МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
ТАВРІЙСЬКИЙ ДЕРЖАВНИЙ АГРОТЕХНОЛОГІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
ІМЕНІ ДМИТРА МОТОРНОГО
Механіко-технологічний факультет

Кафедра ОПХВ ім. проф. Ф.Ю. Ялпачика

ГІДРОДИНАМІЧНІ КАВІТАЦІЙНІ ПРИСТРОЇ ДЛЯ ОБРОБКИ ХАРЧОВИХ СЕРЕДОВИЩ

методичні вказівки до лабораторної роботи з дисципліни
" Інноваційні технології та обладнання галузі "
для студентів денної та заочної форми навчання
спеціальності 133 «Галузеве машинобудування»
здобувачів ступеня вищої освіти «Магістр»

Мелітополь, 2020

Гідродинамічні кавітаційні пристрої для обробки харчових середовищ. Методичні вказівки для студентів, які навчаються за спеціальністю 133 «Галузеве машинобудування», здобувачів ступеня вищої освіти «Магістр» – Таврійський державний агротехнологічний університет імені Дмитра Моторного, 2020 - 19 с

Розробники: к.т.н., доцент Паляничка Н.О.
к.т.н., ст. викл. Верхоланцева В.О.

Рецензент: доктор технічних наук, професор кафедри МЕЗ Волошина А.А.

Розглянуто та рекомендовано до друку на засіданні кафедри ОПХВ ім. проф. Ф.Ю. Ялпачика
Протокол № від 2020 р.

Методичні вказівки затверджені методичною радою факультету МТ
Протокол № від 2020 р.

ЛАБОРАТОРНА РОБОТА
ГІДРОДИНАМІЧНІ КАВІТАЦІЙНІ ПРИСТРОЇ ДЛЯ ОБРОБКИ ХАРЧОВИХ СЕРЕДОВИЩ

Мета роботи: отримання знань з призначення, будови, роботи та розрахунку гідродинамічних кавітаційних пристроїв для обробки харчових середовищ. Провести експериментальну перевірку процесу гомогенізації з застосуванням кавітаційних пристроїв.

Час виконання роботи 4 год.

1 Порядок виконання роботи

- розглянути будову та принцип дії основних конструкцій пристроїв, у яких використовують явище кавітації при обробці харчових середовищ;
- ознайомитись з будовою та регулюванням лабораторної установки для гідродинамічної гомогенізації рідких середовищ;
- провести експериментальні дослідження процесу гомогенізації при різних режимах роботи лабораторної установки;
- провести статистичний аналіз результатів експерименту;
- сформулювати висновки за результатами роботи.

2 Завдання для самопідготовки

У процесі підготовки до заняття студент повинен:

- ***вивчити:*** 1) класифікацію кавітаційних пристроїв для обробки харчових середовищ; 2) пристрої для використання явища кавітації у хлібопекарній, кондитерській та м'ясопереробній промисловості, виробництві соків і молочної продукції;
- ***знати:*** 1) сутність кавітації, її використання при обробці рідких продуктів, область застосування цього процесу на переробних і харчових підприємствах; 2) призначення, принцип дії і будову різних типів та конструкцій пристроїв для кавітаційної обробки харчових середовищ;
- ***вміти:*** проводити налаштування лабораторної установки, користуватися контрольно-вимірювальними приладами, проводити експерименти за темою дослідження, проводити аналіз результатів експерименту.

3 Теоретичні відомості

3.1 Кавітація і її використання у галузях харчового виробництва

Кавітація – фізичне явище, яке виникає при місцевому порушенні суцільності течії з виникненням парових і газових бульбашок (каверн), що

зумовлюються місцевим зниженням тиску і підвищенням швидкості в потоці рідини. Перемішуюча, диспергуюча, гомогенізуюча, а також ерозійна дія кавітації є наслідком значної кількості одиничних силових впливів колапсуючих кавітаційних порожнин (або бульбашок), енергетичний потенціал яких надзвичайно високий.

Кавітаційні порожнини – каверни або бульбашки виникають у тих місцях, де тиск у рідині стає нижчим за певний критичний. При зниженні тиску за рахунок збільшення локальних швидкостей рідинного потоку виникає кавітація, яка називається гідродинамічною. Якщо зниження тиску обумовлене проходженням акустичних хвиль звукового або ультразвукового спектру частот коливань – кавітація вважається акустичною.

Однак, впровадження технологій і обладнання з використанням ультразвуку майже в усіх галузях промисловості загальмувало використання гідродинамічної кавітації для обробки харчових середовищ. У той же час, гідродинамічні кавітаційні пристрої мають у порівнянні з ультразвуковими суттєві переваги.

Процес кавітаційної дії пов’язаний, в основному, з утворенням мікрострумків високого енергетичного потенціалу, які виникають у заключній стадії захлопування кавітаційних бульбашок і впливають на поверхню розподілу фаз.

Захлопування бульбашок на границі розподілу фаз „рідина-тверді частинки“ супроводжується диспергуванням цих частинок у рідині з утворенням суспензії, а в системі „рідина-рідина“ – диспергуванням однієї рідини в іншій з утворенням емульсії. В обох випадках відбувається руйнування границі розподілу фаз, тобто її ерозія, і утворення гомогенної суміші.

У молочній промисловості для підвищення якості молока та його терміну зберігання до його переробки доцільно гомогенізувати сировину, використовуючи кавітаційні пристрої.

Після кавітаційної обробки молока і вершків переважний діаметр жирових кульок становить 1,5...2,0 мкм, зменшується відстій жиру, підвищується відносна в'язкість продукту.

Використання ультразвукового диспергування сировини в виробництві соків дозволило майже на 30% скоротити тривалість виробничого циклу, підвищити вихід соку і поліпшити його якість. При виробництві продуктів для дитячого харчування одержували суміш з переважним розміром частинок до 2 мкм.

Для обробки рідких і пюреподібних фруктових та овочевих продуктів використовується апарат РЗ-КІК, який дозволяє подрібнювати частинки

м’якоті до 20...30 мкм при продуктивності до 10 т/год. і питомих енерговитратах до 2,2 кВт·год/т. Його використання при обробці консервів дитячого харчування дає позитивний ефект у порівнянні з традиційними методами: в готовому продукті кількість частинок м’якоті з розмірами 50...90 мкм збільшилась до 50%.

Процес обробки відбувається ефективніше при додатковій дії гідродинамічної кавітації на середовище за допомогою динамічного кавітатора, що дозволяє подрібнювати частки м’якоті до 5 мкм, підвищити вихід соку на 10...15%, зменшити питомі витрати енергії на 16...20%.

Обробка рослинної сировини за допомогою гідродинамічної кавітації дозволяє одержувати продукти з певним дисперсним складом; при цьому майже повністю зберігаються вітаміни, амінокислоти і інші поживні речовини, скорочуються і спрощуються деякі технологічні процеси, наприклад, виробництво пектину.

Позитивні результати дало використання гідродинамічної кавітаційної обробки дифузійного соку при попередній дефекації у цукровій промисловості, а також у супутніх операціях, наприклад, активації вапняної суспензії.

У хлібопекарній промисловості ультразвукові пристрої використовуються при одержанні стійких емульсій для цукрового печива, дрібнодисперсних жирових емульсій для хлібобулочних виробів. інтенсифікації приготування рідкої фази при двофазному тістоприготуванні.

Встановлено, що кавітаційне диспергування дріжджів на 15...18 % підвищує їх бродильну енергію і ферментативну активність, збільшує на 45...60 % вихід ергостеролу (провітаміну вітаміну D2), час бродіння скорочується з 3,5 годин до 1,5...2 годин, а кількість дріжджових клітин збільшується в 1,5 рази. Приготування жирових емульсій для змащування хлібопекарних листів і форм на 50...70% скорочує витрати жиру без погіршення якості виробів.

Позитивні результати одержані при використанні ультразвукової кавітації у виробництві кондитерських виробів.

Гідродинамічні кавітаційні пристрої використовуються, наприклад, при приготуванні напівфабрикатів з борошна. Кавітаційний змішувач для обробки кондитерських сумішей дозволяє диспергувати компоненти суміші з її одночасним аеруванням. Обробка кукурудзяної кашки в гідродинамічному пристрої для вивільнення зв’язаного крохмалю дозволила збільшити його вихід на 0,3% завдяки підвищенню інтенсивності процесу.

Застосування гідродинамічних пристроїв роторного типу в м’ясній промисловості для одержання емульсій тваринних жирів дозволяє одержувати не

тільки суміші з переважним вмістом дрібнодисперсної фази з розмірами до 2,5 мкм, але й зменшити питомі витрати енергії майже у 3 рази.

Емульсії тваринних жирів, одержані за допомогою ультразвукових пристроїв, містять більше 96% жирних кульок розміром до 2 мкм, не розшаровуються протягом трьох місяців і використовуються при виробництві ковбас.

Аналіз наявної науково-технічної інформації, а також досвід використання кавітаційних пристроїв у харчовій промисловості дозволяє стверджувати, що з усіх відомих видів гідромеханічної дії на оброблювані середовища кавітаційна дія найбільш ефективна. В останні роки саме така обробка харчових середовищ стала основою розвитку цілого напрямку в промисловості.

3.2 Огляд конструкцій гідродинамічних кавітаційних пристроїв

Кавітаційні пристрої знайшли практичне відображення у конструктивному рішенні гідродинамічних кавітаційних пристроїв, у яких вирішується задача забезпечення багаторазової дії кавітації, локалізованій в одному пристрої.

Кавітаційний змішувач (рисунок 1) містить циліндричну проточну камеру 1, у якій встановлено кавітатор у формі двох напівсфер 2 і 3. Напівсфери кавітатора обернені одна до другої основами і мають можливість взаємного переміщення уздовж осі реактора. На внутрішній поверхні робочої камери 1 між основами напівсфер 2 і 3 виконана проточка 4. Зазор між основами напівсфер, як і проточка на внутрішній поверхні робочої камери, є джерелом утворення пульсуючих приєднаних кавітаційних каверн, які формують зону нестаціонарності потоку в усьому прохідному перерізі робочої камери пристрою.

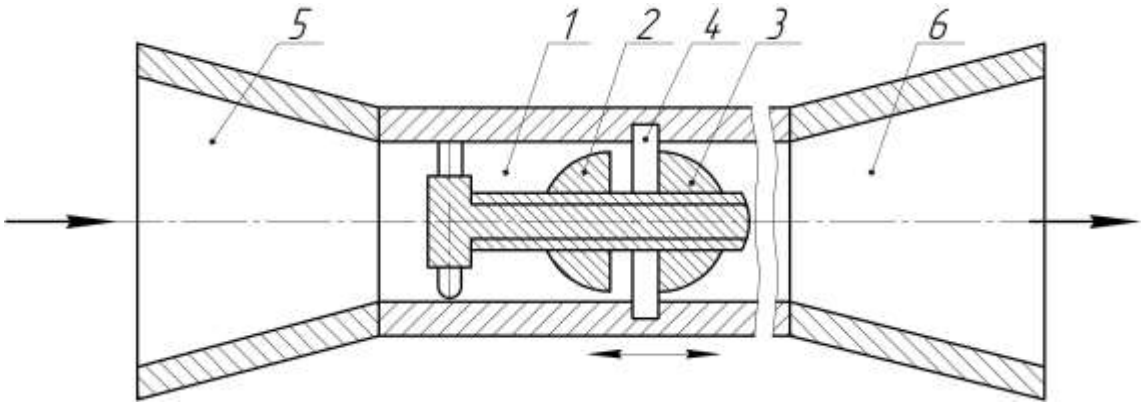

Рисунок 1 – Кавітаційний змішувач:

1 - проточна камера 2, 3 - напівсфери кавітатора;4 - проточка; 5 - конфузор; 6 – дифузор.

Коли напівсфери кавітатора встановлені без зазору (зазор дорівнює нулю), генератором пульсуючих каверн буде проточка.

Приєднані каверни, що переміщуються у потоці, будуть утворюватись і за встановленим у робочій камері кавітатором. У цьому випадку енергетичний потенціал утвореного кавітаційного поля буде найменшим, отже, ударно-хвильовий вплив на середовище буде відносно невисоким

При відстані між напівсферами кавітатора 2...5 діаметри його більшої основи, пульсуючі каверни будуть виникати як у самому зазорі між напівсферами. так і в проточці на внутрішній поверхні робочої камери. Зміненням ширини зазору між напівсферами можна досягти оптимального співвідношення різночастотних пульсацій і розмірів приєднаних кавітаційних каверн з частотою відриву каверн, що переміщуються, при їх утворенні за другою за ходом потоку напівсферою.

Підведення у зону обробки додаткових кавітаційних бульбашок разом зі збільшенням частоти відриву каверн підвищує енергетичний потенціал кавітаційного поля і дозволяє більш раціонально використовувати ударно-хвильову активність бульбашок при кавітаційній обробці харчових середовищ.

При ширині зазору між напівсферами кавітатора понад 5 діаметрів їх більшої основи на кожній з напівсфер кавітатора будуть утворюватись різні типи кавітації.

За першою напівсферою. більша основа якої знаходиться у зоні максимальних тисків, кавітаційна каверна виникає на границі зони відриву потоку, тобто, утворюється вихрова кавітація. На відміну від каверн, які переміщуються, вихрові каверни мають більший „час життя“ через те, що вихорі створюють імпульс (момент кількості руху), який продовжує „час життя“ каверни навіть тоді, коли маса середовища, що обробляється, вже перемістилась у зону підвищеного тиску.

Очевидно, що швидкість розпаду вихрових каверн і тиск при їх захлопуванні відносно невисокі в порівнянні з кавернами, які переміщуються. Ефект ударно-хвильового дії посилюється через розпад утворених в проточці приєднаних кавітаційних каверн і подальше захлопування кавітаційних бульбашок. Крім того, ці каверни інтенсифікують розпад вихрових каверн, підвищуючи енергетичний потенціал кавітаційного поля, яке в цьому випадку найбільш інтенсивне.

Таким чином, регулюванням зазору між основами напівсфер. можна вибрати оптимальну ефективність ударно-хвильової дії кавітації відповідно до конкретних технологічних потреб.

У конструктивному рішенні проточно-кавітаційного змішувача (рисунок 2) передбачається можливість створення кількох послідовних кавітаційних зон обробки середовища в одному пристрої.

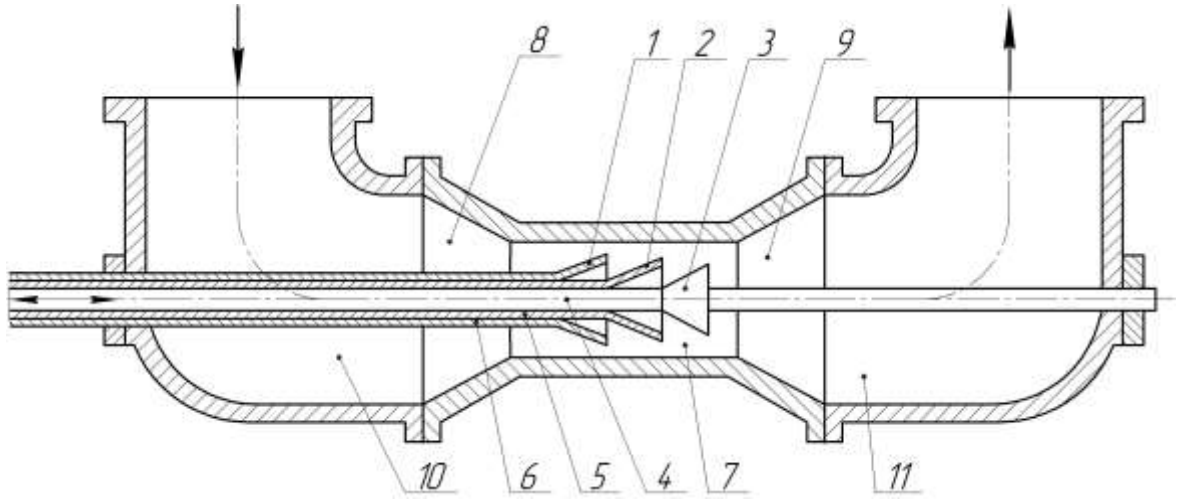

Рисунок 2 – Проточно-кавітаційний змішувач:

1,2,3 - конусоподібні елементи кавітатора; 4,5,6 - індивідуальні механізми осьового переміщення; 7 - проточна камера; 8 - конфузор; 9 - дифузор; 10,11 - патрубки підведення і відведення середовища.

Змішувач містить кавітатор, який виконаний з окремих конусоподібних або сферичних елементів, наприклад, 1, 2, 3, кожний з яких розміщений всередині попереднього і забезпечений індивідуальним механізмом осьового переміщення 4, 5. 6.

Переміщенням елементів кавітатора один відносно іншого розширюються технологічні можливості пристрою через збільшення діапазону регулювання режимів його роботи.

Це дозволяє змінювати стадію кавітації на робочих елементах. Взаємне переміщення елементів кавітатора дозволяє створювати необхідну кількість зон кавітаційної дії на середовище через те, що кожний робочий елемент може працювати як окремий кавітатор. за яким утворюється індивідуальна кавітаційна каверна.

В пристрої для кавітаційної обробки суспензій (рисунок 3) в робочій камері 1 послідовно встановлені нерухомі крильчатки 2, 3, 4 з клиноподібним профілем перерізу лопатей, гострі кромки яких спрямовані в бік набігаючого потоку середовища.

Кут нахилу лопатей кожної наступної крильчатки більший, ніж у попередньої. Конструкція пристрою дозволяє регулювати дисперсність суспензії і знизити питомі енерговитрати на її обробку. Це забезпечується осьовим переміщенням патрубка 5 в дифузорі 6.

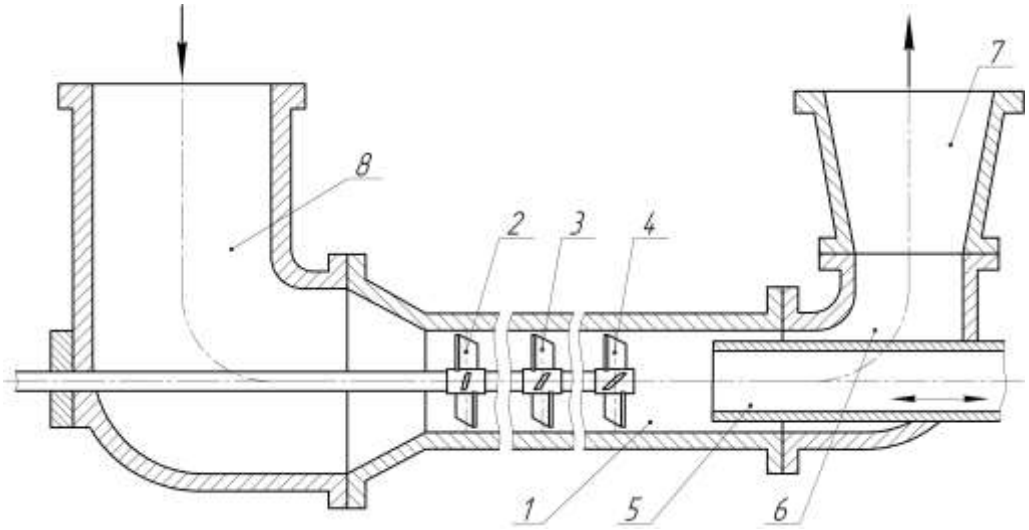

Рисунок 3 – Пристрій для кавітаційної обробки суспензій:

1 - камера; 2, 3, 4 – крильчатки - кавітатори; 5 - патрубок; 6 - дифузор; 7, 8 - патрубки підведення і відведення середовища.

Потік суспензії, послідовно натікаючи на лопаті крильчаток закручується і під дією відцентрової сили дисперсна фаза розподіляється по перерізу потоку. Співвісно встановлений у дифузорі 6 патрубок 5 дозволяє відбирати дрібнодисперсну кондиційну фазу, яка знаходиться в осьовій області потоку. Решта суспензії з крупнодисперсною фазою через патрубок 7 надходить на рециркуляцію.

Широкі технологічні можливості має кавітаційний змішувач (рисунок 4), у якому кавітатор. встановлений в робочій камері, має можливість змінювати свої розміри в поперечному перетині.

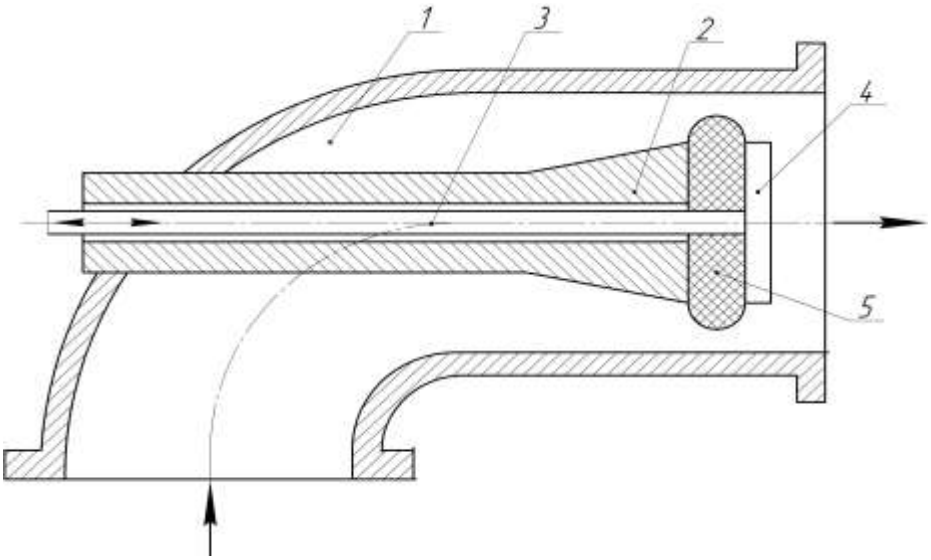

Рисунок 4 – Кавітаційний змішувач:

1 - робоча камера; 2 - кавітатор; 3 - шток; 4 - упорний диск; 5 - пружний елемент.

У порожнині робочої камери встановлений тороподібний пружний елемент 5, який може змінювати свою форму за рахунок стиску його упорним диском 4, з'єднаним з штоком 3, що здійснює поступальний рух у порожнині кавітатора 2.

Потік середовища надходить у робочу камеру 1 і обтікає кавітатор 2, за яким виникає пульсуюча кавітаційна каверна, яка зноситься потоком у зону стабілізованого тиску і розпадається з утворенням поля кавітаційних бульбашок.

Конструкція змішувача дозволяє регулювати інтенсивність кавітаційної дії. При переміщенні штоку 3 з упорним диском 4 деформується пружний елемент кавітатора. що забезпечує зміну коефіцієнта стиснення потоку і, отже, структури і властивостей кавітаційного поля, яке виникає.

Це дозволяє регулювати процес гідродинамічної кавітаційної обробки підбором у кожному конкретному випадку оптимального режиму обробки в залежності від фізико-хімічних властивостей середовища і технологічних вимог до готового продукту.

Підвищення тиску в зоні розпаду кавітаційної каверни і захлопування кавітаційних бульбашок також спричиняє ефективну ударно-хвильову дію на середовище через більш „жорстке" захлопування кавітаційних бульбашок.

Такі умови створюються завдяки конструктивним особливостям, які використані в кавітаційному змішувачі (рисунок 5).

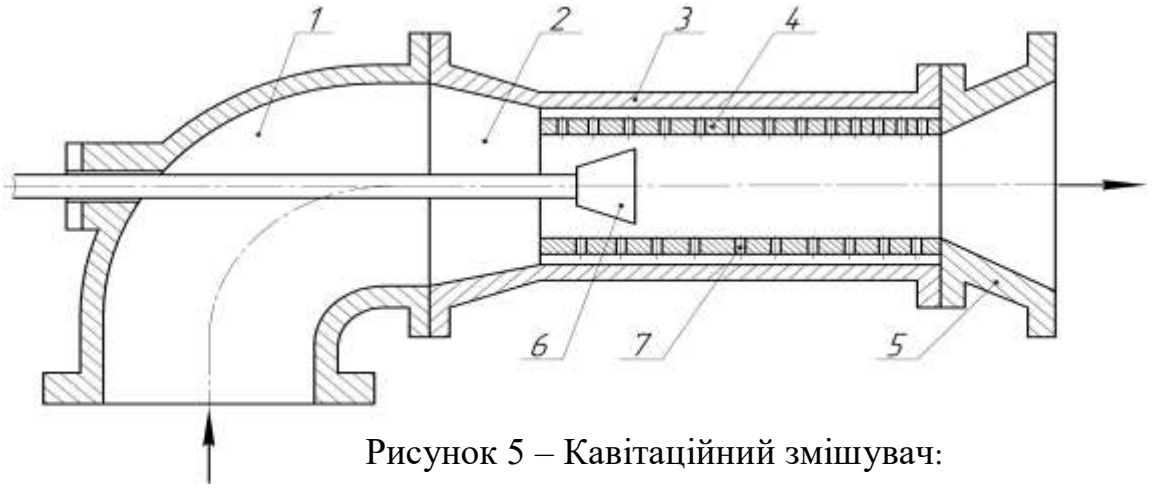

Рисунок 5 – Кавітаційний змішувач:

1 - патрубок підведення середовища; 2 - конфузор; 3, 4 – коаксіальні патрубки; 5 - дифузор; 6 - кавітатор; 7 - отвори перфорації.

Потік середовища через патрубок підведення 1 надходить у конфузор 2. підтискається і перерозподіляється у робочій камері, яка виконана з двох коаксіальне розташованих патрубків 3 і 4, з'єднаних між собою кільцевим дном з боку дифузора 5. При цьому, вихідний отвір конфузора 2 сполучений

з більшим патрубком 3. а вхідний отвір дифузора 5 – з меншим перфорованим патрубком 4.

Переважна частина потоку середовища при роботі кавітаційного змішувача надходить у меншу трубку 4, в середині якої розташований кавітатор 6, а його решта – в кільцеву порожнину, що конструктивно утворюється між трубками 3 і 4. При цьому гідростатичний тиск середовища в порожнині підвищується.

При обтіканні кавітатора 6 за ним утворюється кавітаційна каверна, яка генерує нестаціонарне поле бульбашок, що насичують потік середовища. Струмені рідини через різницю тисків ежектуються у кавітаційну каверну через отвори 7 перфорації, взаємодіють з каверною і між собою. подрібнюють її та ініціюють процес генерування каверною більшої кількості бульбашок.

Таким чином, концентрація бульбашок в одиниці об’єму середовища збільшується, а саме середовище насичується в усьому об’ємі робочої камери змішувача.

Крім того, струмені середовища при руйнуванні кавітаційної каверни сприяють перемішуванню і перерозподілу середовища, а полічастотні хвилі тиску, які утворюються при захлопуванні кавітаційних бульбашок, спричиняють додаткове перемішування.

Одним з способів зменшення інтенсивності кавітаційно-ерозійного зношування робочих вузлів гідродинамічних пристроїв є підбір оптимальних конструктивних співвідношень їх розмірів. Завдяки цьому вдається вирішити дві взаємовиключні задачі: підвищити ефективність ударно-хвильової дії кавітаційних бульбашок при їх захлопуванні – з одного боку, і суттєво зменшити (або майже уникнути) кавітаційно-ерозійного зношення робочих вузлів пристроїв (кавітатора і робочої, камери) – з другого. Це досягається завдяки розміщенню у робочій камері безпосередньо за кавітатором профільованої насадки (рисунок 6).

Кавітаційний змішувач містить циліндричну проточну камеру 1 з кавітатором 2, який встановлено в камері на штокові 3. За кавітатором 2 в камері 1 розміщена конічна насадка 4, обернена більшим отвором у бік кавітатора 2.

При цьому, більший діаметр насадки 4 співпадає з внутрішнім діаметром робочої камери 1. а менший діаметр насадки становить 0,4...1,2 його більшого діаметра.

Середовище підводиться в робочу камеру 1 і натікає на кавітатор 2, за яким генерується кавітаційна каверна, при розпаді якої виникає кавітаційне поле з бульбашок у об’ємі робочої камери.

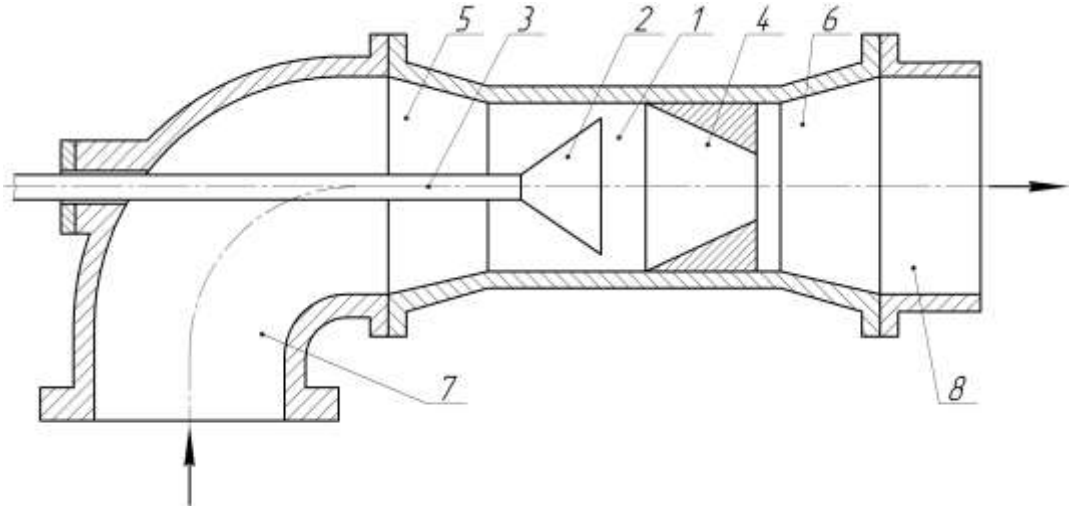

Рисунок 6 – Кавітаційний змішувач:
1 - проточна камера; 2 - кавітатор; 3 - шток; 4 - конічна насадка; 5 - конфузор; 6 - дифузор; 7, 8 - патрубки підведення і відведення середовища.

Двофазний потік, насичений кавітаційними бульбашками, попадає у насадку 4, де його швидкість збільшується і знижується гідростатичний тиск.

При таких умовах кавітаційні бульбашки не захлопуються до виходу з насадки, утворюючи на виході з неї стабілізований потік з відносно великими кавітаційними бульбашками, які при захлопуванні утворюють пульсуючі ударні хвилі і кумулятивні мікрострумки, які спричиняють перемішування і ударно-хвильову дію на середовище, що обробляється.

При цьому, на розміри бульбашок впливає як час знаходження у зоні зниженого тиску (тобто в насадці 4). так і співвідношення діаметрів насадки 4 і кавітатора 2. При переміщенні кавітатора 2 уздовж робочої камери 1 можна змінювати відстань від кромки кавітатора 2 до насадки 4 і, таким чином, регулювати „час життя“ кавітаційної бульбашки.

З метою модернізації кавітаційного змішувача, показаного на рисунку 6, кавітатор 2 з гладкою поверхнею замінюється на кавітатор з нанесеними на поверхню прорізями 1 (рисунок 7) пірамідальної форми, розташованими під гострим кутом до його осі.

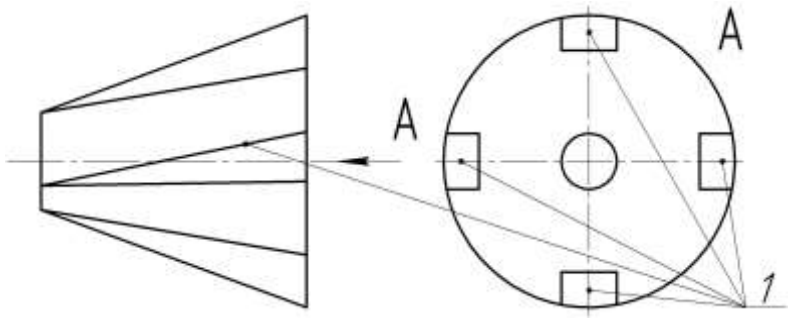

Рисунок 7 – Модернізований кавітатор: 1 – прорізи.

Крім того кавітатор має змогу обертатися на штокові 3 (рисунок 8) і утворювати при цьому обертанні кавітаційні каверни, що переміщаються по

гвинтовій лінії і генерують поле кавітаційних пухирців, які насичують потік середовища по всьому об’єму проточної камери змішувача.

На рисунку 8 показана конструкція кавітаційного змішувача для обробки харчових середовищ. Він має циліндричну робочу камеру 1 з патрубками підведення і відведення середовища. камері на осі 2 перпендикулярно потоку послідовно встановлені кавітатори 3. 4, 5, виконані у вигляді конусоподібних елементів.

Перший за ходом потоку кавітатор 3 закріплений нерухомо в камері 1. а наступні 4 і 5 – з’єднані між собою і кавітатором 3 пружинами 7. При обтіканні потоком кавітаторів за ними утворюються кавітаційні каверни.

У процесі переміщення каверн у потоці і подальшому розпаді утворюється пульсуюче поле кавітаційних бульбашок, яке при взаємодії з кожним наступним кавітатором викликає його різночастотне коливання переважно в авторезонансному режимі.

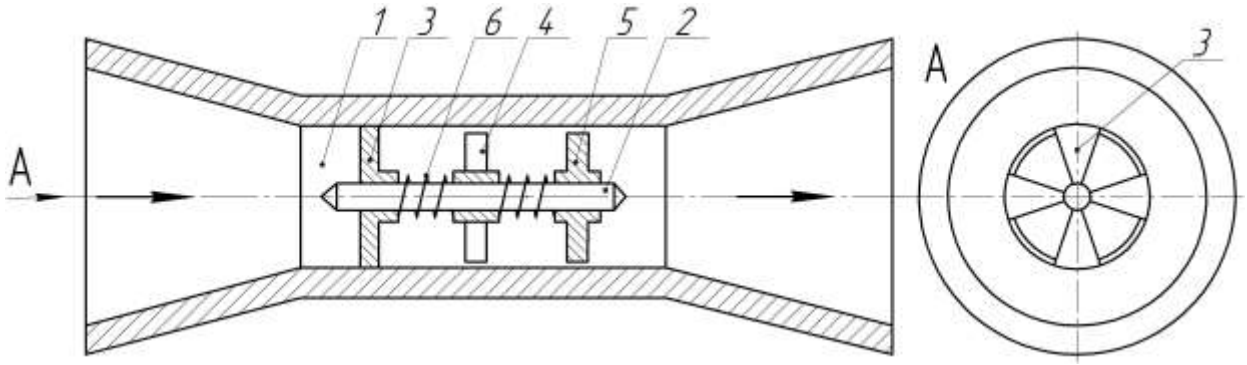

Рисунок 8 – Кавітаційний змішувач:
1 - камера; 2 - вісь; 3, 4, 5 - кавітатори; 6 – пружини.

У гідродинамічному кавітаційному змішувачі (рисунок 9) пульсації тиску в середовищі, що обробляється, створюються за рахунок підведення дисперсійного компоненту безпосередньо в кавітаційну каверну.

Потік середовища надходить у проточну камеру 1 і натікає на кавітатор 2, за яким утворюється приєднана кавітаційна каверна.

У каверну через порожнину 5 між співвісно розташованими за кавітатором 2 патрубками 4 і 5 подається дисперсійний компонент з джерела 6. Решта середовища надходить у кавітаційну каверну через центральний канал кавітатора 2 і з’єднану з ним порожнину внутрішнього патрубка 5.

Це дозволяє інтенсифікувати процес обробки за рахунок надходження частини потоку технологічного середовища безпосередньо в каверну, що не тільки збільшує частоту відриву каверни, чим підвищується енергетичний

потенціал утвореного кавітаційного поля, але й сприяє виникненню розвиненої міжфазної поверхні.

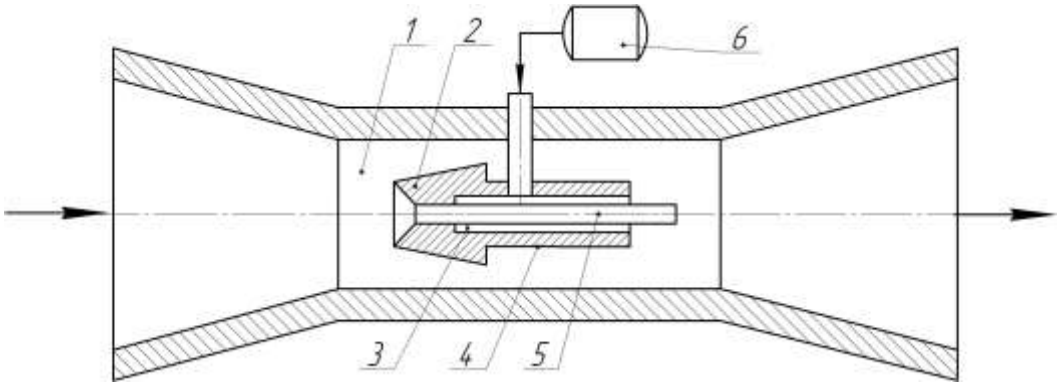

Рисунок 9 – Гідродинамічний кавітаційний змішувач:
1 - камера; 2 - кавітатор; 3 - порожнина; 4, 5 - патрубки; 6 - компонент

Дисперсійний компонент, який подається у каверну між патрубками 4 і 5, заповнює її, сприяє прискореному відриву від кавітатора і розпаду, ефективно перерозподіляючись при цьому. У той же час. через центральний канал кавітатора і внутрішній патрубок 5 у каверну надходить і частина середовища.

Технологічний потік перемішується з дисперсійним компонентом вже в кавітаційній каверні. При цьому, перемішування і обробка прискорюється та інтенсифікується у бульбашковому кавітаційному полі, що локалізується у проточній камері змішувача. Саме такий сукупний вплив на середовище дозволяє ефективно використовувати енергію технологічного потоку.

3.3 Загальна класифікація кавітаційних пристроїв для обробки технологічних середовищ

На підставі аналізу науково технічної інформації розроблена класифікація кавітаційних пристроїв для обробки технологічних середовищ. В основу класифікації покладений спосіб її збудження. При такому підході усі відомі конструкції кавітаційних пристроїв дія обробки середовищ розподіляються на чотири групи.

До першої групи належать пристрої, у яких кавітація утворюється гідродинамічним шляхом за рахунок різкої зміни геометрії течії. Внаслідок нього в потоці середовища виникає місцеве зниження тиску і розвивається гідродинамічна кавітація. Змінення геометрії течії досягається вибором форми проточної робочої камери пристрою або розміщенням у потоці тіл обтікання – кавітаторів. Енергія, яка необхідна для збудження кавітації, підводиться

потоком рідини (статичні пристрої) або кавітатором, що обертається (динамічні пристрої). Вони відрізняються відносною простотою, надійністю, зручністю у користуванні, високою продуктивністю (до 100 $м^3$/год) і широкими технологічними можливостями.

До другої групи належать пристрої, у яких кавітація генерується при періодичній зміні тиску рідини гідродинамічним шляхом. Пристрої цієї групи найбільш поширені в харчовій й переробній промисловості. Вони конструктивно прості, але їх продуктивність не перевищує 50 $м^3$/год.

Третя група кавітаційних пристроїв об'єднує апарати, в яких кавітація утворюється шляхом пульсацій тиску від коливань акустичного випромінювача в ультразвуковому (УЗ) спектрі частот. Пристрої цієї групи першими з кавітаційних апаратів почали використовуватись у харчовій промисловості. З серійних УЗ пристроїв найбільш поширеними є УЗ ванни (УЗВ). УЗ ванни високого тиску (УЗВТ).

Недоліком зазначених пристроїв є низька продуктивність (до 30 $м^3$/год) і необхідність використання складного і коштовного обладнання – УЗ генераторів.

Таке обладнання у харчовій промисловості вже не використовується а в фармацевтичній мас обмежене застосування.

До четвертої групи віднесені пристрої, які базуються на використанні так званого „Ефекту Уткіна" – високовольтного розряду в рідині. Внаслідок електричного пробою у рідині, у зоні, яка оточує канал розряду, розвиваються високі імпульсні тиски, які генерують тональну кавітацію. Причому кавітація виступає у ролі допоміжного фактора при обробці середовища.

Пристрої цієї групи не знайшли поширення у промисловості і серійно не випускаються. З одного боку, це обумовлюється їх низькою продуктивністю, значними енерговитратами, складністю додаткового обладнання і підвищеними вимогами до умов експлуатації, з другого – забрудненням середовища продуктами електроерозійного руйнування електродів. У харчовій і переробній промисловості такі апарати не використовуються.

При виборі кавітаційного пристрою у кожному конкретному випадку треба проводити відповідні техніко-економічні розрахунки. Треба зауважити, що пристрої гідродинамічного і гідроакустичного типів більш придатні для використання у безперервному виробництві, а віброакустичні – для приготування дрібних партій продукту.

Як показує аналіз науково-технічної інформації, кавітаційні пристрої, які застосовуються у харчовій і переробній промисловості, мають суттєві технологічні переваги в порівнянні з іншим обладнанням (клапанні

гомогенізатори), призначеним для виконання однакових з кавітаційними пристроями операцій.

У промисловості ефективно експлуатуються гідродинамічні кавітаційні пристрої, найперспективнішими з яких є проточні пристрої статичного типу. Вони конструктивно прости і зручні в використанні, мають високу надійність і довговічність, що обумовлено відсутністю рухомих елементів. Простота конструкції дає їм суттєві переваги перед іншими. Крім того, витрати енергії при використанні таких пристроїв менші.

4 Оснащення робочого місця лабораторної роботи

Досліди з гідродинамічної обробки молока проводяться на лабораторній експериментальній установці, схема якої і фото загального виду представлена на рисунку 10.

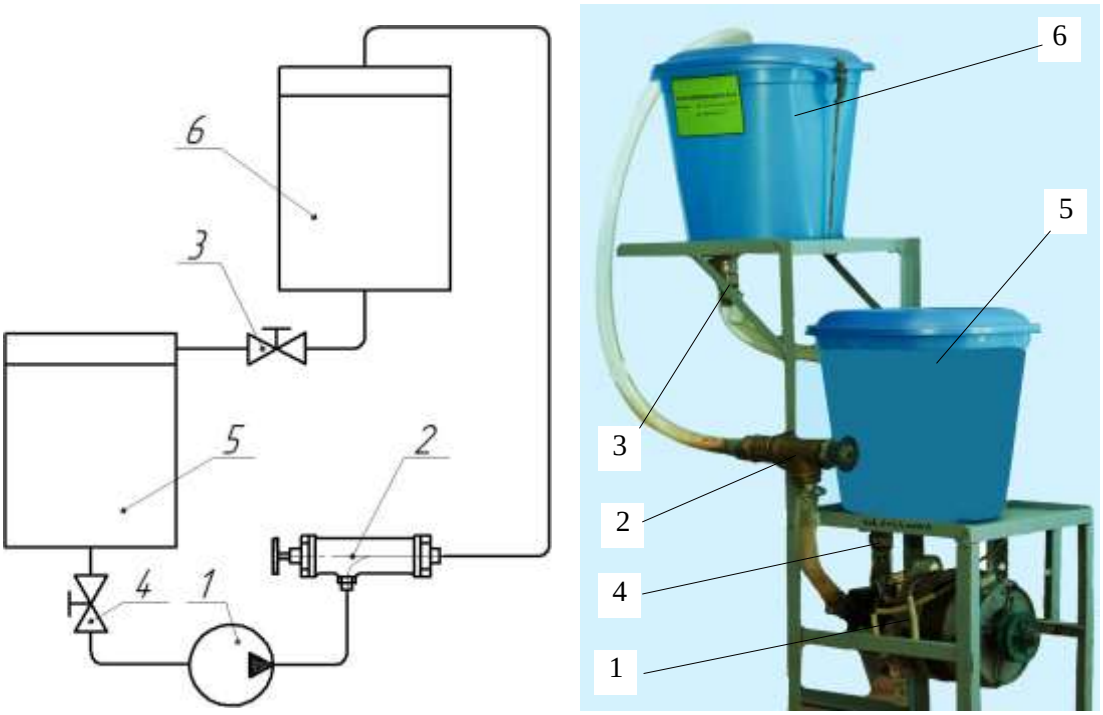

Рисунок 10 – Схема лабораторної кавітаційної установки:
1 - насос; 2 - кавітатор; 3, 4 - крани; 5,6 - ємності.

Основними елементами установки являються відцентровий насос 1 і кавітаційний пристрій 2.

Насос приводиться в обертальний рух електродвигуном постійного струму з функцією змінення частоти обертання, що дає можливість (сумісно з краном 4) плавно змінювати продуктивність насоса в достатньо широких межах.

Кавітаційний пристрій має будову, подібну до кавітаційного змішувача, показаного на рисунку 6, оснащеного модернізованим робочим органом (показаним на рисунку 7).

Конструкція кавітаційного пристрою дає змогу змінення відстані між конусною насадкою і робочим органом – кавітатором у межах від 0 до 40 мм.

Визначення якості гомогенізації у даній роботі проводиться методом аналізу мікрофотографій проб молока.

Для отримання мікрофотографій використовується оптичний мікроскоп МИКМЕД-1 з під'єднаною до нього веб-камерою.

Статистична обробка результатів експериментального дослідження виконується за методикою, викладеною у вказівках до лабораторної роботи „Установка для протитечійно-струменевої гомогенізації молока".

Окрім наведеного обладнання на робочому місці знаходяться підігрівач молока; ваги лабораторні; мірні ємності для молока; термометр.

5 Порядок виконання лабораторної роботи

Перед виконанням експерименту студент за участю викладача встановлює програму проведення дослідів з варіацією таких параметрів, як продуктивність насоса, відстань між кавітатором і конусною насадкою, температура молока, кратність обробки та ін. параметрів.

1) Налаштувати установку для виконання експерименту (встановити потрібну частоту обертання насоса, відстань між кавітатором і конусною насадкою);

2) Підігріти молоко до потрібної температури, залити його (при закритому крані 4) нижню ємність 5 (рисунок 10);

3) Відкрити кран 4 і, увімкнувши насос 1, провести процес пропускання молока через кавітатор.

4) Відібрати проби молока з верхньої ємності 6.

5) Змінити умови проведення досліду і повторити п. 1...4.

Відбір проб молока і проведення їх мікроскопної і статистичної обробки проводити за методикою, наведеною у вказівках до лабораторної роботи „Установка для протитечійно-струменевої гомогенізації молока" даного посібника.

6) За результатами дослідів з різними умовами їх проведення побудувати графіки відповідних залежностей.

7) Зробити аналіз одержаних результатів експерименту, сформулювати висновки і оформити звіт з лабораторної роботи.

Після проведення експериментальної частини роботи привести установку у вихідне положення і прибрати робоче місце.

6 Вимоги безпеки

Під час проведення роботи додержуватись правил загальної інструкції з охорони праці, наведених у розділі „Загальні вимоги безпеки“.

7 Контрольні питання

1 У чому полягає сутність явища кавітації?

2 Класифікація кавітаційних пристроїв з обробки харчових середовищ.

3 Область використання кавітаційних пристроїв у переробній і харчовій промисловості.

4 Типи кавітаційних змішувачів, будова та принцип дії.

5 Огляд і аналіз різних конструкцій кавітаційних пристроїв.

6 Чотири групи кавітаційних пристроїв для обробки харчових середовищ, характеристика кожної з груп.

7 Лабораторна установка для кавітаційної обробки молока, її будова.

8 Методика проведення експериментальної частини лабораторної роботи, формулювання висновків по ній.

9 Як побудувати гістограму розподілу жирових кульок молока?

10 Які основні статистичні характеристики визначають при аналізі зображень мікрофотографій проб молока?

8 Тестові завдання

1) Як називають кавітацію, що виникає при зниженні тиску за рахунок збільшення локальних швидкостей рідинного потоку?

1. акустична; 2. гідродинамічна; 3. ультразвукова.

2) Захлопування бульбашок на границі розподілу фаз „рідина-тверді частинки“ супроводжується утворенням...

1. ...розчину; 2. ...суспензії, 3. емульсії.

3) Захлопування бульбашок на границі розподілу фаз „рідина-рідина“ супроводжується утворенням...

1. ...розчину; 2. ...суспензії, 3. емульсії.

4) Який діаметр жирових кульок є переважним після кавітаційної обробки молока і вершків?

1. 0,15...0,20 мм; 2. 1,5...2,0 мкм; 3. 1,5...2,0 мм.

5) У якій мірі кавітаційне диспергування дріжджів підвищує їх бродильну енергію?

1. на 15...18 %; 2. на 1,5...1,8 %; 3. в 1,5...1,8 разів.

6) Застосування гідродинамічних пристроїв роторного типу для одержання емульсій тваринних жирів дозволяє зменшити питомі витрати енергії

1. майже в 3 рази; 2. майже на 30%; 3. майже на 3%.

7) Використання ультразвукового диспергування в виробництві соків дозволило скоротити тривалість виробничого циклу

1. майже на 30% три; 2. майже в 3 рази; 3. майже в 1,5 рази.

8) Апарат РЗ-КІК дозволяє подрібнювати частинки м'якоті

1. до 20...30 мкм**;** 2. до 0,5 мм; 3. 1,0 мм.

9) Кавітаційне диспергування дріжджів скорочує час бродіння

1. до 1,5...2 год.; 2. до 3,5...4 год.; 3. до 3,5...4 хв.

10) Приготування жирових емульсій для змащування хлібопекарних форм скорочує витрати жиру

1. на 5...10 % 2. на 50...70 %; 3. в 5...6 разів.

ЛІТЕРАТУРА

1. Машкін М.І. Молоко і молочні продукти.-К.: Урожай, 1996 -333с.

2. Машкін М.І. Технологія виробництва молока і молочних продуктів: / М.І. Машкін, Н.М. Париш - К.: Вища освіта, 2006. – 351 с .

3. Беззубов А.Д. Ультразвук и его применение в пищевой промышленности. / А.Д. Беззубов, Е.И. Гарлинская, В.М. Фридман - М.: Пищепром. 1964. -196с.

4. Заяс Ю.Ф. Ультразвук и его применение в технологических процессах мясной промышленности. / Ю.Ф. Заяс - М.: Пищепром. 1970 -282с.

5. Немчин А.Ф. Опыт применения суперкавитирующих аппаратов в сахарной промышленности. / А.Ф. Немчин - М.: 1986.-Вып.1.-32с.

6. Ивченко В.М. Кавитационная технология. / В.М. Ивченко, В.А. Кулагин, А.Ф. Немчин - Красноярск. 1990.- 200 с.

7. Мачинский А.С. Кавитационные аппараты: / А.С. Мачинский, О.В. Козюк, Д.Н. Шишлов - М., ЦНИИТЭИНефтехим, 1990. - Вып.1. -52 с.