

**МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
ТАВРІЙСЬКИЙ ДЕРЖАВНИЙ АГРОТЕХНОЛОГІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
ІМЕНІ ДМИТРА МОТОРНОГО**

Механіко-технологічний факультет



Кафедра ОПХВ ім. проф. Ф.Ю. Ялпачика

**РОТОРНО-ПУЛЬСАЦІЙНІ АПАРАТИ ДЛЯ
ДИСПЕРГУВАННЯ ЕМУЛЬСІЙ**

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

Роторно-пульсаційні апарати для диспергування емульсій. Методичні вказівки для студентів, які навчаються за спеціальністю 133 «Галузеве машинобудування», здобувачів ступеня вищої освіти «Магістр» – Таврійський державний агротехнологічний університет імені Дмитра Моторного, 2020 - 17 с

Розробники: к.т.н., доцент Паляничка Н.О.
к.т.н., доцент Самойчук К.О.
к.т.н., ст. викл. Верхованцева 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 РОТОРНО-ПУЛЬСАЦІЙНІ АПАРАТИ ДЛЯ ДИСПЕРГУВАННЯ ЕМУЛЬСІЙ

Мета роботи: отримання і поглиблення знань з призначення, принципам дії, будові, роботі та регулюванню роторно-пульсаційних апаратів для диспергування емульсій. Провести експериментальне дослідження гомогенізації молока з застосуванням роторно-пульсаційного апарата.

Час виконання роботи 4 години.

1 Порядок виконання роботи

- розглянути принцип дії та будову спектру конструкцій роторно-пульсаційних апаратів для обробки рідинних сумішей;
- уявити ознаки класифікації кавітаційних пристроїв роторно-пульсаційного типу;
- провести налагодження, регулювання і підготовку до проведення експериментальної частини роботи лабораторної установки роторно-пульсаційного типу для гомогенізації молока;
- зробити розрахунки гомогенізуючого вузла пульсаційного апарата з вібруючим ротором;
- виконати експериментальні дослідження процесу гомогенізації, використовуючи лабораторну установку;
- проаналізувати результати експерименту, сформулювати висновки за результатами роботи; оформити звіт з роботи і захистити його.

2 Завдання для самопідготовки

У процесі підготовки до заняття студент повинен:

- вивчити і повторити:

1) фізичну сутність обробки емульсій у роторно-пульсаційних пристроях, класифікацію подібних пристроїв; 2) призначення, принцип дії і будову лабораторної установки.

- **знати:** механізм гомогенізації молока та виробів з нього;

- **вміти:** проводити налаштування лабораторної установки, користуватися приладами, аналізувати результати експерименту.

3 Теоретична частина

3.1 Загальні відомості про роторно-пульсаційні апарати

Пульсаційні апарати роторного типу відомі в техніці більш сорока років. Вони зарекомендували себе як ефективні пристрої для проведення

інтенсифікації гідромеханічних і масообмінних процесів у різних галузях промисловості. Ці апарати достатньо прості за конструкцією, їх виготовлення не потребує складних технологій, вони надійні і ефективні в експлуатації.

Роторно-пульсаційні апарати (РПА) застосовують для обробки таких систем як „рідина-рідина“, „рідина-тверде тіло“, „газ-рідина“. Для кожного конкретного технологічного процесу існують певні вимоги до типу конструктивного і технологічного оформлення пристрою.

Спектр факторів впливу РПА на середовище, що обробляється, складається з наступних впливів:

- механічний вплив на частки гетерогенного середовища, що полягає в ударних, зрізуючих і стираючих навантаженнях і контактах з робочими частинами РПА;

- гідродинамічний вплив, що виражається у великих напруженнях зсуву в рідині, розв'язаній турбулентності, пульсаціях тиску і швидкості потоку рідини;

- гідроакустичний вплив на рідину здійснюється за рахунок дрібномасштабних пульсацій тиску, інтенсивної кавітації, ударних хвиль і нелінійних акустичних ефектів.

Роторні апарати відносяться до апаратів з періодичними перехідними гідромеханічними процесами зі збудженням гідродинамічного і акустичного типу імпульсної кавітації і великими градієнтами швидкостей та значними пульсаціями. Перехідні нестабілізовані процеси визначаються тим, що період модуляції площі прохідного перерізу менший за час встановлення основних гідродинамічних параметрів: швидкості і тиску.

Типова конструкція радіального роторно-пульсаційного апарату (РПА) представлена на рисунку 1.

Робочими елементами таких апаратів є коаксіально розташовані циліндри ротора і статора, на бічній поверхні яких є канали для проходу середовища, що обробляється.

Частина апарата, яка включає отвори ротора та статора, називають модулятором.

Принцип роботи РПА полягає у наступному. Середовище, що підлягає обробці, уводиться в апарат через центральний патрубок. Проходячи через робочі органи, рідина піддається значним знакозмінним навантаженням, внаслідок чого в ній виникають істотні зсувні напруження. Крім того, на середовище, що обробляється, при роботі пристрою діють високочастотні пульсації і явища кавітації.

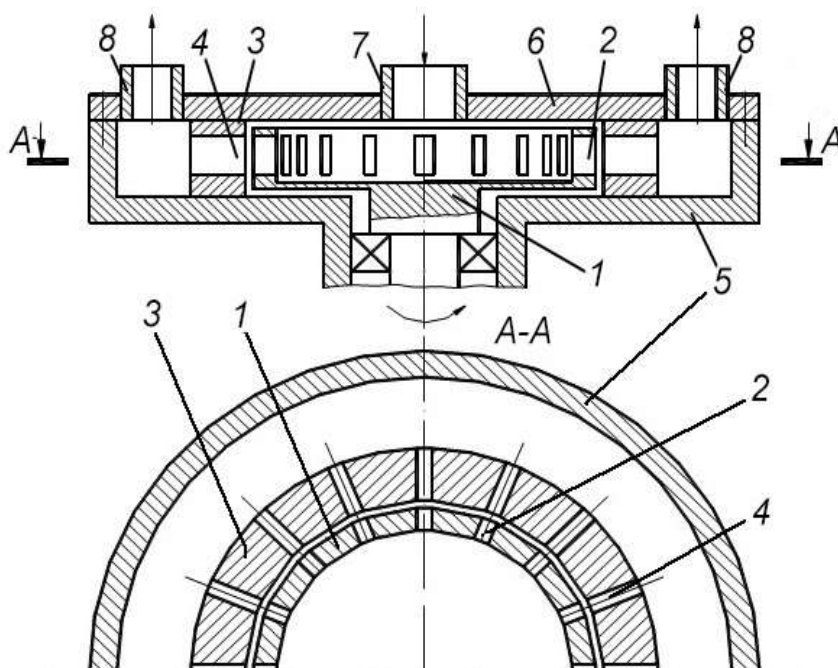


Рисунок 1 – Схема конструкції радіального пульсаційного апарата:

1 - ротор; 2 - канали ротора; 3 - статор; 4 - канали статора; 5 - корпус; 6 - кришка; 7, 8 - патрубки введення і виведення продукту.

При обертанні ротора його канали періодично перекриваються поверхнею статора або співпадають з каналами статора. У першому випадку в порожнині ротора тиск зростає, а в другому – за короткий проміжок часу скидається.

У результаті цього через канал статора поширюється імпульс надмірного тиску, услід за яким виникає короткочасний імпульс зниженого „негативного“ тиску, оскільки поєднання каналів ротора і статора завершилося і подача рідини в канал статора відбувається тільки за рахунок транзитної течії з радіального проміжку між ними.

Об'єм рідини, що увійшов до каналу статора, прагне до виходу з нього і інерційні сили створюють у рідині напруження розтягу, які викликають кавітацію.

Бульбашки кавітації ростуть при дії імпульсу зниженого тиску і згортаються або пульсують при збільшенні тиску в каналі статора. Частина кавітаційних бульбашок виноситься у робочу камеру.

Оскільки швидкість потоку рідини в каналі статора велика і є також змінною величиною, потік є турбулентним. Робочі поверхні ротора і статора впливають на рідке гетерогенне середовище за рахунок високих зрізуючих і зсувних зусиль, що виникають у радіальному проміжку.

Наведена конструкція РПА може підлягати модифікаціям форми і

розташування отворів ротора і статора.

Роторні апарати пристосовані для автономної роботи із зовнішнім джерелом тиску або без нього. У першому випадку крізь РПА подають середовище, яке обробляється, зовнішнім насосом, що інколи технологічно зручно. У другому випадку тиск створюється під дією відцентрових сил, а для підвищення насосного ефекту всередині ротора встановлюють лопаті (подібно до відцентрових насосів) або поперед-насос шнекового типу.

За способом обробки та руху емульсії РПА діляться на два основні типи: радіальні і осьові. На відміну від радіального апарата, розглянутого вище, в осьових апаратах початкові компоненти поступають аналогічно, але переміщуються в осьовому напрямі.

Обробка середовища відбувається у вузькому проміжку між плоскими дисками статорів і роторів з радіальними прорізами. Ефективність таких апаратів нижча, ніж радіальних, які забезпечують більш рівномірну обробку середовища, простіші у виготовленні та експлуатації. Тому надалі ми розглядатимемо конструктивні особливості тільки радіальних апаратів.

Особливістю нестационарних потоків у РПА є різноманіття їх форм (кавітаційні, безкавітаційні, резонансні, нерезонансні, коливальні та інші), а при режимі кавітації (найбільш прийнятному) – також і різноманіття способів його збудження (акустичне, гідродинамічне, змішане, імпульсне, резонансне, високочастотне, низькочастотне, ін.).

Значна кількість ротаційних апаратів конструюється для створення розвиненої кавітації. Представлені на рисунках 2 і 3 конструкції роторних апаратів за принципом створення кавітації можна розділити на 2 групи.

До 1-ої групи відносяться машини, в яких рідке середовище (суспензія, емульсія) рухається по вузькому кільцевому зазору змінного перерізу. До 2-ої групи відносяться роторно-пульсаційні апарати, призначені для створення інтенсивного акустичного поля, так звані гідродинамічні сирени.

Принцип створення кавітації у 1-ій групі машин (рисунок 2 а, б) полягає в наступному: суспензія подається в апарат і потрапляє у вузький кільцевий зазор між ротором і статором, на поверхнях яких передбачені канавки і виступи різного конструктивного оформлення.

За рахунок змінення статичного і гідродинамічного напору в рідині виникає розрідження тиску, і як наслідок істотних пульсацій тиску виникає кавітація. При невеликих зазорах між ротором і статором і високій швидкості течії рідини на частинки суспензії накладаються високі зсувні напруження від переміщення шарів рідини.

У другій групі роторно-пульсаційних машин (рисунки 3 і 4) принцип створення ефекту кавітації дещо інший – він описаний у поясненнях до

рисунка 1.

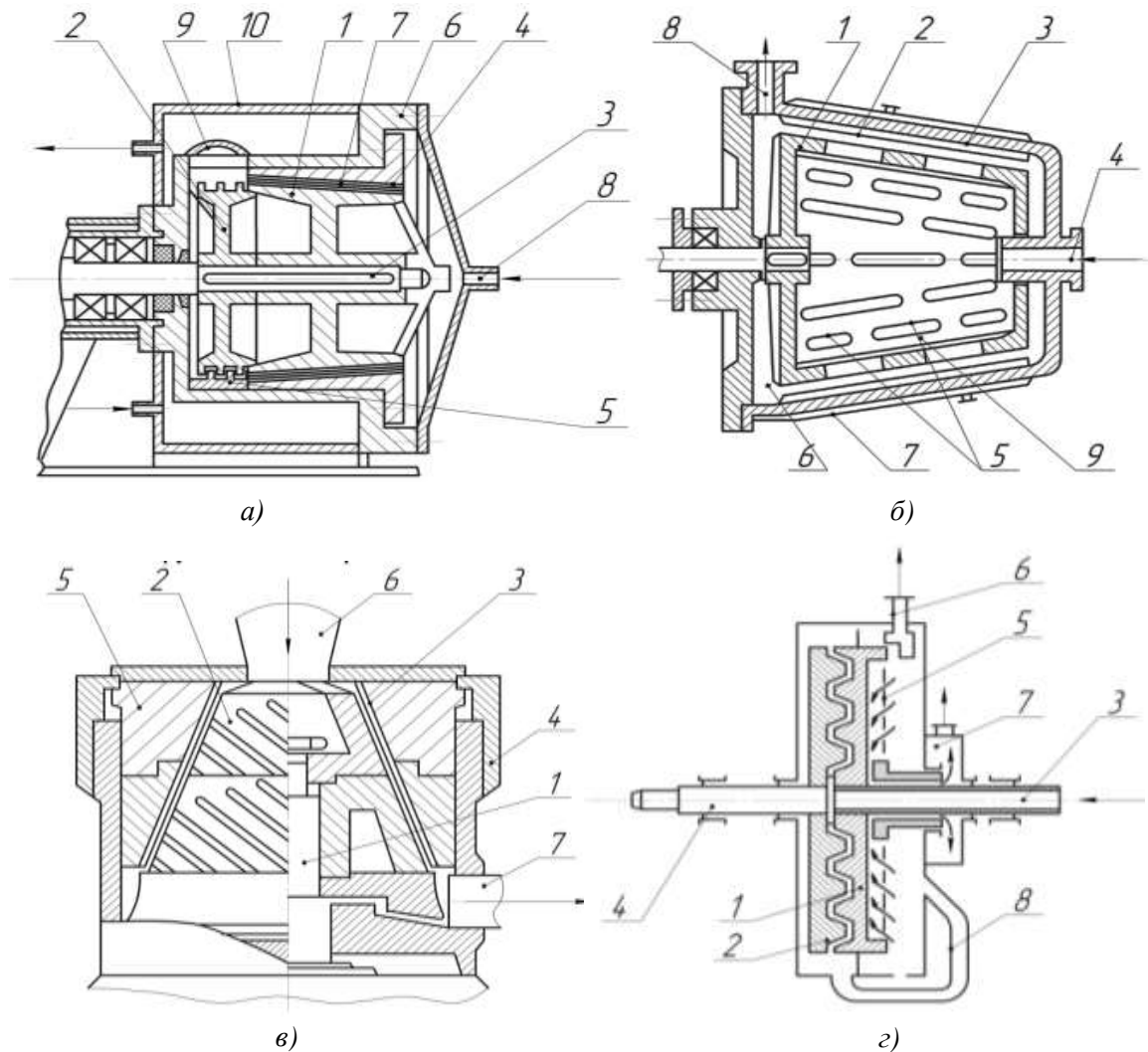


Рисунок 2 – Схеми роторних активаторів кавітації 1-ї групи:

а) кавітаційно-колоїдний млин активатор (1 - ротор; 2 - ударний пристрій; 3 - вал; 4 - статор; 5 - контрударники; 6 - корпус; 7 - канавки; 8 - вхід суспензії; 9 - вихід суспензії; 10 - сорочка охолодження);

б) колоїдний млин активатор з перфорованим ротором (1 - ротор; 2 - відбійники; 3 - корпус; 4 - вхід суспензії; 5 - перфорації; 6 - зона вивантаження суспензії; 7 - сорочка; 8 - вихід суспензії);

в) конусний колоїдний млин активатор (1 - вал; 2 - ротор; 3 - ребра; 4 - корпус; 5 - статор; 6 - вхід суспензії);

г) колоїдний активатор з двома роторами і сепарацією активованої твердої фази (1 - ротор з порожнинним валом; 2 - ротор з суцільним валом; 3 - порожнинний вал; 4 - суцільний вал; 5 - сепаратор; 6 - вихід грубих часток; 7 - вихід тонких часток).

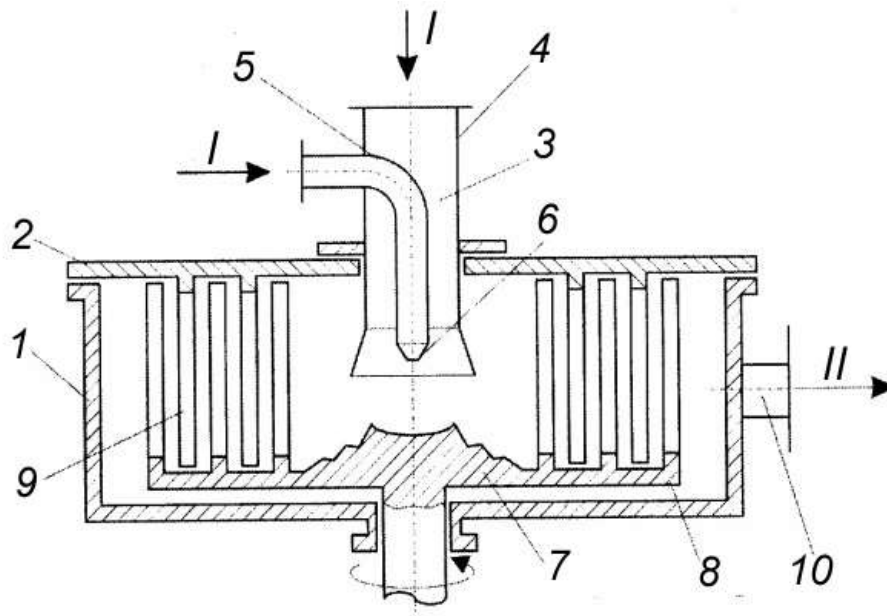
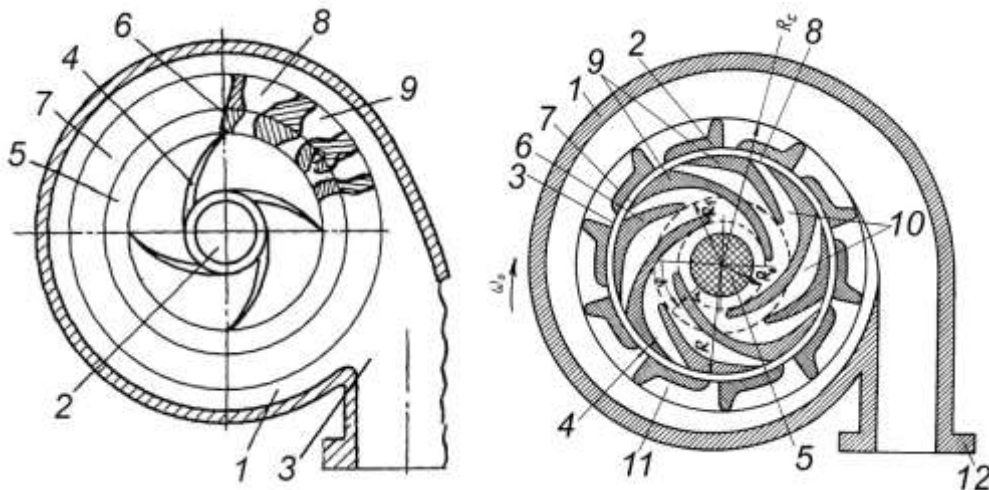


Рисунок 3 – Схема роторного апарата 2-ї групи машин:

I - рідина; II - емульсія; 1 - корпус; 2 - кришка; 3 - інжекційний пристрій; 4 - патрубок; 5 - канал; 6 - сопло; 7 - ротор; 8 - коаксіальні циліндри ротора; 9 - циліндри статора; 10 - тангенціальний патрубок.



а)

б)

Рисунок 4 - Схеми роторних апаратів 2-ї групи машин:

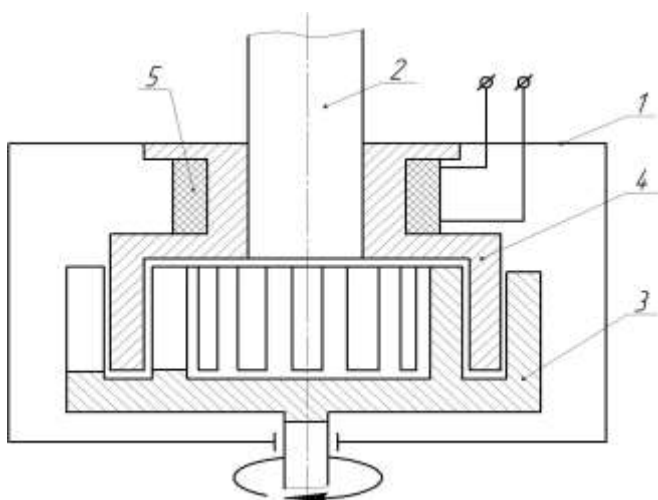
а) кавітаційний диспергатор (1 - корпус; 2 - вхідний патрубок; 3 - вихідний патрубок; 4 - лопаті відцентрового насоса; 5 - циліндричне кільце; 6 - конфузори сопел; 7 - статор; 8 - дифузори; 9 - резонатори;

б) роторний апарат гідродарної дії „Сампо“ (1 - корпус; 2 - статор; 3 - прорізи статора; 4 - ротор; 5 - вал; 6 - довгі лопаті; 7 - короткі лопаті; 8 - прорізи; 9 - основи лопатей ротора; 10 - резонатори ротора; 11 - резонатори статора; 12 - вихідний патрубок).

При конструюванні РПА, призначених для гомогенізації молока слід враховувати, що диспергуючий ефект таких пристроїв пов'язаний зі збігом факторів, що підвищують кавітацію, та факторів, що збільшують швидкість ковзання. При зменшенні зазору між ротором та статором і профілюванні поверхонь каналів ротора і статора інтенсифікуються не тільки процеси кавітації, а й збільшуються пульсації тиску, що підвищує, у свою чергу, швидкість ковзання жирової кульки і, відповідно, ступінь диспергування.

На рисунку 5 показана схема роторно-пульсаційного пристрою з ротором, який здійснює коливання вздовж осі обертання.

Апарат складається з корпусу 1, вхідного 2 і вихідного (на рисунку не показаний) патрубків, циліндрів ротора 3 з прорізами (отворами), статора 4 з прорізами і генератора 5 механічних коливань. Статор (або його частина), поміщений всередині генератора, виконаний з магнітострикційного матеріалу.



При підключенні до генератора змінного струму він починає коливатися з відповідною частотою. За іншим варіантом статор є якорем електромагнітного генератора і також вібрує з частотою змінного струму. Така конструкція дозволяє збільшувати величини зсувних напружень часток у проміжку між ротором і статором.

Рисунок 5 – РПА з генератором механічних коливань.

Крім того, на середовище, що обробляється, можливе одночасне накладення пружних коливань і осьових вібрацій, що дозволяє інтенсифікувати процес.

Незважаючи на всі міри інтенсифікації процесу диспергування у роторно-пульсаційних апаратах у ряді випадків, ефективність апаратів виявляється недостатньою. Відбувається нерівномірне дроблення часток твердої фази, що позначається на якості готового продукту. Для поєднання процесів гомогенізації і диспергування запропонована нова конструкція РПА з вібруючим ротором (рисунок 6).

Цей РПА складається з корпусу 1, у який вмонтований електромагніт 10. Ротор 4 встановлений на валу 7 і притиснений пружиною 8 до гайки 9. Статор 5 жорстко закріплений на кришці 6.

Між ротором і статором виставлений мінімальний проміжок. До складу апарату входять також кришка 11, ущільнення 12, патрубки 2 для уведення і 3 для виведення компонентів.

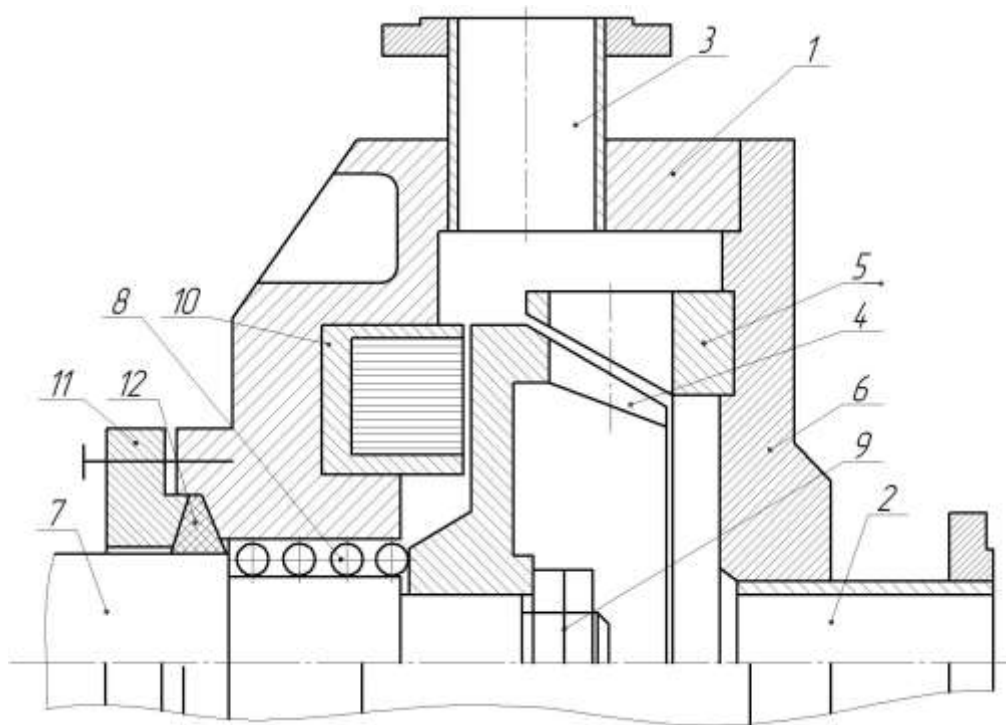


Рисунок 6 – Роторно-пульсаційний апарат з вібруючим ротором:

1 - корпус; 2 - вхідний патрубок; 3 - вихідний патрубок; 4 - ротор; 5 - статор; 6 - кришка; 7 - вал ротора; 8 - пружина; 9 - гайка; 10 - електромагніт; 11- кришка; 12- ущільнення.

Апарат працює таким чином. Середовище, що обробляється, через вхідний патрубок 2 поступає в центральну частину апарата і під дією відцентрових сил проходить у проміжок між ротором 4 і статором 5. За рахунок удару часток об зуби ротора і статора, а також зсувних напружень, що виникають у проміжку, відбувається їх дроблення.

При подачі перемінного струму на котушку електромагніту 10 виникають осьові коливання ротора 4. У момент його притягнення до електромагніту проміжок збільшується, створюючи умови захоплення часток. При зближенні ротора і статора відбуваються роздавлювання і перетирання цих часток.

Значення радіального проміжку є змінною величиною в часі, що дозволяє змінювати величину зсувних напружень гетерогенного середовища. У процесі обертання ротора відбувається періодичне перекидання прорізів, внаслідок чого виникає гідравлічний удар і генерування акустичних коливань. Таким чином, на середовище, що обробляється, відбувається одночасне накладення пружних коливань і осьових вібрацій.

Для ефективної роботи апарата повинна виконуватися наступна умова: частота вібрацій ротора повинна бути кратною частоті перекриття прорізів ротора. Пройшовши активну зону, суміш потрапляє у зовнішню камеру і виводиться через патрубок 3. Таким чином, у цій конструкції РПА за рахунок вмонтованого в корпус електромагніту можлива обробка середовища в умовах резонансу, що дозволяє інтенсифікувати технологічні процеси в ньому і підвищити якість продукту.

4 Оснащення робочого місця лабораторної роботи

Для проведення експериментальних досліджень застосовується лабораторна установка роторно-пульсаційного апарата з вібруючим уздовж своєї осі ротором (ПА з ВР), схема якої представлена на рисунку 7.

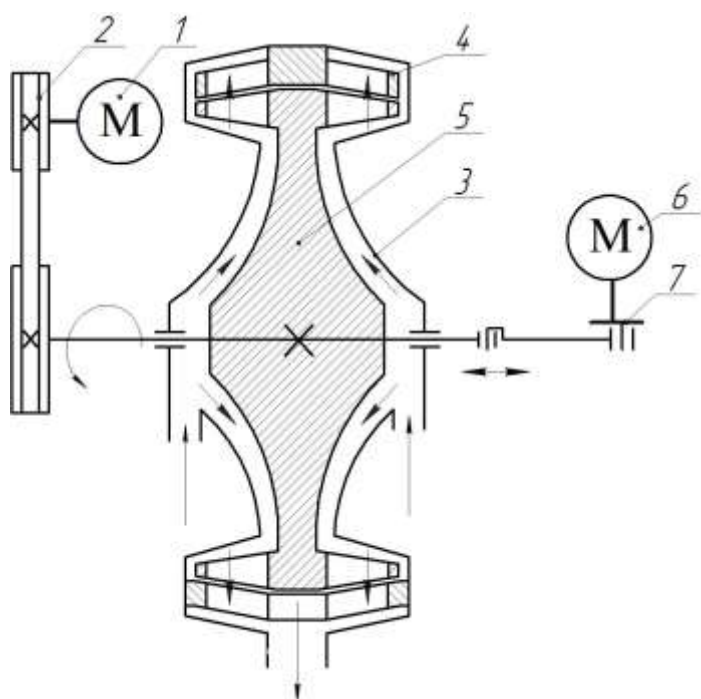


Рисунок 7 – Схема і фото лабораторної установки:

1 - електродвигун обертання ротора; 2 - клинопасова передача; 3- корпус; 4 - статор; 5 - ротор; 6 - електродвигун вібрації ротора; 7- ексцентрик.

Гомогенізуючий вузол ПА з ВР складається з ротора 5, який обертається з частотою n_p і статора 4. Для осьових коливань ротора з частотою n_k застосовується ексцентриковий механізм 7, а для обертання ротора використаний електродвигун постійного струму 1 з клинопасовою передачею 2, що допускає при роботі відхилення на величину коливань $s = 2r$, яка для дослідного апарата складає до 3 мм.

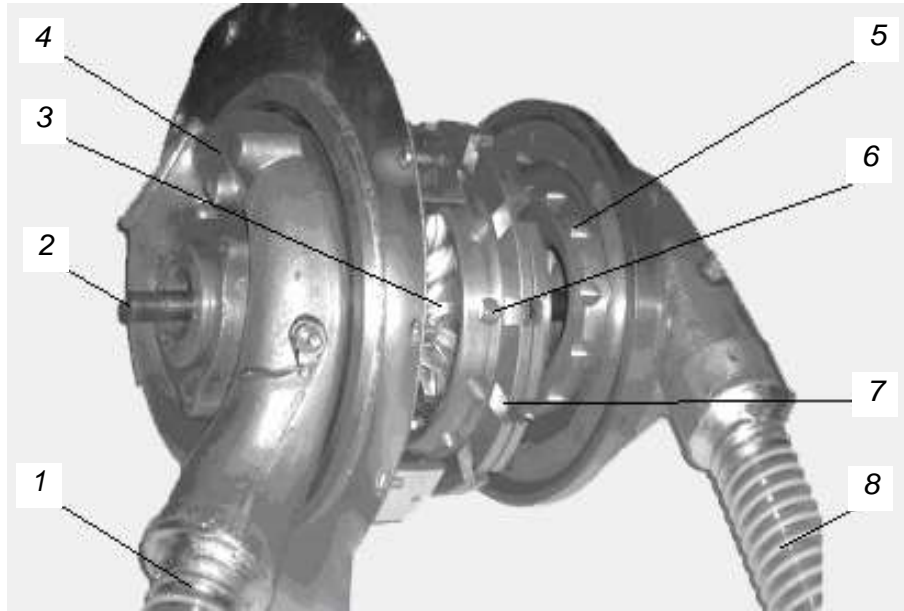


Рисунок 8 – Загальний вигляд гомогенізуючого вузла пульсаційного апарата з вібруючим ротором:

1 - патрубок відведення продукту; 2 - вісь ротора; 3 - лопатки; 4 - корпус; 5 - статор; 7 - отвори ротора; 8 - патрубок подачі продукту.

Прототипом для створення робочої камери апарата є турбіна ТКР-12. Робоча камера має лопаті 3 для підвищення насосного ефекту та розгінні пази, що дозволяє такому РПА працювати без додаткових насосів. У порожнині створюється надлишковий тиск рідини, під дією якого продукт відводиться з апарату через патрубок 1.

Радіальні отвори ротора 7 та статора 5 створюють необхідну пульсацію рідини, формуючи модулятор пульсаційного апарата. У пазах 7 здійснюється зіткнення потоків емульсії, що додатково підвищує ефективність емульгування продукту.

Перепускний клапан необхідний для заповнення продуктом робочого простору гомогенізуючого вузла при його пуску.

Руйнування жирових кульок переважним чином відбувається за механізмом нестійкості Релея-Тейлора, де діаметр дисперсійної частки залежить від прискорення потоку рідини при рухові молочної емульсії крізь канали переривника апарата (отвори ротора та статора).

Прискорення потоку молока викликає різницю швидкості (ковзання) жирової кульки відносно молочної плазми. Інерція жирових кульок відмінна від дисперсійної фази внаслідок різниці густини. При рухові жирової частки відносно молочної плазми виникає сила опору, яка руйнує цю кульку.

Основним фактором руйнування жирових кульок під час гомогенізації є відношення сил поверхневого натягу жирової частки та сил, що руйнують її. Сили пропорційні швидкості ковзання жирової кульки відносно дисперсного середовища.

Для пульсаційного апарата з вібруючим ротором швидкість ковзання стає істотною у моменти прискорення та гальмування рідини. Ці умови створюються під час:

- перекриття отворів та їх незначного відкриття (гомогенізація по типу клапанних гомогенізаторів), коли градієнт швидкості у поперечному напрямку набуває істотної величини;
- швидкого змінення напрямку руху рідини за рахунок сил інерції, що викликає відмінності руху жирової кульки та плазми;
- прискорення потоку рідини при рухові крізь канали переривника.

Подрібнення за першою умовою відбувається протягом незначної долі часу пульсацій і енергонеєфективна (високі енерговитрати клапанних гомогенізаторів). Друга та третя умови передбачають створення істотних прискорень емульсії (швидкої зміни швидкості за короткий проміжок часу). Подібний механізм гомогенізації використовується у струминних та пульсаційних гомогенізаторах, енергоефективність яких значно вища (енерговитрати у 3...5 разів менші за клапанні).

Таким чином, з перелічених вище механізмів подрібнення жирових кульок у ПА з ВР найбільшою мірою за фізикою процесу відповідає нестійкість Релея-Тейлора, де діаметр дисперсійної частки залежить від прискорення потоку рідини.

5 Розрахунок пульсаційного апарата з вібруючим ротором

Вихідними даними для розрахунку ПА з ВР для гомогенізації молока є необхідний середній діаметр жирових кульок молока d та продуктивність апарата Q .

Основним технологічним вихідним параметром є необхідний ступінь диспергування молочного жиру. Максимальний ступінь диспергування мають клапанні гомогенізатори, середній діаметр жирових кульок після обробки в яких складає 0,8...1,0 мкм. Такої якості виявляється достатньо для технологічних процесів виробництва молочних продуктів з використанням гомогенізації молока. Тому це значення приймаємо за розрахункове.

У технологічних лініях виробництва молочних продуктів найчастіше гомогенізатор встановлюють після пастеризації. Температура молока при цьому дорівнює 60...65 °С.

Частоту обертання кривошипа n_k приймаємо максимально можливою. Зручно приймати n_k рівною максимальній стандартній частоті обертання електродвигунів перемінного струму, тобто $n_k = 2880$ об/хв.

Визначено, що для досягнення виникнення резонансу і максимального ступеня диспергування молочного жиру оптимальна частота обертання ротора n_p повинна бути синхронізована з частотою обертання кривошипа і кут здвигу фаз між обертанням кривошипа та ротора повинен складати 270°.

$$n_p = n_k / z \quad (1)$$

При $\varphi = 0$ кут $\beta = 270^\circ$.

Дослідження показника ефективності гомогенізації показало, що для підвищення ефективності роботи ПА з ВР необхідно збільшувати діаметр ротора, зменшувати радіус кривошипа та кількість отворів переривника. Тому кількість отворів приймаємо рівним $z = 4$, адже при такій кількості отворів ефективність ПА з ВР значно зростає.

Для проектування типових РПА радіальний зазор приймають мінімально можливим для підвищення кавітаційних ефектів і його величина залежить від технічних можливостей виготовлювача.

Звичайне значення $\delta = 0,1$ мм. Для ПА з ВР ця умова не обов'язкова, але величина зазору впливає на характер залежності швидкості, викликані відцентровими силами в переривнику ПА, від часу. При великих зазорах характер зміни швидкості буде іншим, що вплине на умови створення резонансу руху рідини в Па з ВР. Оптимальні умови виникнення резонансу стануть відмінними від зазначених вище, що знизить ефективність роботи апарата, що проектується. Тому величина зазору приймається $\delta \leq 0,5$ мм.

Довжину каналів статора та ротора для підвищення ефективності необхідно зменшувати. Граничними умовами для їх величини є характеристики міцності ротора та статора ПА. В існуючих конструкціях типових РПА $l_p \geq 5$ мм, $l_c \geq 8...10$ мм.

Після визначення мінімальних за технологічними та міцністними характеристиками l_p і δ уточнюємо їх значення, виходячи з умови виникнення акустичного резонансу.

$$l_c = \frac{60c}{(4k+2)n_k}, \quad (2)$$

$$\delta = \frac{(0,438...0,425)k \cdot D}{z_p}, \quad (3)$$

де $k = 1, 2, 3$ і т.д.

Діаметр ротора визначається з рівняння

$$D = 3,774 \sqrt{\frac{Q_o \cdot z^2 (l_p + \delta + l_c)}{n_p \cdot \rho_m}}, \quad (4)$$

де Q_o - продуктивність апарата; ρ_m - щільність матеріалу.

Радіус кривошипа визначається за формулою

$$r = \frac{30z \left(\frac{\pi \cdot D}{2z} + 8\delta \right)^2 \left(\frac{2500}{d^2} - \frac{\pi^3 \cdot n_k^2 \cdot D^2}{3600z^2 (l_p + \delta + l_c)} \right)}{D^2 \cdot n_k^2 \cdot \pi^2}. \quad (5)$$

Кількість отворів ротора пов'язана з діаметром ротора та діаметром отворів:

$$d_p = \pi \cdot D / 2z. \quad (6)$$

Ширина ротора збільшує енерговитрати ПА з ВР, тому вона приймається якомога меншою:

$$H \geq d_p. \quad (7)$$

або

$$H \geq \frac{\pi D}{2z}. \quad (8)$$

Електродвигуни приводів обертання P_o та вібрації ротора P_e підбираються за необхідними потужностями, які знаходимо за залежностями

$$P_o = \frac{D^3 \cdot n_p^2}{24z} \left(\frac{D^3 \cdot n_p \cdot \rho_m}{348z(l_p + \delta + l_c)} + \frac{\mu}{\delta} \right). \quad (9)$$

$$P_e = 1,44 \cdot 10^{-4} \cdot n_k^3 \cdot r^2 (m + 0,43 \rho_m \cdot z^2 \cdot D^2 \cdot r). \quad (10)$$

Для зменшення енерговитрат вібрації ротора масу ротора та рухомих частин привода необхідно мінімізувати, використовуючи харчові корозійностійкі метали та сплави з якомога меншою щільністю.

6 Порядок виконання лабораторної роботи

Перед виконанням експерименту студент погоджує з викладачем програму проведення дослідів.

- 1) Налаштувати установку для виконання експерименту;
- 2) Підігріти молоко до температури гомогенізації (60 °С), залити його в приймальну ємність;
- 3) Провести процес гомогенізації молока при заданих значеннях параметрів настроювання роторно-пульсаційного апарата.

4) Відібрати проби молока після проведеного кожного дослідю.

При виконанні наступного дослідю зі зміненими параметрами його проведення слід повторити пункти 1...4.

5) Відбір проб гомогенізованого молока, підготовка його до аналізу якості обробки, використовуючи спосіб мікрофотографування з подальшим комп'ютерним аналізом отриманих зображень, визначається за методикою, наведеною у вказівках до лабораторної роботи „Установка для протитечійно-струменевої гомогенізації молока“ даного практикуму.

6) За результатами дослідів за різними умовами їх проведення побудувати гістограми розподілення жиркових кульок за їх розмірами;

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.

7 Вимоги безпеки

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

8 Контрольні питання

1 Сутність гомогенізації і переваги гомогенізованих продуктів.

2 Сутність фізичного явища „кавітація“, його позитивні і негативні ефекти, застосування кавітації у переробній галузі.

3 Пульсаційні апарати роторного типу, область застосування, переваги і недоліки.

4 Фактори впливу робочих органів роторно-пульсаційних апаратів на середовище, що обробляється.

5 Будова і особливості конструкції роторних активаторів кавітації 1-ї групи.

6 Схеми апаратів 2-ї групи машин роторно-пульсаційного типу, принцип дії, сфера застосування.

7 Принцип дії роторно-пульсаційних апаратів з вібруючим ротором, конструкції і перспективи їх розвитку.

8 Будова і принцип дії лабораторної установки для роторно-пульсаційної гомогенізації молока.

8 Тестові завдання

1) Укажіть вірний перелік факторів, що діють на середовище, що обробляється, при його обробці на РПА.

1. механічні + гідродинамічні + гідроакустичні;
2. механічні + гідростатичні + гідроакустичні;
3. механічні + гідродинамічні + гравітаційні.

2) Для обробки яких систем не застосовують роторно-пульсаційні апарати (РПА)?

1. „рідина-рідина“;
2. „газ-тверде тіло“;
3. „газ-рідина“.

3) До якої температури попередньо підігрівають молоко перед обробкою у РПА?

1. 20...25 °С;
2. 60...65 °С;
3. 90...95 °С.

4) Укажіть максимальну амплітуду коливань ротора в експериментальній лабораторній установці РПА.

1. 1,5 мм;
2. 2,0 мм;
3. 3,0 мм.

5) За яким способом проводять обробку результатів експерименту з гомогенізації молока?

1. седиментаційним;
2. спектроскопічним.;
3. мікрофотографії

Рекомендована література

1. Промтов М.А. Пульсационные аппараты роторного типа. Теория и практика / М.А. Промтов. - М.: Машиностроение, 2001. - 247 с.
2. Балабудкин М.А. Роторно-пульсационные аппараты в химико-фармацевтической промышленности / М.А. Балабудкин. - М.: Медицина, 1983. - 160 с.
3. Гвоздев О.В. Машини і устаткування для переробки продукції тваринництва. Курс лекцій з дисципліни „Механізація переробки сільськогосподарської продукції“ / О.В. Гвоздев. - Мелітополь, ТДАТА. 2001.- 130 с.
4. Єресько Г.О. Технологія обладнання молочних виробництв / Г.О. Єресько, М.М. Шинкарик, В.Я. Ворощук - К.: “ІНКОС” центр навчальної літератури, 2007. - 344 с.