повітря дозволяє на етапі аерації стабілізувати температуру середовища на номінальному рівні за рахунок відведення біологічної теплоти.

4. Синтез мікроорганізмів супроводжується утворенням CO_2 . У зв'язку з цим ізотермічна взаємодія культурального середовища відбувається з сумішшю азоту, діоксиду вуглецю, кисню і парової фази. Ізотермічне розширення цієї суміші забезпечує енергетичний потенціал середовища.

5. Рівень диспергування початкової газової фази залежить від швидкості введення газового потоку в рідинну фазу в режимі барботажу.

Розділ 3. Науково дослідна робота.

Розділ 3.1 Розрахунок термодинамічних параметрів в процесі аерації при 20 °С.

Повітря, що має подаватися на аерацію, підлягає стисканню в повітродувній машині, до величини яка переважає гідростатичний тиск рідинної фази на рівні введення газової.

Окрім стискання, перебіг перебіг якого наближений до адіабатного процесу, в окремих випадках здійснюється пропускання стиснутого повітря через мікробіологічні фільтри, а за потреби- і через теплообмінні апарати з метою зниження температур.

Стискання як термодинамічний процес, може вважатися адіабатним у зв'язку з його швидкоплинністю, а рівняння адіабати за сталої теплоємності ($c_v = \text{const}$) для ідеального газу в системі координат $p-v$ має форму:

$p v^k = \text{const}$, де $k = c_p / c_v$ - показник адіабати; c_p і c_v - теплоємності повітря за сталого тиску і об'єму.

Залежність між початковими і кінцевими параметрами процесу мають вигляд:

-між p та v :

$$p_1/p_2 = (v_1/v_2)^k$$

-між T та v ; T та p :

$$T_1/T_2 = (v_1/v_2)^{k-1} = (p_2/p_1)^{k-1/k}$$

Для можливості оцінки впливу різних початкових умов на параметри системи виконуємо розрахунки по визначенню початкових і кінцевих об'ємів для 1кг повітря, кінцеву температуру, роботу стискання, зміну внутрішньої енергії та ентропії. Показники адіабати приймаємо $k=1,4$.

Початковий тиск повітря $p_1=100\text{кПа}$;

Температура $t=20\text{C}$

Кінцевий тиск приймемо з градацією 4м в.ст- $p_2= 140; 180;220;260;300$; кПа;

Початковий об'єм газової фази (Розрахунки виконано в програмі MathCad):

$$v_1=mRT/p_1$$

$$\frac{1 \cdot 287 \cdot 293}{100000} = 0.841 \text{ м}^3$$

R-газова стала;

Кінцеві об'єми визначаємо з рівня адіабати (Розрахунки виконано в програмі MathCad):

$$v_2=v_1(p_1/p_2)^{1/k}$$

$$0.841 \cdot \left(\frac{100}{140}\right)^{0.7143} = 0.661 \text{ м}^3$$

$$0.841 \cdot \left(\frac{100}{180}\right)^{0.7143} = 0.553 \text{ м}^3$$

$$0.841 \cdot \left(\frac{100}{220}\right)^{0.7143} = 0.479 \text{ м}^3$$

$$0.841 \cdot \left(\frac{100}{260}\right)^{0.7143} = 0.425 \text{ м}^3$$

$$0.841 \cdot \left(\frac{100}{300}\right)^{0.7143} = 0.384 \text{ м}^3$$

$k=1,4$ -показники адіабати.

Кінцеві температури повітря у процесах стискання (Розрахунки виконано в програмі MathCad):

$$T_2 = p_2 v_2 / (mR)$$

$$\frac{140000 \cdot 0.661}{287} = 322.439 \text{ К} \quad 49.28^\circ\text{C}$$

$$\frac{180000 \cdot 0.553}{287} = 346.829 \text{ К} \quad 73.67^\circ\text{C}$$

$$\frac{220000 \cdot 0.479}{287} = 367.178 \text{ К} \quad 94^\circ\text{C}$$

$$\frac{260000 \cdot 0.425}{287} = 385.017 \text{ К} \quad 111.8^\circ\text{C}$$

$$\frac{300000 \cdot 0.384}{287} = 401.394 \text{ К} \quad 128.24^\circ\text{C}$$

Робота стискання визначається:

$$l = 1/k - 1 \cdot (p_1 v_1 - p_2 v_2)$$

$$1/k - 1 = 2.5$$

$$2.5 \cdot (100000 \cdot 0.861 - 140000 \cdot 0.661) = -16100 \text{ Дж}$$

$$2.5 \cdot (100000 \cdot 0.861 - 180000 \cdot 0.553) = -33600 \text{ Дж}$$

$$2.5 \cdot (100000 \cdot 0.861 - 220000 \cdot 0.479) = -48200 \text{ Дж}$$

$$2.5 \cdot (100000 \cdot 0.861 - 260000 \cdot 0.425) = -61000 \text{ Дж}$$

$$2.5 \cdot (100000 \cdot 0.861 - 300000 \cdot 0.384) = -72750 \text{ Дж}$$

В адіабатному процесі стискання внутрішня енергія робочого тіла зростає і чисельно дорівнює роботі стискання. Графіки, що узагальнюють наведені розрахунки наведені на рисунках 3.1 та 3. 2

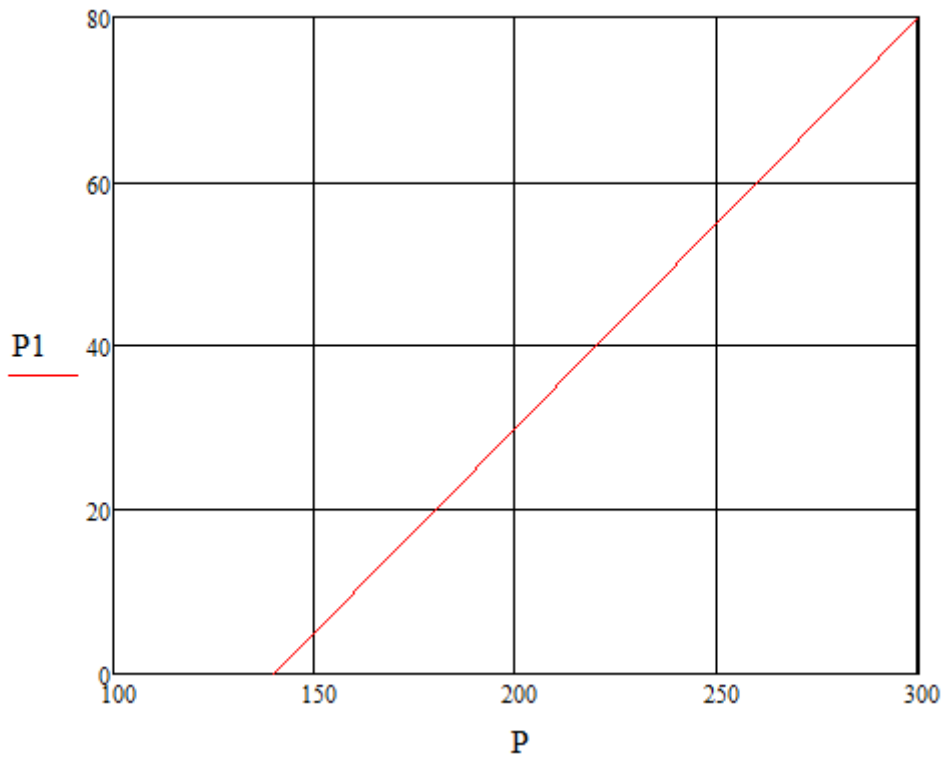


Рис.3.1 Графік залежності роботи стискання 1 кг повітря від P_1 до P_2 .

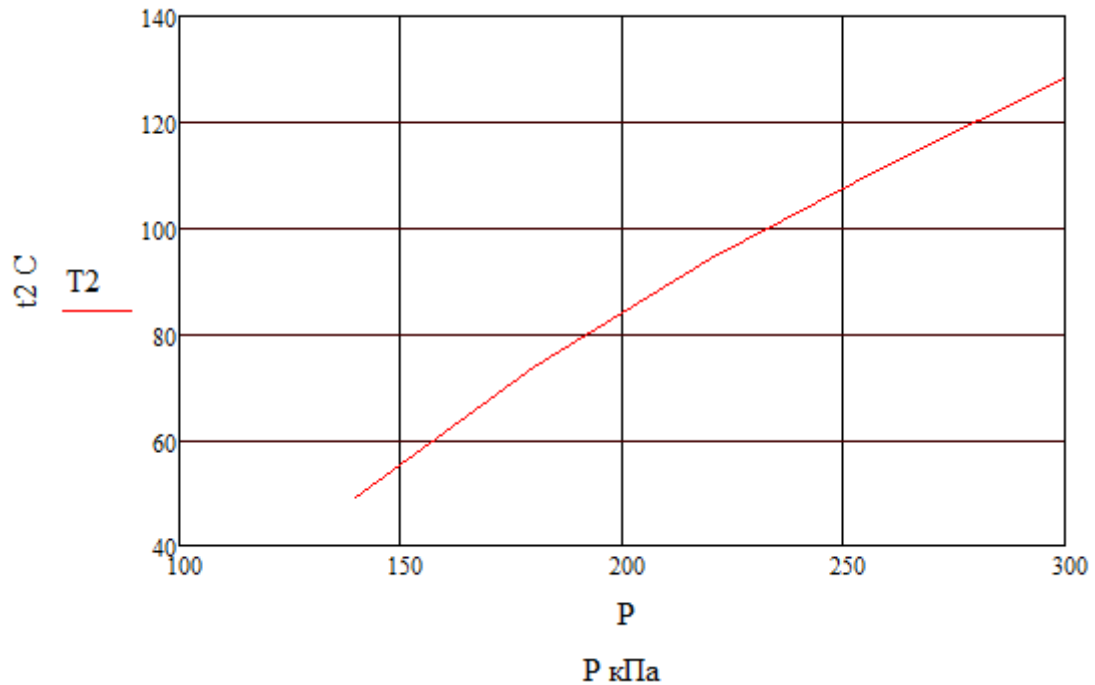


Рис.3.2 Графік залежності температури стиснутого газу від кінцевого тиску.

З них видно, що питома робота стискання і температура повітря є нелінійними функціями рівня стискання газової фази. При цьому числові

значення температур навіть за тиску 140 кПа і тим більше за 180 вказують на необхідність охолодження газових потоків, оскільки оптимальні температури життєдіяльності, наприклад, дріжджів, цукроміцетів, заходяться в межах 28...32 С.

Визначення питомих об'ємів повітря(Розрахунки виконано в програмі MathCad):

$$v_3 = v_2 \cdot T_2 / T_1$$

$$\frac{0.661 \cdot 293}{322.439} = 0.601 \quad \text{м}^3$$

$$\frac{0.553 \cdot 293}{346.829} = 0.467 \quad \text{м}^3$$

$$\frac{0.479 \cdot 293}{367.178} = 0.382 \quad \text{м}^3$$

$$\frac{0.425 \cdot 293}{385.017} = 0.323 \quad \text{м}^3$$

$$\frac{0.384 \cdot 293}{401.394} = 0.28 \quad \text{м}^3$$

Робота витрачена на підтримку тиску(Розрахунки виконано в програмі MathCad):

$$I_i = p \cdot (v_3 - v_2)$$

$$140000 \cdot (0.661 - 0.601) = 8400 \quad \text{Дж}$$

$$180000 \cdot (0.553 - 0.467) = 15480 \quad \text{Дж}$$

$$220000 \cdot (0.479 - 0.382) = 21340 \quad \text{Дж}$$

$$260000 \cdot (0.425 - 0.323) = 26520 \quad \text{Дж}$$

$$300000 \cdot (0.384 - 0.28) = 31200 \quad \text{Дж}$$

Об'єм і поверхня за сферичної форми становитимуть (Розрахунки виконано в програмі MathCad):

$$V_6 = \frac{4}{3}\pi r^3 = \frac{4}{3} * 3.14 * 0.0025^3 = 6.54 * 10^{-8} \text{ м}^3;$$

$$S_6 = \pi d^2 = 3.14 * 0.005^2 = 0.785 * 10^{-14};$$

Визначення кількості газових бульбашок і масо обмінної поверхні для зазначених умов по рівням стискання газової фази здійснимо через їх кількість, зважаючи на величини питомих об'єктів v

$$N = v_3 / V_6$$

$$\begin{array}{l} \text{при } v_3 = 0.601 \quad \text{м}^3 \\ \frac{0.601}{6.54 \cdot 10^{-8}} = 0.919 \cdot 10^7 \end{array}$$

$$\begin{array}{l} \text{при } v_3 = 0.467 \quad \text{м}^3 \\ \frac{0.467}{6.54 \cdot 10^{-8}} = 0.714 \cdot 10^7 \end{array}$$

$$\begin{array}{l} \text{при } v_3 = 0.382 \quad \text{м}^3 \\ \frac{0.382}{6.54 \cdot 10^{-8}} = 0.584 \cdot 10^7 \end{array}$$

$$\begin{array}{l} \text{при } v_3 = 0.323 \quad \text{м}^3 \\ \frac{0.323}{6.54 \cdot 10^{-8}} = 0.493 \cdot 10^7 \end{array}$$

$$\begin{array}{l} \text{при } v_3 = 0.601 \quad \text{м}^3 \\ \frac{0.28}{6.54 \cdot 10^{-8}} = 0.428 \cdot 10^7 \end{array}$$

Загальну поверхню масопередавання для всіх випадків v_3 визначаємо за формулою (Розрахунки виконано в програмі MathCad):

$$S = S_6 \cdot n_6$$

для випадку $v_3 = 0,601 \text{ м}^3$

$$0.785 \cdot 10^{-4} \cdot 0.919 \cdot 10^7 = 0.721 \cdot 10^3 \text{ м}^2$$

для випадку $v_3 = 0,467 \text{ м}^3$

$$0.785 \cdot 10^{-4} \cdot 0.714 \cdot 10^7 = 0.560 \cdot 10^3 \text{ м}^2$$

для випадку $v_3 = 0,382 \text{ м}^3$

$$0.785 \cdot 10^{-4} \cdot 0.584 \cdot 10^7 = 0.458 \cdot 10^3 \text{ м}^2$$

для випадку $v_3 = 0,323 \text{ м}^3$

$$0.785 \cdot 10^{-4} \cdot 0.493 \cdot 10^7 = 0.378 \cdot 10^3 \text{ м}^2$$

для випадку $v_3 = 0,28 \text{ м}^3$

$$0.785 \cdot 10^{-4} \cdot 0.428 \cdot 10^7 = 0.335 \cdot 10^3 \text{ м}^2$$

За відомого значення коефіцієнта поверхневого натягу $\sigma = 0,0727 \text{ Дж/м}^2$ визначаємо енергію створення між фазної поверхні для зазначених випадків (Розрахунки виконано в програмі MathCad):

для випадку $v_3 = 0,601 \text{ м}^3$ $0.0727 \cdot 0.721 \cdot 10^3 = 52.417 \text{ Дж}$

для випадку $v_3 = 0,467 \text{ м}^3$ $0.0727 \cdot 0.560 \cdot 10^3 = 40.712 \text{ Дж}$

для випадку $v_3 = 0,382 \text{ м}^3$ $0.0727 \cdot 0.458 \cdot 10^3 = 33.297 \text{ Дж}$

для випадку $v_3 = 0,323 \text{ м}^3$ $0.0727 \cdot 0.378 \cdot 10^3 = 27.481 \text{ Дж}$

для випадку $v_3 = 0,28 \text{ м}^3$ $0.0727 \cdot 0.332 \cdot 10^3 = 24.136 \text{ Дж}$

Таблиця 1. Рзрахункові данні (температури, тиску, об'єму) в системі аерації при 20 °С.

P1, кПа	P2,кПа	V1, м3	V2, м3	V3, м3	T1,К	T2,К	T2,С
100	140	0,841	0,663	0,601	293	322,44	49,28
	180		0,553	0,467		346,83	73,67
	220		0,479	0,382		367,19	94
	260		0,425	0,323		385	111,8
	300		0,384			401,4	

Розділ 3.2 Розрахунок термодинамічних параметрів в процесі аерації при 15 °С.

Початковий тиск повітря $p_1=100\text{кПа}$;

Температура $t=15\text{C}$

Кінцевий тиск приймемо з градацією 4м в.ст- $p_2= 140; 180;220;260;300$; кПа;

Початковий об'єм газової фази(Розрахунки виконано в програмі MathCad)

$$v_1=mRT/p_1$$

$$\frac{1 \cdot 287 \cdot 288.15}{100000} = 0.827 \quad \text{м}^3$$

R-газова стала;

Кінцеві об'єми визначаємо з рівня адіабати(Розрахунки виконано в програмі MathCad):

$$v_2=v_1(p_1/p_2)^{1/k}$$

$$0.827 \cdot \left(\frac{100}{140}\right)^{0.7143} = 0.65 \quad \text{м}^3$$

$$0.827 \cdot \left(\frac{100}{180}\right)^{0.7143} = 0.543 \quad \text{м}^3$$

$$0.827 \cdot \left(\frac{100}{220}\right)^{0.7143} = 0.471 \quad \text{м}^3$$

$$0.827 \cdot \left(\frac{100}{260}\right)^{0.7143} = 0.418 \quad \text{м}^3$$

$$0.827 \cdot \left(\frac{100}{300}\right)^{0.7143} = 0.377 \quad \text{м}^3$$

$\kappa=1,4$ -показники адиабати.

Кінцеві температури повітря у процесах стискання(Розрахунки виконано в програмі MathCad):

$$T_2 = p_2 v_2 / (mR)$$

$\frac{140000 \cdot 0.65}{287} = 317.073 \text{ К}$	43.92°C
$\frac{180000 \cdot 0.543}{287} = 340.557 \text{ К}$	67.407°C
$\frac{220000 \cdot 0.471}{287} = 361.045 \text{ К}$	87.89°C
$\frac{260000 \cdot 0.418}{287} = 378.676 \text{ К}$	105.5°C
$\frac{300000 \cdot 0.377}{287} = 394.077 \text{ К}$	120.9°C

Робота стискання визначається(Розрахунки виконано в програмі MathCad):

$$l = 1/\kappa - 1 \cdot (p_1 v_1 - p_2 v_2)$$

$$1/\kappa - 1 = 2.5$$

$$2.5 \cdot (100000 \cdot 0.827 - 140000 \cdot 0.65) = -20750 \text{ Дж}$$

$$2.5 \cdot (100000 \cdot 0.827 - 180000 \cdot 0.543) = -37600 \text{ Дж}$$

$$2.5 \cdot (100000 \cdot 0.827 - 220000 \cdot 0.471) = -52300 \text{ Дж}$$

$$2.5 \cdot (100000 \cdot 0.827 - 260000 \cdot 0.418) = -64950 \text{ Дж}$$

$$2.5 \cdot (100000 \cdot 0.827 - 300000 \cdot 0.377) = -76000 \text{ Дж}$$

В адіабатному процесі стискання внутрішня енергія робочого тіла зростає і чисельно дорівнює роботі стискання. Графіки, що узагальнюють наведені розрахунки наведені на рисунках 3.3 та 3.4

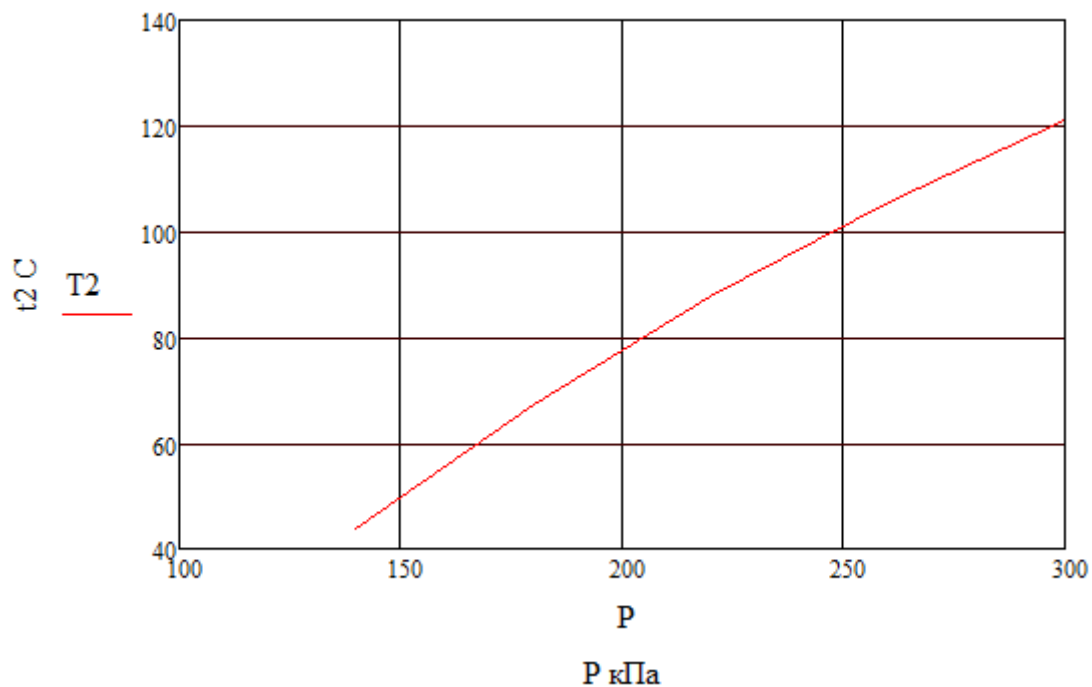


Рис.3.3 Графік залежності температури стиснутого газу від кінцевого тиску.

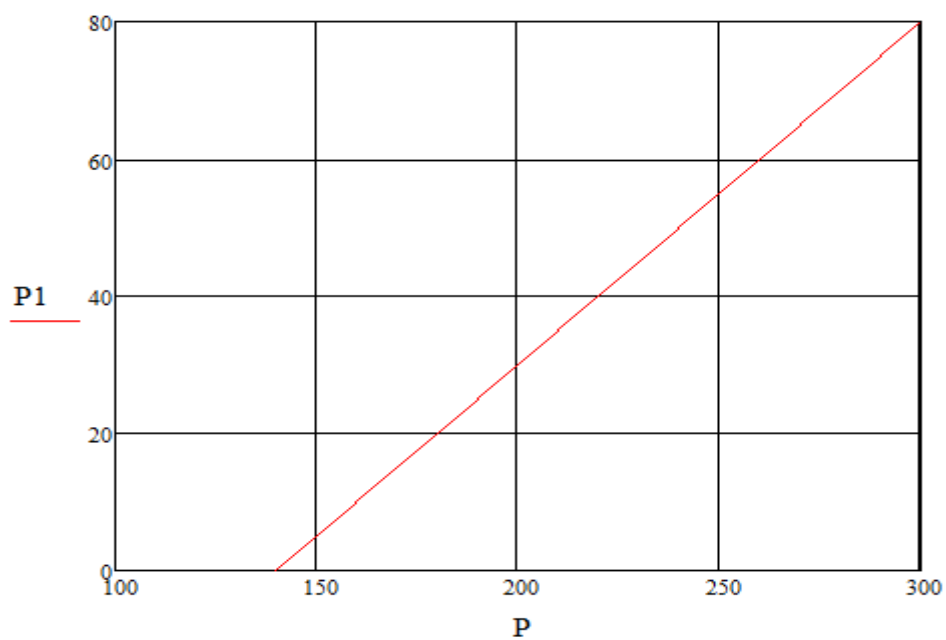


Рис3.4 Графік залежності роботи стискання 1 кг повітря від P_1 до P_2 .

Визначення питомих об'ємів повітря(Розрахунки виконано в програмі MathCad):

$$v_3 = v_2 \cdot T_2 / T_1$$

$$\frac{0.65 \cdot 288.15}{317.073} = 0.591 \quad \text{м}^3$$

$$\frac{0.553 \cdot 288.15}{340.557} = 0.468 \quad \text{м}^3$$

$$\frac{0.479 \cdot 288.15}{361.045} = 0.382 \quad \text{м}^3$$

$$\frac{0.425 \cdot 288.15}{378.676} = 0.323 \quad \text{м}^3$$

$$\frac{0.384 \cdot 288.15}{394.077} = 0.281 \quad \text{м}^3$$

Робота витрачена на підтримку тиску(Розрахунки виконано в програмі MathCad):

$$l_i = p \cdot (v_3 - v_2)$$

$$140000 \cdot (0.65 - 0.591) = 8260 \quad \text{Дж}$$

$$180000 \cdot (0.543 - 0.468) = 13500 \quad \text{Дж}$$

$$220000 \cdot (0.471 - 0.382) = 19580 \quad \text{Дж}$$

$$260000 \cdot (0.418 - 0.323) = 24700 \quad \text{Дж}$$

$$300000 \cdot (0.377 - 0.281) = 28800 \quad \text{Дж}$$

Об'єм і поверхня за сферичної форми становитимуть:

$$V_6 = \frac{4}{3}\pi r^3 = \frac{4}{3} * 3.14 * 0.0025^3 = 6.54 * 10^{-8} \text{ м}^3;$$

$$S_6 = \pi d^2 = 3.14 * 0.005^2 = 0.785 * 10^{-14};$$

Визначення кількості газових бульбашок і масо обмінної поверхні для зазначених умов по рівням стискання газової фази здійснимо через їх кількість, зважаючи на величини питомих об'єктів v (Розрахунки виконано в програмі MathCad)

$$N = v_3 / V_6$$

$$\begin{array}{l} \text{при } v_3 = 0.591 \quad \text{м}^3 \\ \frac{0.591}{6.54 \cdot 10^{-8}} = 0.903 \cdot 10^7 \end{array}$$

$$\begin{array}{l} \text{при } v_3 = 0.468 \quad \text{м}^3 \\ \frac{0.468}{6.54 \cdot 10^{-8}} = 0.715 \cdot 10^7 \end{array}$$

$$\begin{array}{l} \text{при } v_3 = 0.382 \quad \text{м}^3 \\ \frac{0.382}{6.54 \cdot 10^{-8}} = 0.584 \cdot 10^7 \end{array}$$

$$\begin{array}{l} \text{при } v_3 = 0.323 \quad \text{м}^3 \\ \frac{0.323}{6.54 \cdot 10^{-8}} = 0.493 \cdot 10^7 \end{array}$$

$$\begin{array}{l} \text{при } v_3 = 0.281 \quad \text{м}^3 \\ \frac{0.281}{6.54 \cdot 10^{-8}} = 0.429 \cdot 10^7 \end{array}$$

Загальну поверхню масопередавання для всіх випадків v_3 визначаємо за формулою (Розрахунки виконано в програмі MathCad):

$$S = S_6 \cdot n_6$$

для випадку $v_3 = 0.591 \text{ м}^3$

$$0.785 \cdot 10^{-4} \cdot 0.903 \cdot 10^7 = 0.708 \cdot 10^3 \text{ м}^2$$

для випадку $v_3 = 0.468 \text{ м}^3$

$$0.785 \cdot 10^{-4} \cdot 0.715 \cdot 10^7 = 0.561 \cdot 10^3 \text{ м}^2$$

для випадку $v_3 = 0.382 \text{ м}^3$

$$0.785 \cdot 10^{-4} \cdot 0.584 \cdot 10^7 = 0.458 \cdot 10^3 \text{ м}^2$$

для випадку $v_3 = 0.323 \text{ м}^3$

$$0.785 \cdot 10^{-4} \cdot 0.493 \cdot 10^7 = 0.378 \cdot 10^3 \text{ м}^2$$

для випадку $v_3 = 0.28 \text{ м}^3$

$$0.785 \cdot 10^{-4} \cdot 0.429 \cdot 10^7 = 0.336 \cdot 10^3 \text{ м}^2$$

За відомого значення коефіцієнта поверхневого натягу $\sigma = 0,0727 \text{ Дж/м}^2$ визначаємо енергію створення між фазної поверхні для зазначених випадків:

$$\text{для випадку } v_3 = 0.591 \text{ м}^3 \quad 0.0727 \cdot 0.708 \cdot 10^3 = 51.472 \text{ Дж}$$

$$\text{для випадку } v_3 = 0.468 \text{ м}^3 \quad 0.0727 \cdot 0.561 \cdot 10^3 = 40.785 \text{ Дж}$$

$$\text{для випадку } v_3 = 0.382 \text{ м}^3 \quad 0.0727 \cdot 0.458 \cdot 10^3 = 33.297 \text{ Дж}$$

$$\text{для випадку } v_3 = 0.323 \text{ м}^3 \quad 0.0727 \cdot 0.378 \cdot 10^3 = 27.481 \text{ Дж}$$

$$\text{для випадку } v_3 = 0.28 \text{ м}^3 \quad 0.0727 \cdot 0.336 \cdot 10^3 = 24.427 \text{ Дж}$$

Таблиця 2. Рзрахункові данні (температури, тиску, об'єму) в системі аерації при 15 °С.

P1, кПа	P2,кПа	V1, м3	V2, м3	V3, м3	T1,К	T2,К	T2,С
100	140	0,827	0,65	0,591	288,15	317,073	43,92
	180		0,543	0,468		340,55	67,407
	220		0,471	0,382		361,045	87,89
	260		0,418	0,323		378,676	105,5
	300		0,377	0,281		394,077	120,9

Розділ 3.3 Розрахунок термодинамічних параметрів в процесі аерації при 10 °С.

Початковий тиск повітря $p_1=100$ кПа;

Температура $t=10$ С (283.15 К)

Кінцевий тиск приймемо з градацією 4м в.ст- $p_2= 140; 180;220;260;300$; кПа;

Початковий об'єм газової фази(Розрахунки виконано в програмі MathCad)

$$v_1=mRT/p_1$$

$$\frac{1 \cdot 287 \cdot 283.15}{100000} = 0.813 \quad \text{м}^3$$

R-газова стала;

Кінцеві об'єми визначаємо з рівня адіабати(Розрахунки виконано в програмі MathCad):

$$v_2=v_1(p_1/p_2)^{1/k}$$

$$0.813 \cdot \left(\frac{100}{140}\right)^{0.7143} = 0.639 \quad \text{м}^3$$

$$0.813 \cdot \left(\frac{100}{180}\right)^{0.7143} = 0.534 \quad \text{м}^3$$

$$0.813 \cdot \left(\frac{100}{220}\right)^{0.7143} = 0.463 \quad \text{м}^3$$

$$0.813 \cdot \left(\frac{100}{260}\right)^{0.7143} = 0.411 \quad \text{м}^3$$

$$0.813 \cdot \left(\frac{100}{300}\right)^{0.7143} = 0.371 \quad \text{м}^3$$

$\kappa=1,4$ -показники адіабати

Кінцеві температури повітря у процесах стискання(Розрахунки виконано в програмі MathCad):

$$T_2 = p_2 v_2 / (mR)$$

$\frac{140000 \cdot 0.639}{287} = 311.707 \text{ К}$	38.57°C
$\frac{180000 \cdot 0.534}{287} = 334.913 \text{ К}$	61.763°C
$\frac{220000 \cdot 0.463}{287} = 354.913 \text{ К}$	81.763°C
$\frac{260000 \cdot 0.411}{287} = 372.334 \text{ К}$	99.184°C
$\frac{300000 \cdot 0.371}{287} = 387.805 \text{ К}$	114.655°C

Робота стискання визначається (Розрахунки виконано в програмі MathCad):

$$l = 1/k - 1 \cdot (p_1 v_1 - p_2 v_2)$$

$$1/k - 1 = 2.5$$

$$2.5 \cdot (100000 \cdot 0.813 - 140000 \cdot 0.65) = -24250 \text{ Дж}$$

$$2.5 \cdot (100000 \cdot 0.813 - 180000 \cdot 0.543) = -41100 \text{ Дж}$$

$$2.5 \cdot (100000 \cdot 0.813 - 220000 \cdot 0.471) = -55800 \text{ Дж}$$

$$2.5 \cdot (100000 \cdot 0.813 - 260000 \cdot 0.418) = -68450 \text{ Дж}$$

$$2.5 \cdot (100000 \cdot 0.813 - 300000 \cdot 0.377) = -79500 \text{ Дж}$$

В адіабатному процесі стискання внутрішня енергія робочого тіла зростає і чисельно дорівнює роботі стискання. Графіки, що узагальнюють наведені розрахунки наведені на рисунках 3.5 та 3.6

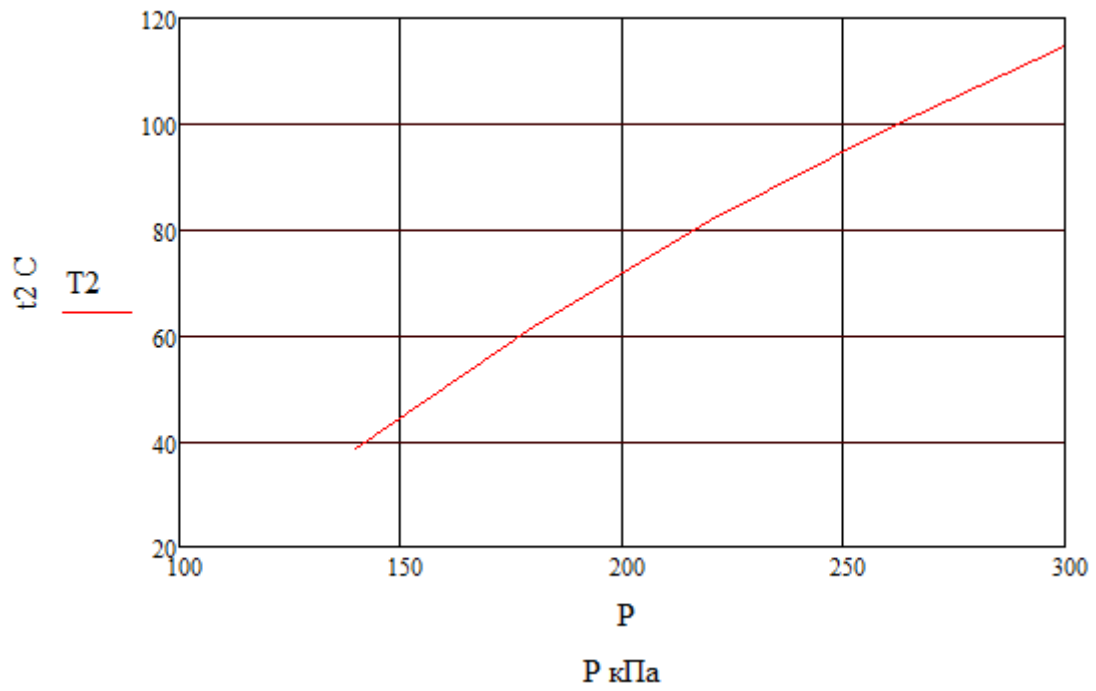


Рис3.5 Графік залежності температури стиснутого газу від кінцевого тиску

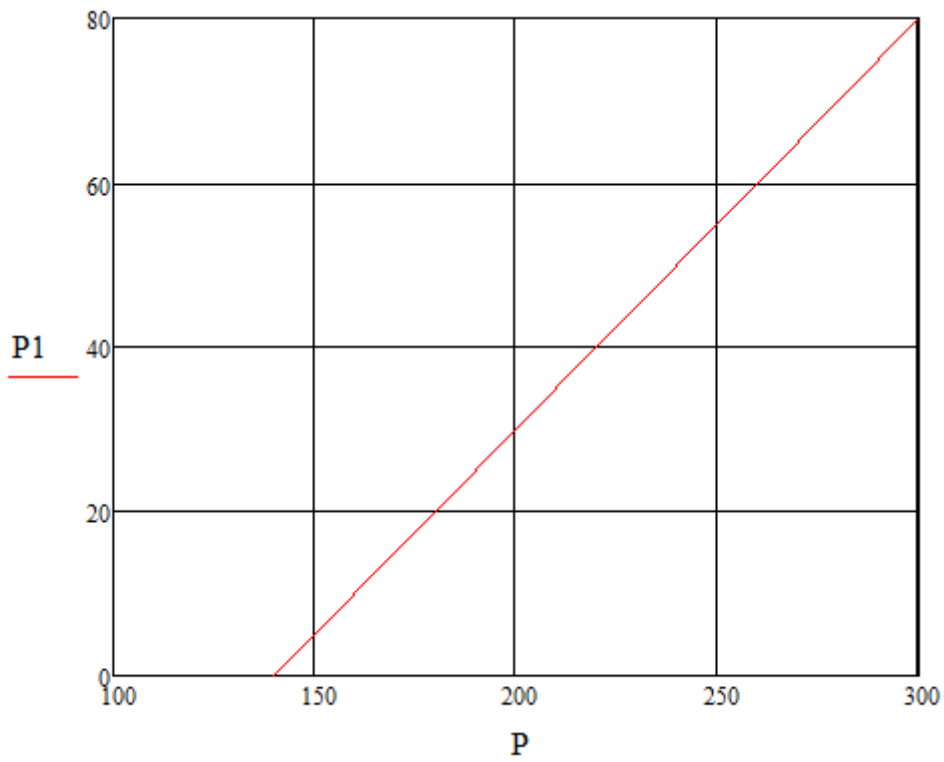


Рис3.6 Графік залежності роботи стисання 1 кг повітря від P_1 до P_2 .

Визначення питомих об'ємів повітря(Розрахунки виконано в програмі MathCad):

$$v_3 = v_2 \cdot T_2 / T_1$$

$$\frac{0.639 \cdot 283.15}{311.707} = 0.58 \quad \text{м}^3$$

$$\frac{0.534 \cdot 288.15}{334.913} = 0.459 \quad \text{м}^3$$

$$\frac{0.463 \cdot 288.15}{354.913} = 0.376 \quad \text{м}^3$$

$$\frac{0.411 \cdot 288.15}{372.334} = 0.318 \quad \text{м}^3$$

$$\frac{0.371 \cdot 288.15}{387.805} = 0.276 \quad \text{м}^3$$

Робота витрачена на підтримку тиску(Розрахунки виконано в програмі MathCad):

$$l_i = p \cdot (v_3 - v_2)$$

$$140000 \cdot (0.639 - 0.58) = 8260 \quad \text{Дж}$$

$$180000 \cdot (0.534 - 0.459) = 13500 \quad \text{Дж}$$

$$220000 \cdot (0.463 - 0.376) = 19140 \quad \text{Дж}$$

$$260000 \cdot (0.417 - 0.318) = 25740 \quad \text{Дж}$$

$$300000 \cdot (0.371 - 0.276) = 28500 \quad \text{Дж}$$

Об'єм і поверхня за сферичної форми становитимуть(Розрахунки виконано в програмі MathCad):

$$V_6 = \frac{4}{3} \pi r^3 = \frac{4}{3} \cdot 3.14 \cdot 0.0025^3 = 6.54 \cdot 10^{-8} \text{ м}^3;$$

$$S_6 = \pi d_6^2 = 3,14 * 0,005^2 = 0,785 * 10^{-14};$$

Визначення кількості газових бульбашок і масо обмінної поверхні для зазначених умов по рівням стискання газової фази здійснимо через їх кількість, зважаючи на величини питомих об'єктів v

$$N = v_3 / V_6$$

$$\begin{array}{l} \text{при } v_3 = 0.58 \quad \text{М}^3 \\ \frac{0.58}{6.54 \cdot 10^{-8}} = 0.886 \cdot 10^7 \end{array}$$

$$\begin{array}{l} \text{при } v_3 = 0.459 \quad \text{М}^3 \\ \frac{0.459}{6.54 \cdot 10^{-8}} = 0.708 \cdot 10^7 \end{array}$$

$$\begin{array}{l} \text{при } v_3 = 0.376 \quad \text{М}^3 \\ \frac{0.376}{6.54 \cdot 10^{-8}} = 0.574 \cdot 10^7 \end{array}$$

$$\begin{array}{l} \text{при } v_3 = 0.318 \quad \text{М}^3 \\ \frac{0.318}{6.54 \cdot 10^{-8}} = 0.486 \cdot 10^7 \end{array}$$

$$\begin{array}{l} \text{при } v_3 = 0.276 \quad \text{М}^3 \\ \frac{0.276}{6.54 \cdot 10^{-8}} = 0.422 \cdot 10^7 \end{array}$$

Загальну поверхню масопередавання для всіх випадків v_3 визначаємо за формулою (Розрахунки виконано в програмі MathCad):

$$S = S_6 \cdot n_6$$

для випадку $v_3 = 0.58 \quad \text{м}^3$

$$0.785 \cdot 10^{-4} \cdot 0.886 \cdot 10^7 = 0.695 \cdot 10^3 \quad \text{м}^2$$

для випадку $v_3 = 0.459 \quad \text{м}^3$

$$0.785 \cdot 10^{-4} \cdot 0.708 \cdot 10^7 = 0.555 \cdot 10^3 \quad \text{м}^2$$

для випадку $v_3 = 0.376 \quad \text{м}^3$

$$0.785 \cdot 10^{-4} \cdot 0.574 \cdot 10^7 = 0.450 \cdot 10^3 \quad \text{м}^2$$

для випадку $v_3 = 0.318 \quad \text{м}^3$

$$0.785 \cdot 10^{-4} \cdot 0.486 \cdot 10^7 = 0.381 \cdot 10^3 \quad \text{м}^2$$

для випадку м^3
 $v_3 = 0.276$

$$0.785 \cdot 10^{-4} \cdot 0.422 \cdot 10^7 = 0.331 \cdot 10^3 \quad \text{м}^2$$

За відомого значення коефіцієнта поверхневого натягу $\sigma=0,0727\text{Дж/м}^2$ визначаємо енергію створення між фазної поверхні для зазначених випадків(Розрахунки виконано в програмі MathCad):

для випадку $v_3=0,58 \text{ м}^3$ $0,0727 \cdot 0,695 \cdot 10^3 = 50,526 \text{ Дж}$

для випадку $v_3=0,459 \text{ м}^3$ $0,0727 \cdot 0,555 \cdot 10^3 = 40,349 \text{ Дж}$

для випадку $v_3=0,376 \text{ м}^3$ $0,0727 \cdot 0,450 \cdot 10^3 = 32,715 \text{ Дж}$

для випадку $v_3=0,318 \text{ м}^3$ $0,0727 \cdot 0,381 \cdot 10^3 = 27,699 \text{ Дж}$

для випадку $v_3=0,276 \text{ м}^3$ $0,0727 \cdot 0,331 \cdot 10^3 = 24,064 \text{ Дж}$

Таблиця3. Рзрахункові данні (температури, тиску, об'єму) в системі аерації при 10 °С.

P1, кПа	P2,кПа	V1, м3	V2, м3	V3, м3	T1,К	T2,К	T2,С
100	140	0,813	0,639	0,58	283,15	311,707	38,57
	180		0,534	0,459		334,913	61,763
	220		0,463	0,376		354,913	81,763
	260		0,411	0,318		372,334	99,184
	300		0,371	0,276		387,805	114,655

Розділ 3.4 Розрахунок термодинамічних параметрів в процесі аерації при температурі 5 °С.

Початковий тиск повітря $p_1 = 100 \text{ кПа}$;

Температура $t = 5 \text{ C}$ (278.15 K)

Кінцевий тиск приймемо з градацією 4м в.ст- $p_2 = 140; 180; 220; 260; 300$; кПа;

Початковий об'єм газової фази (Розрахунки виконано в програмі MathCad)

$$v_1 = mRT/p_1$$

$$\frac{1 \cdot 287 \cdot 278.15}{100000} = 0.798 \text{ м}^3$$

R-газова стала;

Кінцеві об'єми визначаємо з рівня адіабати (Розрахунки виконано в програмі MathCad):

$$v_2 = v_1 (p_1/p_2)^{1/k}$$

$$0.798 \cdot \left(\frac{100}{140}\right)^{0.7143} = 0.628 \text{ м}^3$$

$$0.798 \cdot \left(\frac{100}{180}\right)^{0.7143} = 0.524 \text{ м}^3$$

$$0.798 \cdot \left(\frac{100}{220}\right)^{0.7143} = 0.454 \text{ м}^3$$

$$0.798 \cdot \left(\frac{100}{260}\right)^{0.7143} = 0.403 \text{ м}^3$$

$$0.798 \cdot \left(\frac{100}{300}\right)^{0.7143} = 0.364 \text{ м}^3$$

Кінцеві температури повітря у процесах стискання(Розрахунки виконано в програмі MathCad):

$$T_2 = p_2 v_2 / (mR)$$

$\frac{140000 \cdot 0.628}{287} = 306.341 \text{ К}$	33.191°C
$\frac{180000 \cdot 0.524}{287} = 328.641 \text{ К}$	55.491°C
$\frac{220000 \cdot 0.454}{287} = 348.014 \text{ К}$	74.864°C
$\frac{260000 \cdot 0.403}{287} = 365.087 \text{ К}$	91.934°C
$\frac{300000 \cdot 0.364}{287} = 380.488 \text{ К}$	107.338°C

Робота стискання визначається(Розрахунки виконано в програмі MathCad):

$$l = 1/k - 1 \cdot (p_1 v_1 - p_2 v_2)$$

$$1/k - 1 = 2.5$$

$$2.5 \cdot (100000 \cdot 0.827 - 140000 \cdot 0.628) = -13050 \text{ Дж}$$

$$2.5 \cdot (100000 \cdot 0.827 - 180000 \cdot 0.524) = -29050 \text{ Дж}$$

$$2.5 \cdot (100000 \cdot 0.827 - 220000 \cdot 0.454) = -42950 \text{ Дж}$$

$$2.5 \cdot (100000 \cdot 0.827 - 260000 \cdot 0.403) = -55200 \text{ Дж}$$

$$2.5 \cdot (100000 \cdot 0.827 - 300000 \cdot 0.364) = -66250 \text{ Дж}$$

В адіабатному процесі стискання внутрішня енергія робочого тіла зростає і чисельно дорівнює роботі стискання. Графіки, що узагальнюють наведені розрахунки наведени на рисунках 3.7 та 3.8

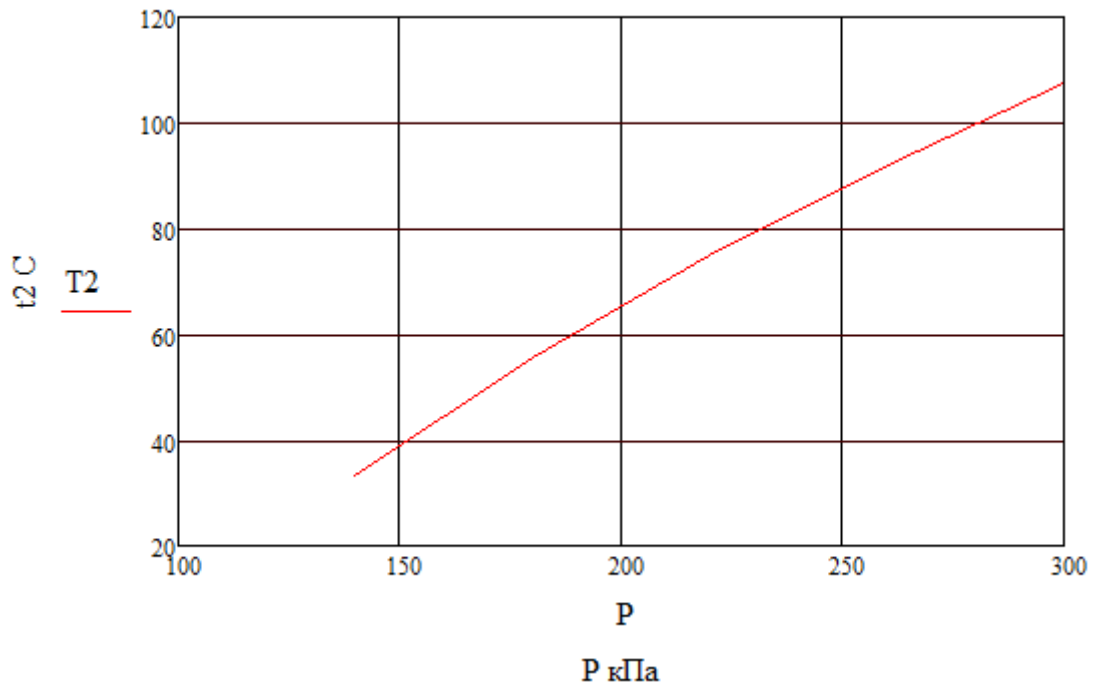


Рис.7 Графік залежності температури стиснутого газувід кінцевого тиску

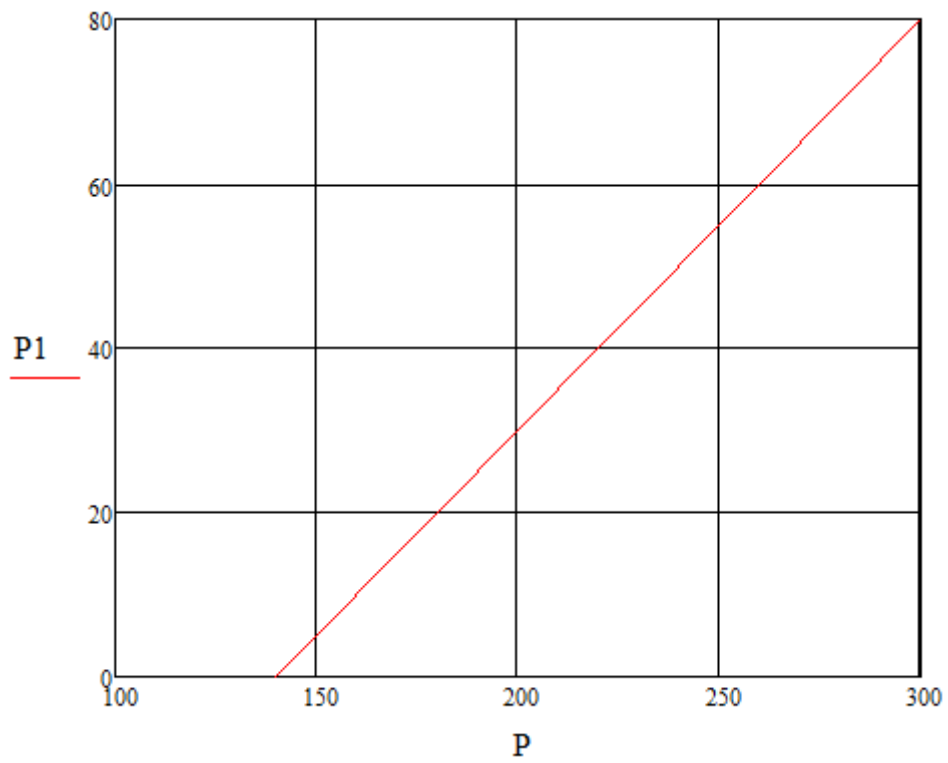


Рис.8 Графік залежності роботи стискання 1 кг повітря від P_1 до P_2 .

Визначення питомих об'ємів повітря(Розрахунки виконано в програмі MathCad):

$$v_3 = v_2 \cdot T_2 / T_1$$

$$\frac{0.628 \cdot 278.15}{306.341} = 0.57 \quad \text{м}^3$$

$$\frac{0.524 \cdot 278.15}{328.641} = 0.443 \quad \text{м}^3$$

$$\frac{0.454 \cdot 278.15}{348.014} = 0.363 \quad \text{м}^3$$

$$\frac{0.403 \cdot 278.15}{365.087} = 0.307 \quad \text{м}^3$$

$$\frac{0.364 \cdot 278.15}{380.488} = 0.266 \quad \text{м}^3$$

Робота витрачена на підтримку тиску:

$$l_i = p \cdot (v_3 - v_2)$$

$$140000 \cdot (0.628 - 0.57) = 8120 \quad \text{Дж}$$

$$180000 \cdot (0.524 - 0.443) = 14580 \quad \text{Дж}$$

$$220000 \cdot (0.454 - 0.363) = 20020 \quad \text{Дж}$$

$$260000 \cdot (0.403 - 0.307) = 24960 \quad \text{Дж}$$

$$300000 \cdot (0.364 - 0.266) = 29400 \quad \text{Дж}$$

Об'єм і поверхня за сферичної форми становитимуть(Розрахунки виконано в програмі MathCad):

$$V_6 = \frac{4}{3} \pi r^3 = \frac{4}{3} \cdot 3.14 \cdot 0.0025^3 = 6.54 \cdot 10^{-8} \text{ м}^3;$$

$$S_6 = \pi d^2 = 3.14 \cdot 0.005^2 = 0.785 \cdot 10^{-14};$$

Визначення кількості газових бульбашок і масо обмінної поверхні для зазначених умов по рівням стискання газової фази здійснимо через їх кількість, зважаючи на величини питомих об'єктів v

$$N = v^3 / V_6$$

$$\begin{array}{l} \text{при } v^3 = 0.57 \quad \text{м}^3 \\ \frac{0.57}{6.54 \cdot 10^{-8}} = 0.871 \cdot 10^7 \end{array}$$

$$\begin{array}{l} \text{при } v^3 = 0.443 \quad \text{м}^3 \\ \frac{0.443}{6.54 \cdot 10^{-8}} = 0.677 \cdot 10^7 \end{array}$$

$$\begin{array}{l} \text{при } v^3 = 0.363 \quad \text{м}^3 \\ \frac{0.363}{6.54 \cdot 10^{-8}} = 0.555 \cdot 10^7 \end{array}$$

$$\begin{array}{l} \text{при } v^3 = 0.307 \quad \text{м}^3 \\ \frac{0.307}{6.54 \cdot 10^{-8}} = 0.469 \cdot 10^7 \end{array}$$

$$\begin{array}{l} \text{при } v^3 = 0.266 \quad \text{м}^3 \\ \frac{0.266}{6.54 \cdot 10^{-8}} = 0.406 \cdot 10^7 \end{array}$$

Загальну поверхню масопередавання для всіх випадків v_3 визначаємо за формулою (Розрахунки виконано в програмі MathCad):

$$S = S_6 \cdot n_6$$

для випадку $v_3 = 0.57 \quad \text{м}^3$

$$0.785 \cdot 10^{-4} \cdot 0.871 \cdot 10^7 = 0.683 \cdot 10^3 \quad \text{м}^2$$

для випадку $v_3 = 0.443 \quad \text{м}^3$

$$0.785 \cdot 10^{-4} \cdot 0.677 \cdot 10^7 = 0.531 \cdot 10^3 \quad \text{м}^2$$

для випадку $v_3 = 0.363 \quad \text{м}^3$

$$0.785 \cdot 10^{-4} \cdot 0.555 \cdot 10^7 = 0.435 \cdot 10^3 \quad \text{м}^2$$

для випадку $v_3 = 0.307 \quad \text{м}^3$

$$0.785 \cdot 10^{-4} \cdot 0.469 \cdot 10^7 = 0.368 \cdot 10^3 \quad \text{м}^2$$

для випадку $v_3 = 0.266 \quad \text{м}^3$

$$0.785 \cdot 10^{-4} \cdot 0.406 \cdot 10^7 = 0.318 \cdot 10^3 \quad \text{м}^2$$

За відомого значення коефіцієнта поверхневого натягу $\sigma=0,0727\text{Дж/м}^2$ визначаємо енергію створення між фазної поверхні для зазначених випадків(Розрахунки виконано в програмі MathCad):

$$\text{для випадку } v_3=0,591 \text{ м}^3 \quad 0,0727 \cdot 0,683 \cdot 10^3 = 49,654 \text{ Дж}$$

$$\text{для випадку } v_3=0,468 \text{ м}^3 \quad 0,0727 \cdot 0,531 \cdot 10^3 = 38,604 \text{ Дж}$$

$$\text{для випадку } v_3=0,382 \text{ м}^3 \quad 0,0727 \cdot 0,435 \cdot 10^3 = 31,625 \text{ Дж}$$

$$\text{для випадку } v_3=0,323 \text{ м}^3 \quad 0,0727 \cdot 0,368 \cdot 10^3 = 26,754 \text{ Дж}$$

$$\text{для випадку } v_3=0,28 \text{ м}^3 \quad 0,0727 \cdot 0,318 \cdot 10^3 = 23,119 \text{ Дж}$$

Таблиця4. Рзрахункові данні (температури, тиску, об'єму) в системі аерації при 5 °С.

P1, кПа	P2,кПа	V1, м3	V2, м3	V3, м3	T1,К	T2,К	T2,С
100	140	0,798	0,628	0,57	278,15	306,341	33,191
	180		0,524	0,443		328,641	55,491
	220		0,454	0,363		348,014	74,864
	260		0,403	0,307		365,087	91,934
	300		0,364	0,266		380,488	107,338

Висновки:

- 1.Механічні впливи на газорідні середовища оцінюються як перспективний напрямок інтенсифікації процесів стосовно мікробіологічних та харчових технологій, в яких використовуються мікроорганізми, у зв'язку з відсутністю хімічних трансформацій .
- 2.Аеробні та анаеробні процеси бродіння регламентуються розчиненого кисню, який є так званним балансом між швидкістю споживання і розчинення O_2 в культурних середовищах.
- 3.Доцільним є використання замкнутих систем аерації з підвищеними тисками і рециркуляцією газових потоків.
- 4.Показано, що перехід культурних середовищ з висоти 4м на висоту 8 метрів за атмосферних тисків 10м в.ст. збільшує середній тиск в середовищі на 26% а насичення кисню на 14%. При цьому за інших рівних умов енергетичні витрати під час процесу аерації подвоюються.

Список використаної літератури

1. Beer 101: The Fundamental Steps of Brewing [Електронний ресурс] // Editorial dept. – 2016. – Режим доступу до ресурсу: <https://beerconnoisseur.com/articles/beer-101-fundamental-steps-brewing>.
2. Beer & Ale. Всѣ о пиве и эле [Електронний ресурс] – Режим доступу до ресурсу: <http://www.beerale.ru/pivnye-komponenty.html>.
3. Виноделие как искусство [Електронний ресурс]. – 2001. – Режим доступу до ресурсу: <http://wine.historic.ru/>.
4. Вольфганг К. Технологія солоду та пива / Кунце Вольфганг. – м. Гамбург, 2001.
5. Агромаш [Електронний ресурс]. – 2007. – Режим доступу до ресурсу: http://www.agro-mash.ru/00204_zatorn_chan.html
6. Температурні паузи при затиранні солоду для пива [Електронний ресурс] – Режим доступу до ресурсу: <https://kraspivo.ru/temperaturnyiepauzyi-pri-zatiranii-soloda-dlya-piva/>.
7. Брожение пива [Електронний ресурс]. – 2017. – Режим доступу до ресурсу: <http://www.homedistiller.ru/faq-brojenie-piva.htm>
8. Технология кипячения сусла в пивоварении [Електронний ресурс]. – 2019. – Режим доступу до ресурсу: <http://www.comodity.ru/beer/beerwort/18.html/>
9. Брожение пива [Електронний ресурс]. – 2017. – Режим доступу до ресурсу: <http://www.homedistiller.ru/faq-brojenie-piva.htm>.
10. Галяс, В.Л. Біохімічний і біотехнологічний словник [Текст] / В.Л. Галяс, А.Г. Колотницький. – Л.: Оріяна-Нова, 2006. – 468 с.
11. Бирюков, В.В. Основы промышленной биотехнологии [Текст]: учеб. пособие для студ. высш. учеб. завед. / В.В. Бирюков. – М.: КолосС, 2004. – 296 с.

12. Інтенсифікація енерго-масообмінних процесів в культуральних середовищах бродильних і мікробіологічних виробництв: монографія / А.І. Соколенко, О.Ю. Шевченко, К.В. Васильківський, О.І. Степанець, В.С. Костюк, О.О. Бойко, І.Ф. Максименко. Київ: Видавничий дім «Кондор», 2018. – 212 с.
13. Басок Б.И., Шурчкова Ю.А. Вакуумная гомогенизация водно-жировых эмульсий / / Докл. Международной конф. «Тепло- и массообмена в технологических процессах». — Юрмала, 1991. — С. 250.
14. Беккер М.Е. Введение в биотехнологию. — М.: Пищевая пром-сть. — 1978. с. 231.
3. Гандзюк М.П. Совершенствование процесса культивирования хлебопекарных дрожжей и его аппаратурного оформления. — Дисс. на соиск. ученой ст. д.т.н., К. — 1984. — 485 с.
15. Дубінін О.О., Переяславцев О.М., Тахістова Г.О. Визначення динамічних параметрів висхідних потоків газорідної суміші у шарі рідини / / Харчова промисловість. — К.: НУХТ, — 2003. — № 3. — с. 92-94.
16. Дубінін О.О., Переяславцев О.М., Тахістова Г.О. Визначення швидкості внутрішньої циркуляції робочого середовища в ерліфтних апаратах / / Харчова промисловість. — К.: НУХТ, — 2003. — № 2. с. 91-92.
17. Тахістова Г.О., Аністратенко В.О., Дубінін О.О. Аналітичне визначення мінімального швидкісного напору газової фази, при якому відбувається розрив вільної поверхні шару рідини / / Наукові праці УДУХТ. — К.: УДУХТ. — 1998. — № 4. — С. 20-21.
18. Соколенко А.І. Енергоматеріальні трансформації в харчових технологіях на основі замкнутих контурів : монографія / А.І. Соколенко, В.А. Піддубний, А.О. Чагайда. – Київ : Кондор, 2015. – 300 с.

19.Енергетичні трансформації і енергозбереження в харчових технологіях : монографія / А.І. Соколенко, А.А. Мазаракі, В.А. Піддубний, О.Ю. Шевченко та ін. – Київ : Фенікс, 2012. – 484 с.

20.Енергоматеріальні потоки харчових і мікробіологічних виробництв : монографія / А.І. Соколенко, В.А. Піддубний, К.В. Васильківський, І.Ф. Максименко та ін. – Київ : Кондор, 2016. – 326 с.

21.Інтенсифікація енерго-масообмінних процесів в культуральних середовищах бродильних і мікробіологічних виробництв : монографія / А.І. Соколенко, О.Ю. Шевченко, К.В. Васильківський, О.І. Степанець та ін. – Київ : Кондор, 2018. – 212 с.