

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ  
Донецький національний університет економіки і торгівлі  
імені Михайла Туган-Барановського  
Навчально-науковий інститут ресторанно-готельного бізнесу та туризму  
Кафедра загальноінженерних дисциплін та обладнання

ДОПУСКАЮ ДО ЗАХИСТУ  
Гарант освітньої програми  
«Обладнання переробної і харчової  
промисловості»  
Хорольський В.П.  
« \_\_\_\_ » \_\_\_\_\_ 2023 року

**ПОЯСНЮВАЛЬНА ЗАПИСКА  
ДО КВАЛІФІКАЦІЙНОЇ РОБОТИ**  
на здобуття ступеня вищої освіти «Магістр»  
зі спеціальності 133 «Галузеве машинобудування»  
за освітньою програмою «Обладнання переробної і харчової промисловості»

на тему: **ДОСЛІДЖЕННЯ ПРОЦЕСУ ТА УДОСКОНАЛЕННЯ АПАРАТУ  
ДЛЯ ОТРИМАННЯ ХАРЧОВИХ ЕМУЛЬСІЙ**

Виконала:

здобувач вищої освіти Ільчишина Катерина Андріївна \_\_\_\_\_  
(прізвище, ім'я, по-батькові) (підпис)

Керівник:

к.т.н., доцент, Омельченко О.В. \_\_\_\_\_  
(посада, науковий ступінь, вчене звання, прізвище та ініціали) (підпис)

Засвідчую, що у кваліфікаційній  
роботі немає запозичень з праць інших  
авторів без відповідних посилань

Здобувач вищої освіти \_\_\_\_\_  
(підпис)

Кривий Ріг  
2023



6. Список використаних джерел.

5. Перелік графічного матеріалу (з точним зазначенням обов'язкових креслень):

1. Схеми обладнання для отримання харчових емульсій.
2. Кінематична схема апарату з віброприводом.
3. Схема реалізації вібромеханічного та віброструмового ефекту в рідкому середовищі.
4. Моделювання в MathCAD вібропереміщень робочого органу апарату.

6. Дата видачі завдання «1» вересня 2023 р.

7. Календарний план

№ з/п	Назва етапів кваліфікаційної роботи	Строк виконання етапів роботи
1	Вступ	4.09-20.09.2023 р.
2	Аналіз обладнання для отримання харчових емульсій	21.09-18.10.2023 р.
3	Удосконалення апарату для отримання харчових емульсій	19.10-08.11.2023 р.
4	Аналіз результатів досліджень	09.11-15.11.2023 р.
5	Висновки по роботі	16.11-22.11.2023 р.
6	Оформлення роботи і подання до захисту	23.11-26.11.2023 р.

Здобувач вищої освіти

\_\_\_\_\_

(підпис)

Ільчишина К.А.

\_\_\_\_\_

(прізвище та ініціали)

Керівник роботи

\_\_\_\_\_

(підпис)

Омельченко О.В.

\_\_\_\_\_

(прізвище та ініціали)

## РЕФЕРАТ

Обсяг і структура магістерської роботи. Повний обсяг магістерської роботи – 50 сторінок, в тому числі основного тексту – 42 сторінки. Робота містить: 22 рисунка. Список використаних джерел складається з 15 найменувань.

Об'єкт роботи – обладнання для отримання харчових емульсій (апарату вібраційного типу).

Предмет роботи – процес отримання харчових емульсій.

Мета роботи – дослідження процесу та удосконалення апарату для отримання харчових емульсій.

На основі аналізу, було зазначено, що вибір обладнання для отримання харчових емульсій обумовлено характеристикою процесу, властивостями середовища, що перемішується, продуктивністю технологічної лінії, температурними параметрами процесу та тиском, при якому здійснюється процес.

Пропонується для досягнення максимальної інтенсифікації процесу перемішування рідких середовищ та виключення застійних зон застосовувати апарат із використанням віброприводу робочого органу. Вібраційні впливи можуть суттєво прискорювати процеси, що протікають у рідкому середовищі. З метою удосконалення обладнання та процесу перемішування харчових емульсій пропонується безпосередньо в зону перемішування ввести роторний інерційний віброструмивник. Верхня частина ротора сполучається з маховиком, а разом вони є інерційним віброструмивником, використання якого дозволяє змінювати частоту та амплітуду коливань. Радіально-осьові коливання будуть створювати віброструмивний ефект.

Зазначено, що емульгування включає дві основні стадії: безпосередньо процес перемішування рідини і додавання стабілізаторів. З цією метою було проведено невелике дослідження з олією та водою, щоб показати, яку різницю можуть мати емульсії (на прикладі заправки для салату). Ємність однієї склянки перемішувалася за допомогою звичайного кухонного вінчика, друга склянка блендером, а у третю склянку додавався емульгатор. Результати показали, що у першій склянці емульсія відокремлюється відразу (вінчик). У другій склянці розділилася на два шари, але не так швидко і чітко, як у першій склянці (блендер). Третій стакан мав лише крихітну смужку поділу у верхній частині (емульгатор). Фактично, знадобилося майже 24 години, щоб у стакані де був емульгатор розділився на окремі шари.

Здійснено комп'ютерне моделювання вібропереміщень робочого органу апарату для отримання харчових емульсій, яке дозволило не тільки візуалізувати формування траєкторії руху точок на периферії дисків ротора, а й описати траєкторії руху рідкого середовища та його швидкість у різних напрямках за допомогою програми MathCAD.

**КЛЮЧОВІ СЛОВА:** харчові емульсії, апарати відцентрового типу, апарати вібраційного типу, апарати кавітаційного типу, перемішування харчових продуктів, стабілізатори, моделювання, віброструмивний ефект, радіально-осьові коливання.

					ДонНУЕТ.133.зГМБ-22м.2023.ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		4

## ЗМІСТ

ВСТУП	6
РОЗДІЛ 1. АНАЛІЗ ОБЛАДНАННЯ ДЛЯ ОТРИМАННЯ ХАРЧОВИХ ЕМУЛЬСІЙ	7
1.1 Особливості отримання харчових емульсій	7
1.2 Методи отримання харчових емульсій	8
1.3 Апарати відцентрового типу	11
1.4 Апарати вібраційного типу	14
1.5 Апарати кавітаційного типу	16
РОЗДІЛ 2. УДОСКОНАЛЕННЯ АПАРАТУ ДЛЯ ОТРИМАННЯ ХАРЧОВИХ ЕМУЛЬСІЙ	19
2.1 Інтенсифікація процесу перемішування харчових продуктів	19
2.2 Підвищення ефективності перемішування харчових емульсій за допомогою вібраційних впливів	23
2.3 Визначення споживаної потужності апарату вібраційного типу	30
РОЗДІЛ 3. АНАЛІЗ РЕЗУЛЬТАТІВ ДОСЛІДЖЕНЬ	33
3.1 Удосконалення процесу отримання однорідної харчової емульсії	33
3.2 Моделювання вібропереміщень робочого органу апарату для отримання емульсій	36
ВИСНОВКИ	38
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ	40
ДОДАТКИ	41

					<b>ДонНУЕТ.133.зГМБ-22м.2023.ПЗ</b>			
<i>Зм.</i>	<i>Арк.</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>				
<i>Розроб.</i>	<i>Ільчишина</i>				<b>Дослідження процесу та удосконалення апарату для отримання харчових емульсій</b>	<i>Літ.</i>	<i>Арк.</i>	<i>Аркушів</i>
<i>Перевір.</i>	<i>Омельченко</i>						5	1
<i>Н. Контр.</i>	<i>Омельченко</i>					<b>ДонНУЕТ Кафедра ЗІДО</b>		
<i>Затверд.</i>	<i>Хорольський</i>							

## ВСТУП

**Актуальність роботи.** У роботі зазначено, що харчова промисловість є однією з основних користувачів емульсійної технології, оскільки багато харчових продуктів існують в емульгованій формі, включаючи багато заправок, соусів, кремів і напоїв. Застосування емульсій не тільки пов'язує жирову сировину, а й дозволяє уникнути появи небажаних зон локальної концентрації в кінцевому продукті, а також сприяє покращенню якісних складових.

**Мета та задачі дослідження.** Метою магістерської роботи є дослідження процесу та удосконалення апарату для отримання харчових емульсій.

**Практична та наукова новизна.** На основі аналізу, було зазначено, що вибір обладнання для отримання харчових емульсій обумовлено характеристикою процесу, властивостями середовища, що перемішується, продуктивністю технологічної лінії, температурними параметрами процесу та тиском, при якому здійснюється процес.

Пропонується для досягнення максимальної інтенсифікації процесу перемішування рідких середовищ та виключення застійних зон застосовувати апарат із використанням віброприводу робочого органу. Вібраційні впливи можуть суттєво прискорювати процеси, що протікають у рідкому середовищі. З метою удосконалення обладнання та процесу перемішування харчових емульсій пропонується безпосередньо в зону перемішування ввести роторний інерційний віброзбудник. Верхня частина ротора сполучається з маховиком, а разом вони є інерційним віброзбудником, використання якого дозволяє створювати радіально-осьові коливання для віброструмового ефекту

Зазначено, що емульгування включає дві основні стадії: безпосередньо процес перемішування рідини і додавання стабілізаторів. З цією метою було проведено невелике дослідження з олією та водою, щоб показати, яку різницю можуть мати емульсії (на прикладі заправки для салату). Ємність однієї склянки перемішувалася за допомогою звичайного кухонного вінчика, друга склянка блендером, а у третю склянку додавався емульгатор. Результати показали, що у першій склянці емульсія відокремлюється відразу (вінчик). У другій склянці розділилася на два шари, але не так швидко і чітко, як у першій склянці (блендер). Третій стакан мав лише крихітну смужку поділу у верхній частині (емульгатор). Фактично, знадобилося майже 24 години, щоб стакан де був емульгатор розділився на окремі шари.

Здійснено комп'ютерне моделювання вібропереміщень робочого органу апарату для отримання харчових емульсій, яке дозволило не тільки візуалізувати формування траєкторії руху точок на периферії дисків ротора, а й описати траєкторії руху рідкого середовища та його швидкість у різних напрямках за допомогою програми MathCAD.

					<b>ДонНУЕТ.133.зГМБ-22м.2023.ПЗ</b>			
<i>Зм.</i>	<i>Арк.</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>				
<i>Розроб.</i>		<i>Льчишина</i>			<b>Дослідження процесу та удосконалення апарату для отримання харчових емульсій</b>	<i>Літ.</i>	<i>Арк.</i>	<i>Аркушів</i>
<i>Перевір.</i>		<i>Омельченко</i>					6	1
<i>Н. Контр.</i>		<i>Омельченко</i>				<b>ДонНУЕТ Кафедра ЗІДО</b>		
<i>Затверд.</i>		<i>Хорольський</i>						

# РОЗДІЛ 1

## АНАЛІЗ ОБЛАДНАННЯ ДЛЯ ОТРИМАННЯ ХАРЧОВИХ ЕМУЛЬСІЙ

### 1.1 Особливості отримання харчових емульсій

Харчова промисловість є однією з основних користувачів емульсійної технології, оскільки багато харчових продуктів існують в емульгованій формі, включаючи багато заправок, соусів, кремів і напоїв. У різних галузях харчової індустрії, зокрема в олійно-жировій промисловості, активно задіяні харчові емульсії для розширеного асортименту напівфабрикатів, а також напоїв та спеціальних молочних продуктів. Застосування емульсій не тільки пов'язує жирову сировину, а й дозволяє уникнути появи небажаних зон локальної концентрації в кінцевому продукті, а також сприяє покращенню якісних складових.

Щоб отримати харчові емульсії, як правило, застосовують рослинні жири, питну воду та сироватковий молочний білок. Співвідношення компонентів може бути різним, залежно від використовуваних інгредієнтів. Отримана за відповідними режимами готова емульсія має густу консистенцію, але при цьому вона практично не має запаху вихідної сировини та нейтральна на смак.

У процесі переробки кінцевий продукт емульсія зберігає свої початкові властивості і практично не має втрат у вазі. Ключовим і найбільш поширеним способом, що використовується для отримання емульсії, є максимальне подрібнення її складових елементів у водному середовищі, що називається диспергуванням [4, 6]. Дисперсна (внутрішня) фаза та дисперсійне середовище (зовнішня фаза) складають будь-яку неоднорідну бінарну систему, що складається з розподілених частинок дисперсної фази. Залежно від фізичного стану фаз розрізняють: емульсії, суспензії тощо.

Емульсії – це дисперсні системи, що складаються з мікроскопічних крапель рідини (дисперсна фаза), які розподілені в іншій рідині (дисперсійне середовище) [2, 3, 5, 10]. Нерозчинність речовини дисперсної фази – основна умова утворення емульсії. Рідини, з яких одержують емульсії, нерозчинні одна в одній. Найчастіше цими рідинами є олія (нерозчинна у воді рідина) та вода. Емульсії – системи нестійкі. Стійкості емульсіям надає третій компонент – стабілізатор або емульгатор. До емульсій відносять: молоко, вершки, майонез, вершкове масло, маргарин, крем, емульсії для змащування хлібних форм, рідкі суміші для м'якого морозива, продукти з біологічно активними добавками.

Емульсії виготовляють шляхом диспергування однієї рідини до іншої. До механічних способів диспергування відносяться перемішування та збовтування. Диспергування збовтуванням здійснюється зворотно-поступальним рухом

					<b>ДонНУЕТ.133.зГМБ-22м.2023.ПЗ</b>			
<i>Зм.</i>	<i>Арк.</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>				
<i>Розроб.</i>	<i>Льчишина</i>				<b>Дослідження процесу та удосконалення апарату для отримання харчових емульсій</b>	<i>Літ.</i>	<i>Арк.</i>	<i>Аркушів</i>
<i>Перевір.</i>	<i>Омельченко</i>						7	12
<i>Н. Контр.</i>	<i>Омельченко</i>					<b>ДонНУЕТ Кафедра ЗІДО</b>		
<i>Затверд.</i>	<i>Хорольський</i>							

ємності в якій знаходиться суміш рідин або спеціальним пристосуванням, що знаходиться всередині рідини (наприклад, спіральною пружиною). В основі методів перемішування лежить використання мішалок різних типів.

Існує декілька різновидів емульсій, що мають відмінності в послідовності змішування, природи використовованого емульгатора та способу, яким він вводиться, а також нюансів техніки емульгування. При необхідності отримання емульсії типу «масло-вода» здійснюють додавання олії до водяної маси. При цьому, до того як буде здійснено змішування у воду або масло попередньо додають емульгатор, розчиняючи його там. Утворення системи «вода в олії» відбувається за умови, що у розчинений в масляній основі емульгатор додається вода.

Емульсії – це колоїдні дисперсії, які складаються щонайменше з двох рідин, що не змішуються (зазвичай води та олії), причому одна з них диспергується в іншій у вигляді дрібних крапель [5, 8, 10, 12]. Принципи емульсійної технології зазвичай використовуються в харчовій промисловості для створення широкого спектру емульгованих харчових продуктів таких як напої, молоко, вершки, соуси, десерти, заправки, майонез, маргарин і масло. Природа емульсій наділяє ці продукти чіткими функціональними атрибутами, такими як бажаний зовнішній вигляд, текстура тощо. Звичайні емульсії складаються з численних крапель рідини, покритих емульгатором, диспергованих в іншому рідкому середовищі, що не змішується.

Існує значний простір для зміни властивостей звичайних емульсій, вибираючи різні типи емульгаторів, додаючи різні добавки (такі як загусники або гелеутворювачі), змінюючи їх розподіл крапель за розміром або маніпулюючи співвідношенням олії до води. В результаті можна отримати різні фізико-хімічні, сенсорні та харчові ознаки. Однак, звичайні емульсії мають деякі обмеження для певних застосувань у харчовій промисловості. Наприклад, вони схильні до руйнування через механізми фізичної нестабільності, такі як гравітаційне розділення та агрегація крапель. Крім того, високий вміст жиру часто потрібен для утворення емульсій «масло у воді» з в'язкою або напівтвердою текстурою, що є недоліком для створення низькокалорійних версій деяких продуктів.

## 1.2 Методи отримання харчових емульсій

Висока вільна енергія межі розділу (масло-вода) емульсії обумовлює її власну нестійкість. Як правило, високоенергетичний метод приготування емульсії вимагає використання спеціального обладнання, такого як гомогенізатори високого тиску, ультразвукові диспергатори або мікрофлюїдизатори для забезпечення енергії для емульгування, доповненої відповідною поверхнево-активною речовиною. Це допомагає розщепити емульсію на більш дрібні краплі і дозволяє поверхнево-активній речовині щільніше адсорбуватися на межі між гідрофільними і гідрофобними середовищами. Тип обраного дисперсійного гомогенізатора, умови роботи (такі як енергоємність, тривалість і температура), склад емульсії (наприклад, тип масла, тип емульгатора та відносна концентрація) та фізико-хімічні властивості

					ДонНУЕТ.133.зГМБ-22м.2023.ПЗ	Арк.
						8
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		



компонентних фаз (такі як міжфазний натяг та в'язкість) значною мірою впливають на розмір крапель, що утворюються цими високоенергетичними пристроями.

#### *Гомогенізація під високим тиском*

Гомогенізатор високого тиску зазвичай використовується для виробництва харчових емульсій, щоб забезпечити стабільність емульсії. Великі краплі емульсії перетворюються на дрібні під дією механічних сил, таких як високошвидкісний зсув, високочастотні коливання, ефект кавітації та конвективний удар. Емульсія потрапляє у вузький зазор між ротором і статором, механічні та рідинні сили обертання поєднуються, щоб розсіяти краплі. Зі зменшенням розміру крапель емульсії швидкість емульгування зменшується, а стабільність емульсії підвищується. З іншого боку, зі збільшенням тиску молекули поверхнево-активної речовини в емульсії більше адсорбуються на межі розділу масло-вода під час гомогенізації. Після утворення нової плівки дії молекули активної речовини стабілізуються та захищають двома способами: зменшуючи міжфазну напругу та утворюючи захисний шар для запобігання агрегації крапель. Однак, гомогенізація під високим тиском підходить лише для приготування емульсій з вмістом масляної фази менше 20%. Якщо мова йде про рецептуру високов'язких або кремоподібних емульсій із середнім діаметром крапель менше 200 нм, гомогенізація під високим тиском не застосовується.

#### *Ультразвукове емульгування*

Ультразвук привертає все більшу увагу як нова технологія в харчовій промисловості. Ультразвук може використовуватися на різних частотах, високочастотній (100 кГц і 1 МГц) і низькій частоті (16-100 кГц). Принцип диспергування емульсії ультразвуковим показаний на рис. 1.1, який складається з генератора, перетворювача, підсилювача і зонда. Там, де генератор генерує високочастотну електричну енергію, перетворювач перетворює електричну енергію в механічні коливання аналогічної частоти, підсилювач підсилює механічні коливання для подальшого поширення через металевий лист і, нарешті, зонд вібрує у вигляді приєднаної акустичної хвилі [6, 9, 12].

Приготування емульсій ультразвуком, як правило, відбувається за двоетапною підготовкою. Насамперед необхідно сформувати дисперсну фазу з великої кількості крапель в суцільну фазу. Цей процес обумовлений застосованим ультразвуковим впливом дисперсійного розриву. Другим етапом є подальше розкладання більших крапель на більш дрібні шляхом фізичного зсуву і акустичної кавітації в середовищі. Загалом, збільшення потужності та часу ультразвуку може ефективно зменшити розмір крапель. Однак, надмірне збільшення потужності і часу ультразвуку призведе до підвищення температури, розриву крапель і повторного розплавлення, а також зниження стабільності емульсії. Дослідження показали, що зі збільшенням потужності ультразвуку з 50 Вт до 150 Вт розмір частинок емульсії різко зменшився з 0,87 до 0,62 мкм [9, 14, 15]. При збільшенні потужності ультразвуку з 150 до 350 Вт розмір частинок емульсії повільно знижувався до мінімуму 0,58 мкм. Коли потужність ультразвуку знову збільшили до 450 Вт, розмір частинок досяг мінімуму в 0,51 мкм.

						ДонНУЕТ.133.зГМБ-22м.2023.ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата			9

*Мікрофлюїдизація* – це техніка, яка поєднує високий тиск, високошвидкісні удари, високочастотні вібрації, перехідні перепади тиску, сильні швидкості зсуву та гідродинамічну кавітацію для руйнування структур [1, 3, 6]. У порівнянні з основними методами гомогенізації, згаданими вище (гомогенізація під високим тиском і ультразвук), в харчовій промисловості вона має інший принцип роботи: мікроструменева машина використовує насос для проштовхування попередньо змішаної грубої емульсії через вузькі отвори під високим тиском, щоб викликати фрагментацію крапель. Проточний інжектор містить простори взаємодії, де рідина, що протікає по каналах, розсіюється при надзвичайно високій напрузі і дуже високих швидкостях потоку, а внаслідок раптового зменшення діаметра трубки рідина розщеплюється на два або більше мікроструменів.

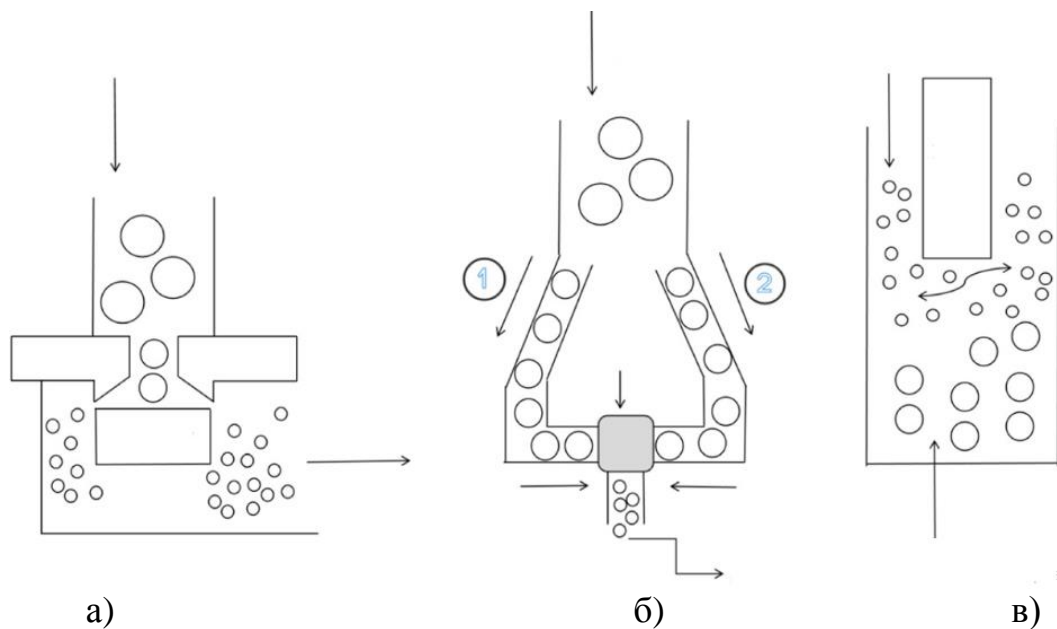


Рисунок 1.1 – Методи отримання харчових емульсій  
 а) гомогенізація під високим тиском; б) мікроструменевий метод; в) метод мікрофлюїдизації

Високошвидкісний потік мікропотоків стикається один з одним і сильно впливає на внутрішні стінки камери, в результаті чого частинки знову розпадаються на дуже дрібні краплі, утворюючи таким чином емульсію. Емульсія збирається на виході в кінці з'єднувальної камери взаємодії з вихідною трубою великого діаметру для забезпечення миттєвої швидкості струменя та падіння тиску, що спричиняє незворотні структурні зміни емульсії. Хоча мікрофлюїдизація може виробляти високостабільні, однорідні емульсійні системи за допомогою високого тиску, високошвидкісного удару, кавітації та сильного зсуву, це один із найперспективніших методів приготування високостабільних емульсій [6, 8, 10, 15]. Однак, крім цих переваг, розмір крапель зменшується зі збільшенням кількості отворів в машині, збільшенням тиску та іншими умовами, що призводить до збільшення розміру частинок. Дослідження показують, що при збільшенні тиску від 50 до 150 МПа розмір частинок зменшується з  $6,75 \pm 0,05$  до  $6,27 \pm 0,02$  мкм.

### 1.3 Апарати відцентрового типу

Відцентровий спосіб полягає в механічному впливі на рідке середовище, яке може здійснюватися обертанням робочого органу мішалки, що захоплює за собою рідину, що перемішується. Схема центробіжного способу перемішування для отримання харчових емульсій представлена на рис. 1.2.

При цьому способі забезпечується слабка інтенсивність перемішування, оскільки переважає окружний потік рідини на який впливає окружна швидкість і відцентровий критерій Рейнольдса [7, 8, 9].

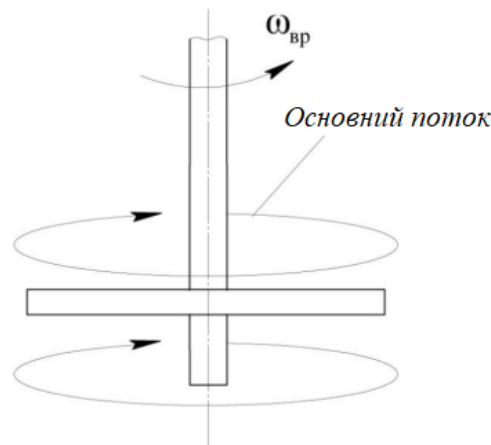


Рисунок 1.2 – Центробіжний спосіб перемішувань [6]

$$V = R \omega_{\text{ВР}}$$

де  $V$  – окружна швидкість обертання;  
 $\omega_{\text{ВР}}$  – кутова швидкість обертання;  
 $R$  – радіус диска.

$$Re_{\text{ц}} = \frac{\rho n d_{\text{м}}^2}{\mu}$$

де  $Re_{\text{ц}}$  – центральний критерій Рейнольдса;  
 $\rho$  – щільність середовища;  
 $n$  – число оборотів мішалки;  
 $d_{\text{м}}$  – діаметр мішалки;  
 $\mu$  – коефіцієнт динамічної в'язкості.

#### *Відцентрові гомогенізатори*

На ефективність процесу гомогенізації в апаратах відцентрового типу впливає головним чином тиск, під дією якого рідке середовище виходить із щілинних отворів (або сопел) обертового ротора і для зниження швидкості продукту вдаряється в пристосування. До переваг відцентрових апаратів відноситься: простота конструкції, низька металомісткість, відсутність швидкозношуваних деталей. Недоліками є те, що на виході її з сопел або

					ДонНУЕТ.133.зГМБ-22м.2023.ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		11

щільних отворів ротора неможливо створити високий тиск рідкого середовища [7, 8, 9]. Відцентровий гомогенізатор рідких середовищ складається з ротора 1 з коаксіально розміщеною приймальною камерою циліндричної форми 2, що поєднується з вихідними соплами 3, рис. 1.3. При цьому ступінь гомогенізації залежить від швидкості рідкого технологічного середовища на виході із сопла, яка пов'язана з тиском, створюваним відцентровою силою і з частотою обертання ротора. Основним недоліком даного апарату є висока споживана потужність.

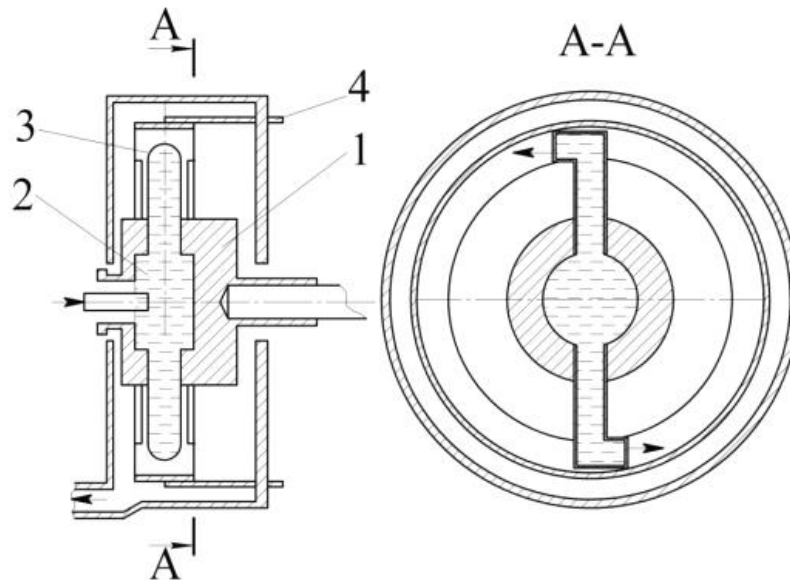


Рисунок 1.3 – Відцентровий гомогенізатор

#### *Апарати з мішалками*

Мішалки можна розділити на швидкохідні та тихохідні. До швидкохідних мішалок відносяться пропелерні, турбінні, дискові, лопатеві тощо. При цьому турбінні мішалки закритого та відкритого типу, а також відкриті турбінні мішалки з різними формами лопаток дозволяють створювати потік рідкого середовища, що є радіальним. Для створення осьового потоку використовують пропелерні мішалки, а для радіально-осьового – турбінні мішалки із встановленими під нахилом лопатками. При цьому враховується форма лопатей та спосіб їх встановлення. Через утворені воронки в апаратах швидкохідних мішалок встановлюють відбивні перегородки, які розташовуються біля самої стінки апарату для перемішування рідин з малою в'язкістю або на відстані від неї для рідин середньої в'язкості.

Найширшу область застосування мають пропелерні та турбінні мішалки, які використовуються для перемішування рідин з великим діапазоном в'язкості, рис. 1.4.

						ДонНУЕТ.133.зГМБ-22м.2023.ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата			12

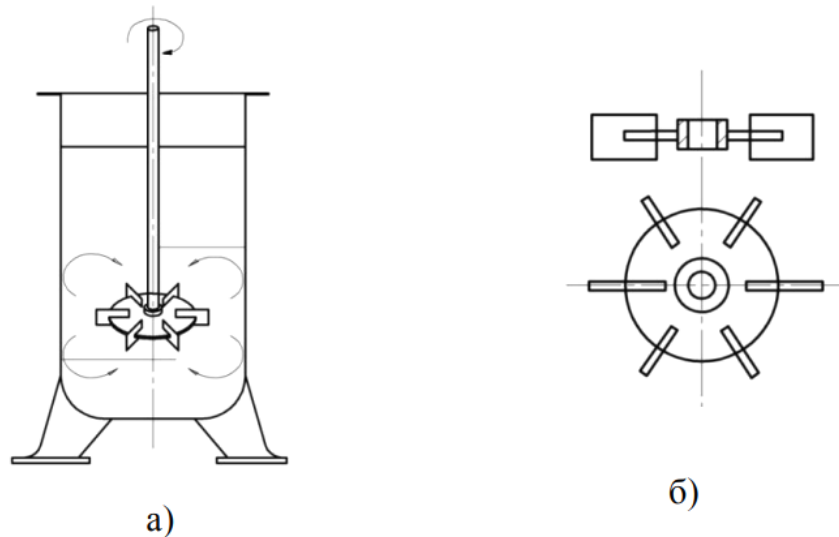


Рисунок 1.4 – Турбінна відкрита мішалка  
а) загальний вигляд апарату; б) прямі лопатки мішалки

При цьому, високошвидкісні мішалки придатні для перемішування рідин з низькою в'язкістю, а для рідин з великою в'язкістю тихохідні мішалки. Турбінні та пропелерні мішалки використовують для перемішування і диспергування рідин, що не змішуються. Турбінні мішалки мають ротор з лопатками [7, 8, 9]. Якщо лопатки мішалки поміщені в корпус то таку мішалку називають закритою турбінною, а якщо не укладені – відкритою. У промисловості використовуються різні типи мішалок, основною відмінністю яких є спосіб кріплення лопаток та їх конфігурація. Основними недоліками турбінних мішалок є високе енергоспоживання та низька продуктивність. Пропелерні мішалки дозволяють значно збільшити циркуляцію рідкого середовища в апараті при цьому мінімізувати витрату механічної енергії за рахунок насосного ефекту, рис. 1.5.

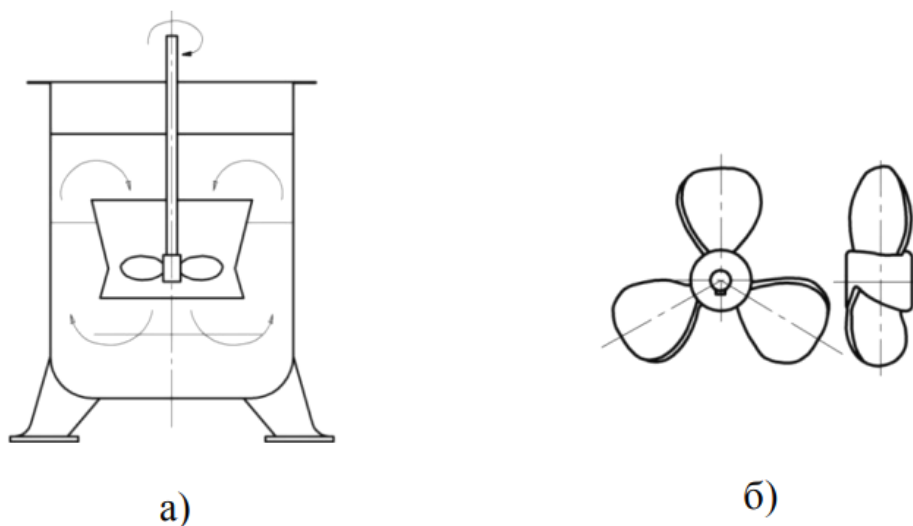


Рисунок 1.5 – Пропелерна мішалка  
а) загальний вигляд апарату; б) пропелер мішалки

Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата

Пропелерні мішалки використовують для приготування емульсій, для стимуляції процесів розчинення та процесів, що протікають з хімічними реакціями, для гомогенізації мало в'язких рідин.

Лопатеві мішалки використовують у тому випадку, якщо немає необхідності в інтенсивній радіально-осьовій циркуляції рідкого середовища на апараті, бо в основному вони створюють окружну циркуляцію. Лопатева мішалка представлена на рис. 1.6.

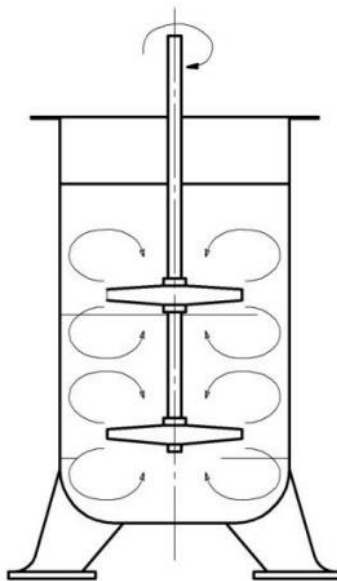


Рисунок 1.6 – Лопатева мішалка

До основних переваг лопатевих мішалок відноситься простота конструкції, а також низька вартість, а до недоліків – слабка інтенсивність перемішування.

У процесах диспергування в'язких гетерогенних середовищ використовуються дискові мішалки. При обертанні ротора такої мішалки в рух приводиться шар рідини по обидва боки диска, який є прикордонним («прилиплим»). Потім рухаються й інші шари під дією в'язкісних сил. Головним недоліком дискових мішалок є слабка циркуляція рідини в апараті, а також мала зона дії.

#### 1.4 Апарати вібраційного типу

При вібраційному способі перемішування може бути використано зворотно-поступальний рух робочого органу, що забезпечує примусове проштовхування рідкого середовища через конічні отвори, тим самим створюючи турбулізацію рідини, при цьому утворюються застійні зони, де інтенсивність перемішування мала, рис. 1.7.

						ДонНУЕТ.133.зГМБ-22м.2023.ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата			14

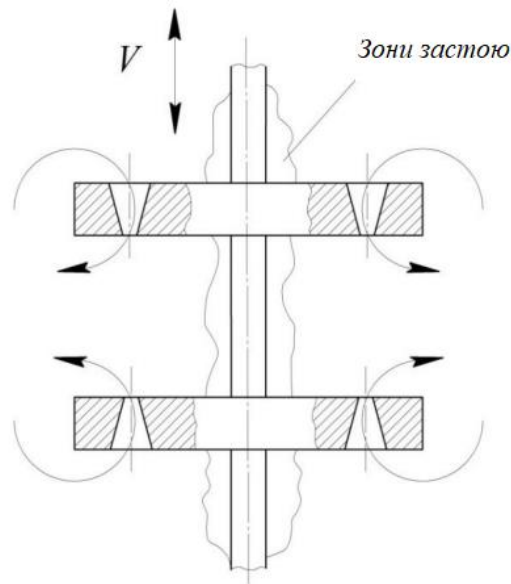


Рисунок 1.7 – Вібраційний спосіб перемішування

При цьому на число Рейнольдса впливає швидкість руху штока з дисками  $V$  [7].

$$V = \omega 2a$$

де  $\omega$  – частота коливань мішалки;  
 $a$  – амплітуда коливань.

$$Re = \frac{V 2h}{\nu}$$

де  $Re$  – число Рейнольдса;  
 $h$  – відстань між дисками;  
 $\nu$  – кінематична в'язкість.

#### Клапанні гомогенізатори

Молочна промисловість, як правило, оснащена клапанними гомогенізаторами А1-ОГ2-С, К5-ОГА-1,2, А1-ОГМ, К5-ОГА-Ю. Принцип дії клапанних гомогенізаторів заснований на тому, що рідке середовище подається під тиском в кільцевий канал між клапаном 1 і сідлом 2 та продавлюється через вузьку кільцеву щілину між ними, 1.8.

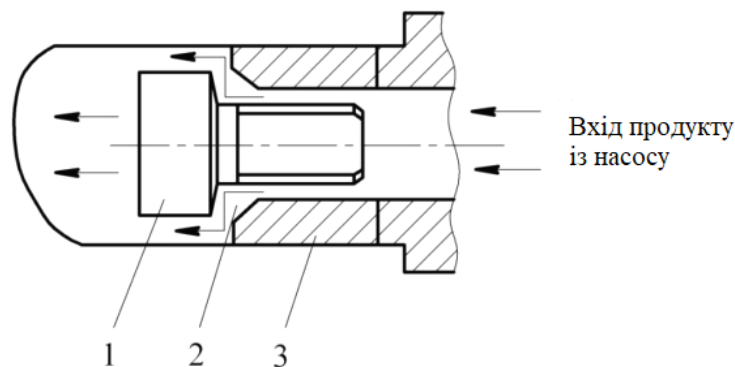


Рисунок 1.8 – Гомогенізуючий вузол

Ступінь дисперсності рідкого середовища збільшується, бо відбувається дроблення жирових кульок [3, 4, 6]. До недоліків гомогенізаторів клапанного типу відноситься: підвищена витрата електроенергії, у зв'язку зі створенням високого тиску, наявність деталей, що швидко зношуються, а також металомісткість.

#### *Вібраційна мішалка*

Вібраційні впливи можуть суттєво прискорювати процеси, що протікають у рідкому середовищі на граничних поверхнях різних фаз, тобто в сумішах типу суспензій, емульсій та потоків бульбашок газу в рідині. З цією метою знаходять застосування різні способи вібраційної дії [7, 8, 9]. Принцип дії вібраційної мішалки полягає в тому, що весь об'єм рідкого середовища в камері апарату приводять в повільний коливальний рух зі значною амплітудою переміщення. При цьому створюють безліч затоплених турбулентних струменів у обсязі рідкого середовища, що знаходяться у камері апарату, рис. 1.9.

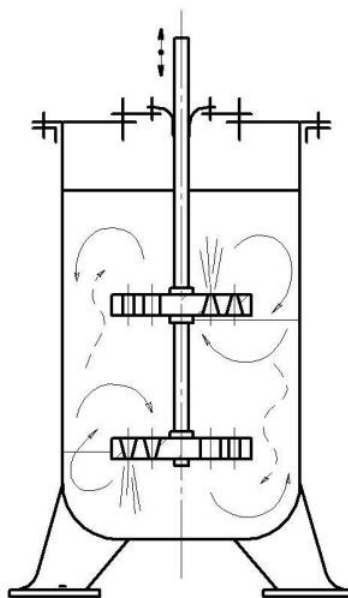


Рисунок 1.9 – Вібраційна мішалка

Струмені утворюються за рахунок вертикальних коливань дисків 1, встановлених на штоку 2. Диски забезпечені конусними отворами, через які викидаються струмені рідини в напрямку, які протилежні напрямку коливального руху диска. При цьому відбувається інтенсивне перемішування середовища, що супроводжується її циркуляцією в апараті. До недоліків вібраційних мішалок можна віднести утворення застійних зон, що не дозволяють досягти максимальної турбулізації рідкого середовища та обмеження довжини штока.

### **1.5 Апарати кавітаційного типу**

При кавітаційному способі примусове просування рідини через отвори здійснюється відцентровими силами де в силу малості зазору між ротором, що

					ДонНУЕТ.133.зГМБ-22м.2023.ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		16



обертається, і нерухомим статором ще й відбувається поряд з руйнуванням міжмолекулярних зв'язків, руйнація біологічної складової продукту, що у деяких випадках абсолютно неприйнятно, бо порушується харчова цінність та засвоюваність продукту, наприклад, під час виробництва кисломолочної продукції [7, 8, 9], рис. 1.10.

$$V = \omega_{\text{вр}} R_2^2 \cdot \frac{R_c^2 - r^2}{R_c^2 - R_p^2} \cdot \frac{1}{r}$$

де  $R$  – радіус поверхні;  
 $R_c$  – радіус статора;  
 $R_p$  – радіус ротора;  
 $r$  – радіальна координата.

$$Re = \frac{\rho \omega_{\text{вр}} R \delta}{\mu}$$

де  $\delta$  – величина зазору між поверхнями ротора та статора;  
 $\omega_{\text{вр}}$  – кругова частота обертання.

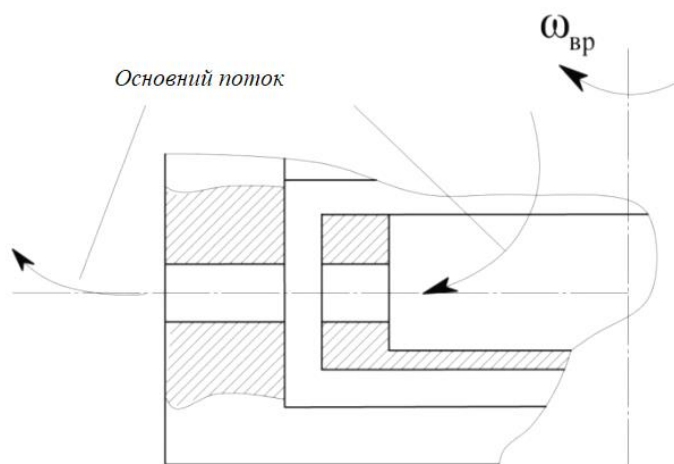


Рисунок 1.10 – Кавітаційний спосіб перемішування

До групи кавітаційних апаратів відносяться різні конструкції роторно-імпульсних апаратів в яких реалізується багатофакторний імпульсний вплив на оброблене середовище. У порожнину ротора через вхідний патрубок надходить оброблюване середовище, де під дією зовнішнього тиску рідини і тиску, яке створюється відцентровими силами, витікає в камеру через патрубків, що утворюють модулятор [7, 8, 9]. У цьому модуляторі оброблюване середовище піддається багатофакторному впливу: інтенсивна кавітація, мікромасштабні пульсації тиску, ударні хвилі тощо. З камери рідина витікає через трубопровід, що є вихідним, і подається для повторної обробки на лінію рециркуляції, рис. 1.11.

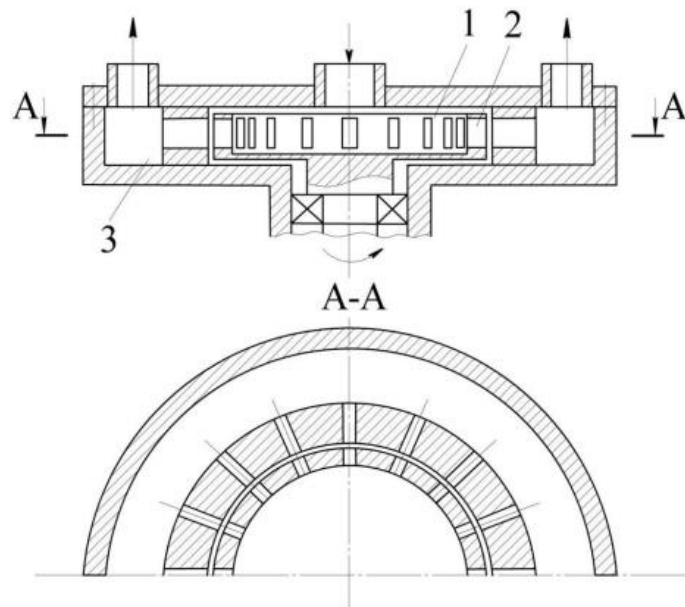


Рисунок 1.11 – Схема роторно-імпульсного апарату

Для збільшення інтенсивності процесу в деяких апаратах, зокрема апаратах Біглера, для підвищення швидкості додатково встановлюють ще відцентровий насос [7, 8, 9]. До загальних недоліків цих апаратів можна віднести складність конструкції. В деяких випадках, руйнівний вплив на мікроорганізми біологічно корисної дії, за рахунок схлопування кавітаційних бульбашок, при якому утворюються місця підвищеної температури та виникають ударні хвилі є джерелами шуму. Також цей вплив веде до руйнування робочих органів апарату.

На основі аналізу, можна зазначити, що серед апаратів, що використовуються для отримання харчових емульсій переважаними є кавітаційні апарати, що реалізують багатфакторний імпульсний вплив але при цьому поряд із руйнуванням міжмолекулярних зв'язків робочої рідини, відбувається руйнування біологічної складової продукту, що в деяких випадках абсолютно неприйнятно, бо порушується харчова цінність та засвоюваність продукту.

При приготуванні харчових емульсій доцільно застосовувати обладнання для створення коливань робочого рідкого середовища, яке дозволяє збільшити циркуляцію потоків. Існуючі конструкції вібраційних мішалок не дозволяють досягти максимальної турбулізації рідкого середовища через наявність застійних зон.

## РОЗДІЛ 2

# УДОСКОНАЛЕННЯ АПАРАТУ ДЛЯ ОТРИМАННЯ ХАРЧОВИХ ЕМУЛЬСІЙ

### 2.1 Інтенсифікація процесу перемішування харчових продуктів

Емульгування – це майже мистецтво, оскільки воно передбачає як інтенсивність змішування, так і використання стабілізаторів. Більшість емульсій є комбінацією масляної та водної фаз, диспергованих одна в іншій. Однак, деякі емульсії включають більше двох рідких фаз або присутність дисперсних порошків. Якщо краплі дисперсної фази досить малі, дисперсія не відділятиметься, особливо якщо присутня поверхнево-активна речовина, яка діє як стабілізатор. Такі звичайні продукти, як майонез є емульсією.

Перемішування застосовується для приготування емульсій, суспензій та отримання однорідної, гомогенної суміші з різних компонентів, а також для інтенсифікації теплових та дифузійних процесів (створення стійкого молока, приготування різних десертів, морозива, напоїв, маргарину, кулінарних та кондитерських жирів, а також широкого спектру напівфабрикатів).

У процесах тепло та масообміну швидкість перенесення буде тим вища, чим вища інтенсивність перемішування, так як при цьому збільшується поверхня контакту фаз. При отриманні емульсій із двох і більше взаємно нерозчинних рідин, наприклад води та олії, процес перемішування пов'язаний з низкою особливостей, а саме необхідність отримання емульсій стійких у часі. Способи перемішування та вибір обладнання залежить від мети перемішування та агрегатного стану сировини, що підлягає перемішуванню.

Вибір обладнання та їх конструктивні особливості обумовлені характеристикою процесу, властивостями середовища, що перемішується, продуктивністю технологічної лінії, температурними параметрами процесу та тиском, при якому процес здійснюється. Таке різноманіття чинників, що впливають на вибір конструкції, ускладнює завдання оптимального проектування змішувачів. При цьому виникає потреба в такому устаткуванні, яке б легко вбудовувалося в автоматизовані лінії та забезпечувало автоматизований контроль за якістю готової продукції.

Для інтенсифікації процесів, що відбуваються при перемішуванні, необхідно використовувати такі шляхи та підходи, які дозволяли б збільшити циркуляцію потоків при одночасному зниженні енергоспоживання та металомісткості. Створення та удосконалення високоефективного обладнання неможливо без інтенсифікації гідродинамічних та теплових процесів із застосуванням перемішуючого обладнання.

					<b>ДонНУЕТ.133.зГМБ-22м.2023.ПЗ</b>			
<i>Зм.</i>	<i>Арк.</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>				
<i>Розроб.</i>		<i>Льчишина</i>			<b>Дослідження процесу та удосконалення апарату для отримання харчових емульсій</b>	<i>Літ.</i>	<i>Арк.</i>	<i>Аркушів</i>
<i>Перевір.</i>		<i>Омельченко</i>					19	14
<i>Н. Контр.</i>		<i>Омельченко</i>				<b>ДонНУЕТ Кафедра ЗІДО</b>		
<i>Затверд.</i>		<i>Хорольський</i>						

Деяке обладнання для покращення процесу змішування удосконалюють шляхом виконання кількох різних видів змішування в одній ємності. Багатовальний змішувач складається з розташованого по центру змішувача з низькошвидкісним робочим колесом у формі якоря та двома парами скошених лопатей, прикріплених до валу; середньошвидкісний, нецентральний, кутовий змішувач із двома турбінами з нахилом лопатей і нецентральний високошвидкісний диспергатор, встановлений під кутом із робочим колесом із зубчастим диском, рис. 2.1.

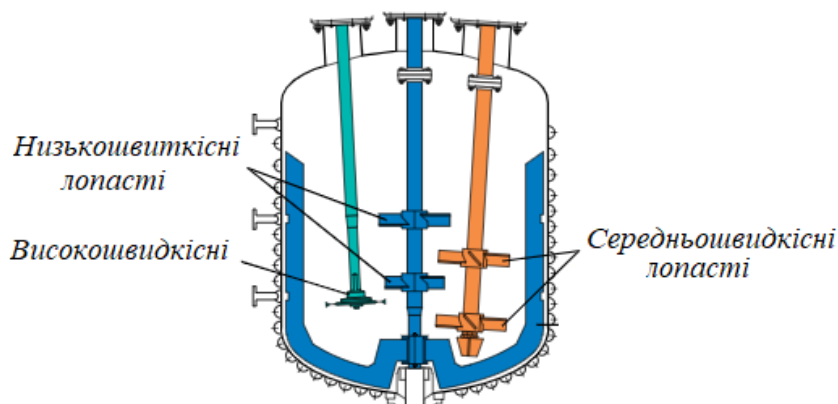


Рисунок 2.1 – Змішувальна ємність з різними типами робочих лопатей

Обладнання може виконувати декілька видів змішування. Три змішувачі можуть працювати окремо або в різних комбінаціях в залежності від вимог технологічного процесу. Велика робоча крильчатка повільно обертається, щоб забезпечити рух біля стінки бака. Пара скошених лопатей, прикріплених до центрального валу, майже не сприяє змішуванню через малий діаметр і низьку швидкість. Два середньошвидкісних працюють на проміжних швидкостях, типових для робочих коліс турбіни [1, 3, 4, 15]. Турбінний змішувач забезпечує циркуляцію та змішування. Високошвидкісний змішувач із пиловим лезом забезпечує можливість диспергування рідини.

Цей тип багатовального змішувального резервуару призначений для змішування широкого діапазону продуктів з різною в'язкістю. При в'язкості від низької до середньої змішувач має бути в змозі здійснювати ефективне змішування, навіть якщо він не центрований у баку. Скошені лопаті можуть створювати вертикальні та радіальні рухи, оскільки лопаті якоря та центральний вал діють як помірно ефективні перегородки. Пилоподібний міксер із високим зусиллям зсуву може створювати емульсію, яка може збільшити в'язкість продукту. Коли в'язкість збільшується, робоче колесо забезпечує перемішування. Кілька робочих коліс можуть дати задовільні результати в діапазоні різних розмірів партій або змінних рівнів рідини під час підготовки сировини.

При високій в'язкості робочі колеса зі скошеними лопатями (тобто змішані) перестають створювати осьовий потік і діють більше як робочі колеса з радіальним потоком, особливо щодо рециркуляційних моделей потоку. Потужність робочого колеса та накачування в ламінарному потоці пропорційні

					<b>ДонНУЕТ.133.зГМБ-22м.2023.ПЗ</b>	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		20

діаметру робочого колеса, тому лопаті з малим кроком майже не сприяють руху рідини. Кінцевим результатом є те, що цей багатовальний змішувач погано справляється зі створенням однорідності емульсії в ламінарному потоці. Усе, що додається на поверхню в'язкої рідини, потребуватиме тривалого часу – від багатьох хвилин до годин – для однорідного змішування.

Усунення нецентрального змішувача може знизити ефективність змішування в рідинах від низької до середньої в'язкості. Високошвидкісний вал із подвійними пилоподібними робочими колесами все ще може забезпечувати ефективно розсіювання або, можливо, навіть краще розпилення, ніж інший змішувач.

Найсуттєвіша різниця в продуктивності походить від модифікованого робочого колеса. Найефективнішою конструкцією робочого колеса для змішування рідин з високою в'язкістю є спіральна стрічка. Незважаючи на те, що її зрідка застосовують у системах із низькою в'язкістю через високу вартість, вона також чудово працює при низькій в'язкості. Куткові еліптичні лопаті, які прикріплені до опорного робочого колеса, є економічно ефективною заміною гвинтової стрічки. Такі куткові лопаті можна додати майже до будь-якого опорного робочого колеса для покращення вертикального змішування. Збільшення потужності, необхідної для додаткових лопатей, може бути в межах можливостей існуючого приводу змішувача; якщо ні, незначне зниження швидкості може тримати її в межах потужності двигуна.

Вирішальним фактором у покращенні продуктивності будь-якого робочого колеса є створення вертикального руху, особливо у в'язких рідинах. Руху біля стінки резервуара недостатньо для створення рівномірності концентрації та температури. Іншим способом покращити змішування високої в'язкості може бути використання нижчої швидкості обертання. Рідинам з високою в'язкістю потрібен час для течії, а висока швидкість обертання може спричинити обертання рідини як тверде тіло або розрізання лезом, що швидко рухається.

Отримання харчових емульсій значно спрощується при паралельному накладанні ультразвуку. Таким чином, вдається добиватися більш високого показника дисперсності, що відіграє істотну роль при емульсійному виробництві. Сприйнятливість до магнітного поля у реальних об'єктів є досить позитивною. Розглянемо обладнання для отримання харчових емульсій із застосуванням ультразвуку [3, 7, 14]. Апарат являє собою пристрій, який включає корпус з вхідною ділянкою у формі розширювача по ходу руху емульсії, усічений конус з патрубком для відведення емульсії та ротор у вигляді зверненою вершиною у бік вхідної ділянки корпусу, приводу обертального руху та ультразвукового генератора зворотно-поступальних переміщень (рис. 2.2).

Ротор виконаний конусоподібним із магніту з еквідистантною вхідною поверхнею, при цьому, на зовнішній поверхні він забезпечений гвинтовою канавкою і розміщений усередині циліндричного корпусу, на якому встановлений ультразвуковий випромінювач, при цьому, на поверхні патрубка для відведення емульсії зверненого до більшого діаметру конусоподібного

					<b>ДонНУЕТ.133.зГМБ-22м.2023.ПЗ</b>	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		21

ротора встановлено постійний магніт з однойменною пласкою поверхнею ротора полюсом та можливістю регулювання зазору між ними.

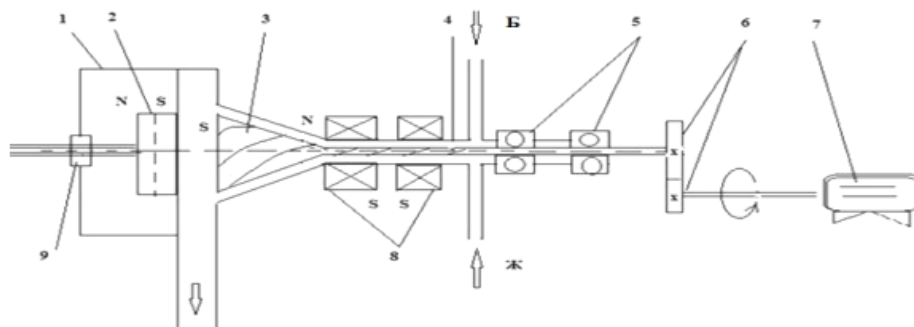


Рисунок 2.2 – Апарат для безперервного отримання харчової емульсії

Апарат оснащений корпусом (1), патрубком для відведення готової емульсії, на одній зі стінок якого розміщено постійний магніт (2), однойменним полюсом до більшого діаметру конічного ротора (3), що має гвинтову канавку, ротором (3), який розміщується у корпусі (4) та спирається на підшипник (5) (як варіант, кілька), з'єднаний з приводом (6) та електродвигуном (7).

Ультразвуковий генератор (8) (як варіант, зворотно-поступальних переміщень) разом з регулятором (9) встановлені на зовнішній стороні корпусу ротора (4) забезпечують необхідний режим магнітно-ультразвукової обробки. Між стіною корпусу патрубка (1) для відведення готової емульсії на якій розміщений постійний магніт 2 однойменним полюсом більшого діаметра конічного ротора 3, що має гвинтову канавку проводиться фінішна обробка готової емульсії, яка забезпечує інтенсивну деполяризацію окремих крапель складових інгредієнтів харчової емульсії. Саме це забезпечує високу стабільність одержуваного продукту. Для того щоб забезпечити надходження до цієї зони дрібно диспергованих інгредієнтів емульсії ротор 3, розміщуючись в корпусі ротора 4, спирається на підшипник 5, з'єднуючись з приводом 6 та електродвигуном 7 [3, 7, 14]. На корпусі ротора 4 встановлений ультразвуковий генератор 8 у вигляді двох електромагнітних котушок, які зустрічно включаються. Генероване їм ультразвукове поле забезпечує режим кавітації інгредієнтів емульсії, з великою швидкістю переміщуючись у гвинтовій канавці ротора 3.

В зоні патрубка для відведення емульсія розбризкується за допомогою регулятора 9, обробляється в магнітному полі необхідної для більшої стабільності напруженості, що забезпечується необхідним режимом магнітно-ультразвукової обробки.

Основним ефектом, що отримується при роботі пристрою, є збільшення стійкості емульсії, що готується, за рахунок того, що окремі компоненти, переміщуючись вздовж ротора, який виконаний із постійного магніту конусоподібним, по зовнішній поверхні з гвинтовою канавкою в зазорі з еквідистантної поверхні вхідної ділянки, по циліндричному корпусу. На корпусі встановлено ультразвуковий випромінювач зворотно-поступальних

					<b>ДонНУЕТ.133.зГМБ-22м.2023.ПЗ</b>	Арк.
						22
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

переміщень, під дією якого збуджується ультразвукове поле, що сприяє виникненню кавітації в інгредієнтах емульсії з миттєвим диспергуванням.

Переміщаючись по гвинтовій канавці, вони інтенсивно перемішуються і розганяються, розбризкуючись на зрізі більшого діаметра конічного ротора. Бо при цьому, на поверхні патрубку для відведення емульсії, зверненого до більшого діаметру конусоподібного ротора, встановлений постійний магніт з однойменною пласкою поверхнею ротора полюсом та можливістю регулювання зазору між ними, дрібні краплі потрапляють у зону інтенсивного нерівномірного магнітного поля, де інтенсивно деполяризуються, втрачаючи здатність з'єднуватися з краплями однойменної рідини. Ступінь деполяризації регулюється зазором між однойменними полюсами постійних магнітів: конусоподібного ротора та стінки патрубка для відведення емульсії, тим самим забезпечуючи стабільність емульсії широкого вибору інгредієнтів.

## 2.2 Підвищення ефективності перемішування харчових емульсій за допомогою вібраційних впливів

Диспергування, що просто називається перемішуванням, входить до числа ключових технологічних етапів процесу одержання емульсій. В умовах харчової промисловості для цього використовується різна апаратура, принцип дії заснований на застосуванні ультразвуку або використанні вібрацій, які, як відомо, інтенсифікуює різні процеси. Вібраційні впливи можуть суттєво прискорювати процеси, що протікають у рідкому несучому середовищі на граничних поверхнях різних фаз, тобто в різних сумішах типу суспензій, емульсій.

Для досягнення максимальної інтенсифікації процесу перемішування рідких середовищ для отримання харчових емульсій шляхом збільшення циркуляції потоків та виключення застійних зон пропонуються апарати з використанням віброприводу робочого органу [6, 7, 8]. Схема роторного інерційного віброприводу наведена на рисунку 2.3.

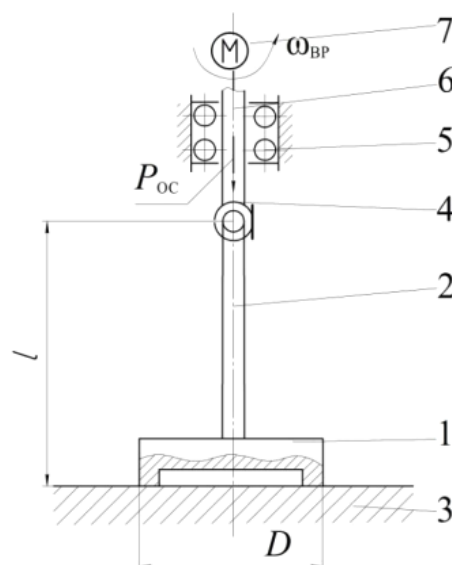


Рисунок 2.3 – Схема роторного інерційного віброприводу (1 – приводний вал; 2 – підшипники кочення; 3 – опора кочення; D – діаметр тарілки ротора; l – виліт тіла, що обертається)

					ДонНУЕТ.133.зГМБ-22м.2023.ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		23

Апарати на основі вібраційного впливу значно збільшують продуктивність процесу, знижують енергоємність та покращують якість кінцевого продукту. При цьому вібрація в одних випадках може лише інтенсифікувати основний процес, в інших – викликати специфічні вібраційні ефекти.

Кінематична схема апарату для отримання харчових емульсій представлена на рисунку 2.4. У корпусі апарату за допомогою підшипників кочення 3 розміщений ротор 1 з конічними дисками 5, обертання якого здійснюється від електродвигуна 2. Ротор пов'язаний з приводом обертання через пружний елемент кочення 4 [2, 3, 4]. Диски мають по сорок отворів і розташовані так, щоб більший діаметр конічного отвору верхнього диска знаходився над великим діаметром конічного отвору нижнього диска. Таке розташування конічних отворів необхідне для інтенсивного перемішування технологічного середовища.

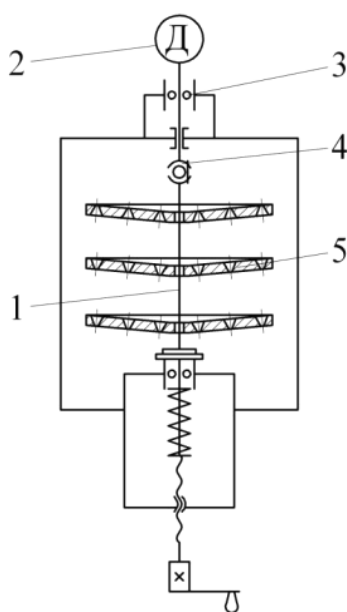


Рисунок 2.4 – Кінематична схема апарату з вібромішалкою

З метою удосконалення обладнання та процесу перемішування харчових емульсій [6, 7, 8, 12, 15], пропонується безпосередньо в зону перемішування ввести роторний інерційний віброзбудник (рис. 2.5). В основу способу покладено відсутність власної стійкості диска, що обертається по нерухомому контртілу. Спочатку диск тертя, притиснутий осьовою силою  $P_{ос}$  до нерухомого контртіла, перебуває у стані спокою, тобто в даному випадку ця відкрита система не отримує енергію ззовні. Якщо ж диску повідомити енергію у вигляді обертання, то при цьому практично миттєво виникає його усунення через дію невірноваженої тангенціальної сили, в результаті чого диск починає здійснювати радіальні автоколивання з частотою, яка значно перевищує частоту його обертання, тобто має спостерігатися так зване м'яке збудження автоколивань.

Верхня частина ротора сполучається з маховиком, а разом вони є інерційним віброзбудником, використання якого дозволяє змінювати частоту та амплітуду коливань.

					<b>ДонНУЕТ.133.зГМБ-22м.2023.ПЗ</b>	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		24



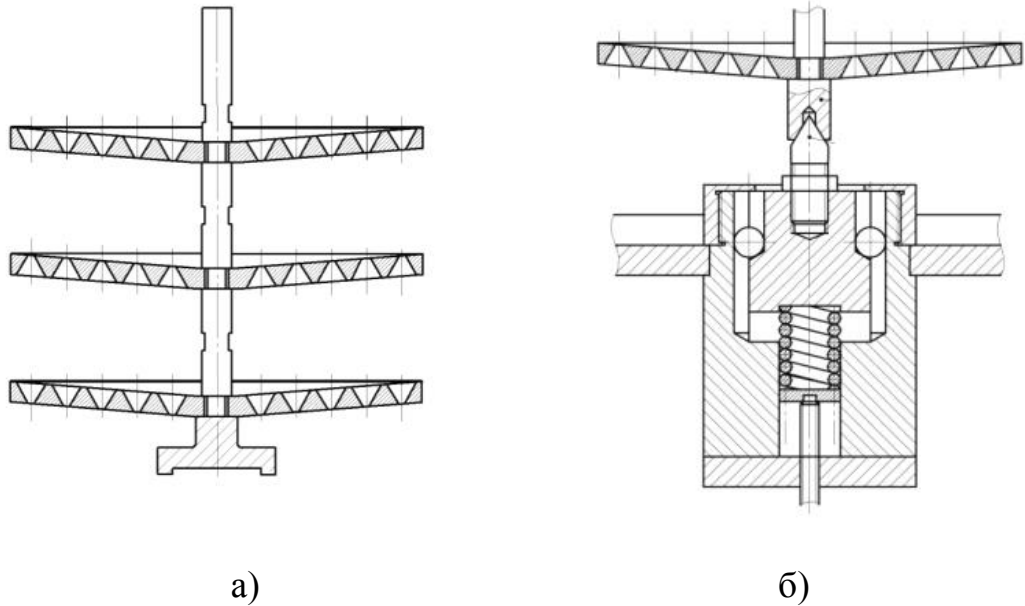


Рисунок 2.5 – Ротор із конічними дисками та пристрій збудження коливань

При розгляді течії рідкого середовища біля дисків ротора, який обертається без вагань, число Рейнольдса залежатиме від окружної швидкості дисків. При числах Рейнольдса [7]

$$Re = \frac{VR_1}{\nu} \geq 3 \cdot 10^5$$

де  $V = \omega_{BP} R_1$  – окружна швидкість дисків, яка завжди турбулентна;

$\nu$  – кінематична в'язкість рідкого середовища.

Якщо розглядати перебіг рідкого середовища біля дисків ротора, які, крім обертання, отримують ще й коливання навколо осі, перпендикулярною до площини диска, то при цьому множина напрямків зустрічних затоплених струменів дозволяє забезпечити ефект турбулізації рідкого середовища, тобто створювані високочастотні коливання робочої рідини збільшують її динамічну в'язкість, забезпечуючи тим самим збільшення внутрішнього опору компонентів, що перемішуються (рис. 2.6). При цьому число Рейнольдса  $Re$  буде більшим за критичний  $Re^*$  [3, 7, 14]. За турбулентних умов число потужності робочого диска є фактично постійним, а потужність пропорційна густині рідини. В'язкість впливає на потужність лише в перехідних і ламінарних умовах, що визначається числом Рейнольдса робочого диска.

Рейнольдса робочого диска. Швидкість обертання важлива, оскільки вона має зворотний вплив на час змішування та кубічний вплив на потужність у турбулентному змішуванні.

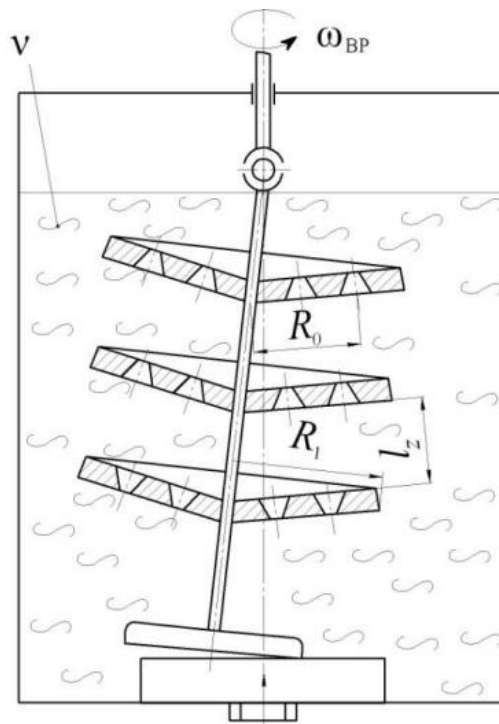


Рисунок 2.6 – Схема реалізації вібромеханічного ефекту у рідкому середовищі

Характер зміни течій рідкого середовища в кожний момент часу залежить від різних координатних складових швидкостей руху ротора з дисками апарату з вібромішалкою, які впливають на число Рейнольдса, при цьому, найбільше значення має окружна складова швидкості  $V$  [7]

$$V = \omega 2a$$

де  $\omega$  – частота коливань мішалки;  
 $a$  – амплітуда коливань.

$$\left\{ \begin{array}{l} Re_t = \frac{V_t R_1}{\nu} = \frac{(R + R_1) \frac{2\omega a}{D} R_1}{\nu}, \\ Re_z = \frac{V_z l_z}{\nu}, \\ Re_r = \frac{V_r D_e}{\nu}, \end{array} \right.$$

де  $l_z$  – відстань між дисками;  
 $\nu$  – кінематична в'язкість рідини;  
 $D_e$  – діаметр ємності.

Удосконалена конструкція [6, 7, 8, 12], що забезпечує радіально-осьові коливання конічних перфорованих дисків, закріплених на роторі апарату з вібромішалкою, створюють віброструмовий ефект, який забезпечується різним гідроопіром конічних отворів при зміні напрямку руху рідкого середовища, а це поглиблює турбулізацію рідкого середовища (рис. 2.7).

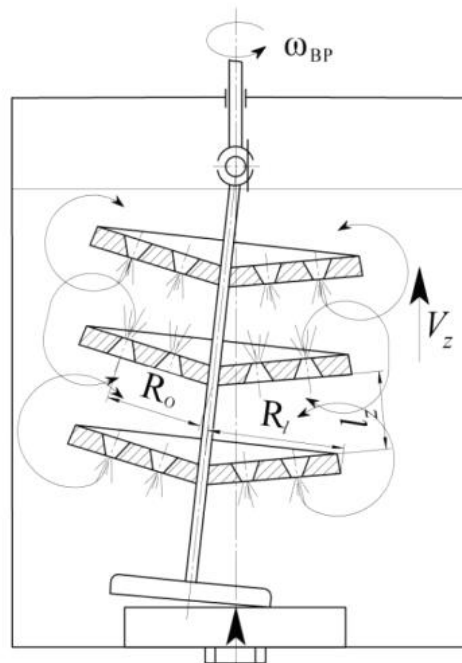


Рисунок 2.7 – Схема реалізації віброструмового ефекту

Інтенсивність перебігу віброструмового ефекту залежить від значень осьової швидкості [7]

$$V_z = R_1 \frac{a}{l} \omega.$$

Розглянемо такі види місцевих гідроопорів (рис. 2.8):

- поступове розширення (дифузор);
- поступовий стиск (конфузор).

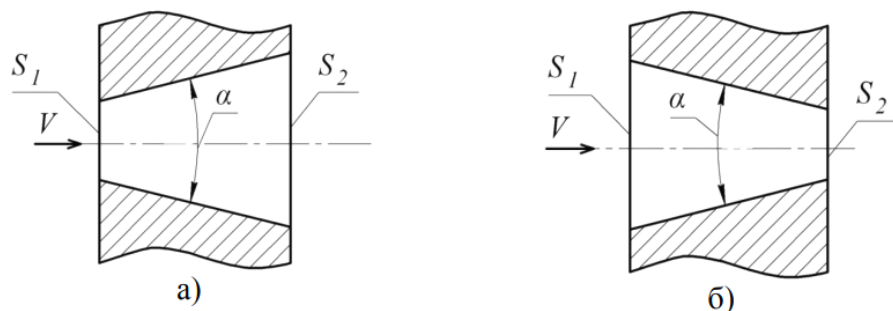


Рисунок 2.8 – Види місцевих гідроопорів: а) дифузор; б) конфузор

Коефіцієнт опору дифузора визначається за формулою [5, 9]

$$h_{\text{диф}} = k_{\text{пр}} \cdot \left(1 - \frac{S_1}{S_2}\right)^2$$

де  $k_{\text{пр}}$  – коефіцієнт пом'якшення дифузора;  
 $S_1$  – площа отвору на вході в дифузор, м<sup>2</sup>;  
 $S_2$  – площа отвору на виході з дифузора, м<sup>2</sup>.

Коефіцієнт опору конфузора визначається за формулою [5, 9]

$$h_{\text{конф}} = k_{\text{п.с}} \cdot \left(\frac{1}{\varepsilon} - 1\right)^2$$

де  $k_{\text{пр}}$  – коефіцієнт пом'якшення конфузора;  
 $\varepsilon$  – коефіцієнт опору ( $\varepsilon = 0,604-0,677$  при  $S_2/S_1 = 0-0,6$ ).

Для визначення умов максимальної інтенсивності протікання вібро-струмового ефекту розглянемо співвідношення гідроопір при різних початкових умовах.

Прийемо кут при вершині конуса  $\alpha = 30^\circ$ . Співвідношення площ на вході та виході отворів дифузора  $S_1/S_2$  та конфузора  $S_2/S_1$  прийемо рівним 0,5; 0,3; 0,2 [5, 9]

$$\frac{S_1}{S_2} \text{ и } \frac{S_2}{S_1} = 0,5; h_{\text{диф}} = 0,2; h_{\text{конф}} = 0,0611; \frac{h_{\text{диф}}}{h_{\text{конф}}} = 3,3$$

Опір дифузора (поступового розширення) в 3,3 рази більше опору конфузора, тобто при рівних розмірах дифузора і конфузора і однієї швидкості руху рідкого середовища, через дифузор пройде в 3,3 рази менше рідкого середовища, ніж через конфузор при даних початкових умовах. Для випадку апарату з вібромішалкою, при осьових коливаннях диска виникає яскраво виражений рух рідини через конфузор (поступове стиснення) – в цьому і полягає віброструменевий ефект [5, 9]

$$\frac{S_1}{S_2} \text{ и } \frac{S_2}{S_1} = 0,3; h_{\text{диф}} = 0,392; h_{\text{конф}} = 0,0726; \frac{h_{\text{диф}}}{h_{\text{конф}}} = 5,4.$$

$$\frac{S_1}{S_2} \text{ и } \frac{S_2}{S_1} = 0,2; h_{\text{диф}} = 0,512; h_{\text{конф}} = 0,0816; \frac{h_{\text{диф}}}{h_{\text{конф}}} = 6,3.$$

					ДонНУЕТ.133.зГМБ-22м.2023.ПЗ	Арк.
						28
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

При збільшенні різниці площ отворів на вході і виході відношення опорів дифузора і конфузора збільшується, тобто більша кількість рідкого середовища протікає через конфузур (за рахунок більш різкого зменшення кількості рідини, що протікає через дифузур), тим самим підвищується інтенсивність віброструмового ефекту при незмінній швидкості коливань диска [5, 7, 9, 12, 15]. Ротор з дисками, що обертається із частотою  $\omega_{\text{ВР}}$ , коливатиметься з частотою  $\omega$  більшої (в 10–100 разів) частоти обертання  $\omega_{\text{ВР}}$  через його кінематичну не врівноваженість. При цьому рідина, що захоплюється ротором, що коливається з дисками, теж вібруватиме, що сприяє підтримці обертання дисків ротора. Так виникає ефект вібраційної підтримки обертання ротора, що, у свою чергу, дозволяє витратити меншу потужність на обертання ротора в режимі перемішування, що встановився. А це дає змогу підвищити енергоефективність процесу. При цьому, момент сил опору обертанню дисків ротора не повинен перевищувати деякого граничного значення вібраційного моменту  $W$  [7]

$$W = ma\omega \frac{\omega_{\text{ВР}} D}{2}$$

Момент сил опору обертанню ротора не повинен перевищувати деякого граничного значення  $M_{\text{max}}$ , що дорівнює максимальному значенню  $W$  вібраційного моменту, або, що те саме, потужність  $N$ , необхідна для подолання моменту опору  $M$ , не повинна перевищувати деякого граничного значення  $N_{\text{max}}$

$$N = M\omega < N_{\text{max}} = m\omega^2 a^2 \omega_{\text{ВР}}$$

Якщо за відсутності коливань осі ротора останній обертася в сталому режимі з кутовою швидкістю  $\varphi_0 = T\omega_{\text{ВР}}$ , то за наявності коливань з частотою  $\omega = \omega_{\text{ВР}}$  ротор зможе також обертатися з тією ж кутовою швидкістю. Розглянутий режим, однак, існуватиме й у випадку, коли частота коливань  $\omega$  не збігається з парціальною швидкістю  $\omega_{\text{ВР}}$  (частота сталого обертання), але і не сильно від неї бути відрізнитися, так що вібраційний момент може компенсувати надмірний момент  $Z_0(T, \omega)$  [4, 7, 9, 12, 14]. Ефект вібраційної підтримки обертання ротора з дисками дозволяє витратити менше енергії під час роботи апарату з вібромішалкою. Для підтвердження цього необхідно визначити споживану потужність апарату.

Реалізовані ефекти в сукупності дозволяють за рахунок обертання і радіально-осьових коливань ротора з дисками створювати обертові пульсуючі зустрічні затоплені струмені, що дозволяє досягти максимальної турбулізації рідкого середовища, отже, інтенсифікувати процес перемішування для отримання харчових емульсій.

					<b>ДонНУЕТ.133.зГМБ-22м.2023.ПЗ</b>	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		29

## 2.3 Визначення споживаної потужності апарату вібраційного типу

Сумарна потужність при роботі апарату з вібромішалкою дорівнює [4]

$$N = N_1 + N_2 - N_3$$

де  $N_1$  – потужність, що витрачається на подолання сил тертя дисків о рідке середовище;

$N_2$  – потужність, що витрачається на підтримку встановлених коливань;

$N_3$  – потужність від вібраційного моменту.

Визначимо потужність  $N_1$  необхідну для подолання сил тертя дисків о рідке середовище. Шар рідини, що знаходиться в безпосередній близькості від диска, захоплюється диском і під дією відцентрової сили відкидається назовні. Рідина, що відкидається назовні замінюється рідиною, що притікає в осьовому напрямку.

Момент опору для диска, що обертається, змоченого з двох сторін, визначається [4]

$$2M = C_M \frac{\rho}{2} \omega_{BP}^2 R^5$$

де  $M$  – момент опору обертанню, що виникає на одній із двох сторін диска, Нм;

$\rho$  – щільність рідкого середовища, кг/м<sup>3</sup>;

$R$  – радіус диска;

$C_M = 3,87 Re^{-1/2}$  – коефіцієнт моменту опору при ламінарному перебігу.

Перебіг рідкого середовища біля диска, що обертається, починаючи з деякого числа Рейнольдса, перестає бути ламінарним. При цьому перебігу, який є турбулентним, рідина між кожною парою дисків обертається з кутовою швидкістю, що дорівнює половині кутової швидкості обертання диска [5].

$$2M = 0,073\rho\omega_{BP}R^5\left(\frac{v}{\omega_{BP}R^2}\right)^{1/5}$$

Розглянемо випадок турбулентного перебігу рідини біля обертового «диска в кожусі» – диска, відстань між яким і кожухом або відстань між дисками можна порівняти з розмірами диска. Під дією відцентрової сили рідина в прикордонних шарах на диску, що обертається, відкидається назовні, а в прикордонних шарах на стінці нерухомого кожуха, навпаки, рухається зовні до центру. При обертанні двох дисків рідина з поверхні дисків відкидатиметься назовні і притікатиме до центру в перетині, віддаленому на рівну відстань між двома дисками.

					ДонНУЕТ.133.зГМБ-22м.2023.ПЗ	Арк.
						30
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Для течії біля диска, що обертається в кожусі, момент сил тертя не залежить від ширини кожуха, причому для «вільного» диска цей момент більший [2]. Причина меншої величини моменту сил тертя в кожусі пояснюється тим, що рідина між прикордонними шарами з кожного боку диска обертається з кутовою швидкістю удвічі меншою, ніж кутова швидкість диска. Внаслідок цього, градієнт окружної швидкості в напрямку перпендикулярному диску, приблизно вдвічі менше, ніж у разі вільного диска, і саме тому сили тертя для диска в кожусі менші, ніж для «вільного» диска.

У нашому випадку розглядаємо перебіг рідкого середовища біля дисків, котрим крім обертання задають ще й коливання. При цьому турбулентний режим забезпечується при числах Рейнольдса, що залежать від максимальних амплітудних значень швидкості руху ротора з дисками апарату з вібромішалкою.

При цьому момент опору для диска, що обертається, змоченого з двох сторін, визначається [5]

$$2M = C_M \frac{\rho}{2} \omega_{BP}^2 R_1^3 (R_1 + R)^2$$

Коефіцієнт моменту опору обертового диска при турбулентному режимі руху рідкого середовища визначається [7]

$$C_M = \frac{2\pi R_1}{Re_{l_z}}$$

Вираз для визначення моменту опору обертання диска  $2M$ , змоченого з двох сторін при турбулентному режимі руху рідини [7]

$$2M = \frac{2\pi R_1 \rho}{Re_{l_z}} \frac{\rho}{2} \omega_{BP}^2 R_1^3 (R_1 + R)^2$$

Диски перфоровані, місцеві втрати на утворення вихорів (турбулентності) або тертя можна надати безрозмірним коефіцієнтом опору  $\Delta C_w = 1,07$ , на який множиться величина моменту опору обертання, отриманої для гладкого диска. Потужність, яка необхідна для подолання сил тертя дисків рідкого середовища дорівнює [7]

$$N_1 = 2M \Delta C_w \omega_{BP} z$$

або

$$N_1 = \frac{\pi R_1 \rho}{Re_{l_z}} \cdot (R_1 + R)^2 \omega_{BP}^2 R^3 \Delta C_w \omega_{BP} z;$$

					<b>ДонНУЕТ.133.зГМБ-22м.2023.ПЗ</b>	Арк.
						31
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

де  $z$  – кількість дисків.

Визначимо потужність  $N_2$ , що витрачається на підтримку встановлених коливань. Потужність, що витрачається віброзбудником для повідомлення коливань у потужно-в'язкому середовищі розраховується за формулою [5, 7]

$$N_2 = ma^2 \omega \omega_{\text{вр}}^2 \left( 2 \cdot \frac{n_x \omega^3 + f_n \frac{D_n}{4a} \omega^2 (p_x^2 - \omega^2)}{4n_x^2 \omega^2 + (p_x^2 - \omega^2)} + f_n \frac{D_n}{2a} \right);$$

Визначимо потужність від моменту вібрації.

Для визначення потужності від вібраційного моменту скористаємося наступною формулою [5, 7]

$$N_3 = m \omega^2 a^2 \omega_{\text{вр}}$$

Емульгування – це майже мистецтво, оскільки воно передбачає як інтенсивність змішування, так і використання стабілізаторів. Більшість емульсій є комбінацією масляної та водної фаз, диспергованих одна в іншій. Однак, деякі емульсії включають більше двох рідких фаз або присутність дисперсних порошків. Якщо краплі дисперсної фази досить малі, дисперсія не відділятиметься, особливо якщо присутня поверхнево-активна речовина, яка діє як стабілізатор. Такі звичайні продукти, як майонез є емульсією.

Диспергування, що просто називається перемішуванням, входить до числа ключових технологічних етапів процесу одержання емульсій. В умовах харчової промисловості для цього використовується різна апаратура, принцип дії заснований на застосуванні ультразвуку або використання вібрацій, які, як відомо, інтенсифікує різні процеси. Вібраційні впливи можуть суттєво прискорювати процеси, що протікають у рідкому несучому середовищі на граничних поверхнях різних фаз, тобто в різних сумішах типу суспензій, емульсій.

З метою удосконалення обладнання та процесу перемішування малов'язких харчових продуктів пропонується безпосередньо в зону перемішування ввести роторний інерційний віброзбудник. При цьому, з метою підвищення ефективності, тарілку ротора сполучають з маховиком силою притиску і обкатують її по замкнутій траєкторії, що має поворотну симетрію навколо осі симетрії траєкторії.

					ДонНУЕТ.133.зГМБ-22м.2023.ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		32



## РОЗДІЛ 3 АНАЛІЗ ДОСЛІДЖЕНЬ

### 3.1 Удосконалення процесу отримання однорідної харчової емульсії

Загалом, більш інтенсивне змішування може зменшити кількість необхідного стабілізатора або більша кількість стабілізатора може зменшити інтенсивність змішування, яка необхідна для утворення емульсії. Утворення емульсії майже завжди вимагає змішування з високим зусиллям зсуву, яке часто забезпечується спеціальними робочими лопатями. У деяких випадках, лопатей, що працюють на високих швидкостях достатньо для утворення емульсії. В інших випадках необхідний роторно-статорний змішувач. Щоб утворити стабільну емульсію необхідно запобігти зливанню дисперсної фази, що вимагає створення достатньої площі поверхні та поверхневого натягу між незмішуваними краплями та суцільною рідкою фазою.

Різниця між в'язкістю двох фаз може змінити процес і ще більше ускладнити утворення емульсії. Оскільки в'язкість є функцією температури, а вся потужність, яку додає міксер, зрештою стає теплом, температура та в'язкість можуть змінюватися під час процесу емульгування. Ретельне спостереження та розуміння факторів, які впливають на емульсію, необхідні для покращення процесу емульгування. Кінцева емульсія часто матиме в'язкість вищу, ніж будь-яка з двох незмішуваних рідин.

Сильний центральний вихор на поверхні резервуара з перемішуванням зазвичай означає, що весь вміст резервуара рухається в обертанні твердого тіла. Якщо вся рідина обертається разом, змішування в радіальному чи осьовому напрямках майже не відбувається. Подібно до того, як гоночні автомобілі, що рухаються по трасі, не стикаються, якщо вони слідуєть один за одним або рухаються паралельними шляхами, радіальне змішування не може відбутися якщо вся рідина рухається в узгодженому обертанні.

При обертальному потоці доданий матеріал повинен багато разів обігнути резервуар перш ніж дифузія та місцева турбулентність перенесуть його на дно та розподілять по всьому резервуару. Хоча може здатися, що вихор на поверхні переносить частину матеріалу, що рухається по спіралі вниз до центру, цей потік є лише результатом похилої поверхні, що веде до центру. Коли рухома рідина досягне центру резервуара, обмежений низхідний потік може зайняти багато часу щоб досягти рівномірного змішування по всьому резервуару. Найефективніший спосіб контролювати вихор і надмірне завихрення – використання перегородок. Перегородки, зазвичай, являють собою три або чотири вертикальні пластини, які відходять від стінки бака, щоб перенаправити обертовий потік.

					<b>ДонНУЕТ.133.зГМБ-22м.2023.ПЗ</b>		
<i>Зм.</i>	<i>Арк.</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>			
<i>Розроб.</i>		<i>Ільчишина</i>			<i>Літ.</i>	<i>Арк.</i>	<i>Аркушів</i>
<i>Перевір.</i>		<i>Омельченко</i>				33	5
<i>Н. Контр.</i>		<i>Омельченко</i>			<b>ДонНУЕТ Кафедра ЗІДО</b>		
<i>Затверд.</i>		<i>Хорольський</i>					
<b>Дослідження процесу та удосконалення апарату для отримання харчових емульсій</b>							

Щоб уникнути застійної зони, більшість перегоронок монтують із зазором між перегородкою та стінкою бака. Лише невелика кількість обертового потоку проходить через цей простір і навколо перегородок – більша частина потоку спрямована вертикально. Вертикальний потік також створює радіальний потік, необхідний для рециркуляції. Вертикальний потік може значно покращити однорідність емульсій в процесі змішування.

Додавати одну рідину до іншої легко, якщо рідини змішуються. Поєднання рідин із різною в'язкістю може бути набагато складнішим, ніж поєднання рідин із подібними фізичними властивостями. Додавати рідину з високою в'язкістю до рідини з низькою в'язкістю зазвичай легше, ніж додавати рідину з низькою в'язкістю до рідини з високою в'язкістю. Рідина з низькою в'язкістю, яка добре перемішується, може стати турбулентною і турбулентність може діяти, щоб диспергувати рідину з високою в'язкістю. Після диспергування більш в'язкої рідини вона може розчинитися в іншій рідині, зрештою досягаючи однорідної суміші.

Додавання кукурудзяного сиропу до води демонструє складність змішування рідин різної в'язкості. Щоб побачити вплив межі текучості на змішування, спробуйте додати кетчуп у воду – замість того, щоб розчинитися, кетчуп утворює у воді недисперговані нитки. Іншими прикладами змішування рідин різної в'язкості в харчовій промисловості є додавання меду до чаю та концентрату фруктового соку до води. Змішування рідин із різною в'язкістю зазвичай вимагає лише збільшення часу змішування, але час може коливатися від багатьох хвилин до години або довше, залежно від різниці в'язкості. Об'єднання рідин із різною в'язкістю також потребує контрольованої швидкості додавання. Вимірювання часу змішування для рідин із подібною щільністю та в'язкістю було корельовано та виявило, що час змішування обернено пропорційний швидкості обертання змішувача в геометрично подібних ситуаціях.

Час змішування є безрозмірною постійною характеристикою типу робочого колеса. Відношення діаметра робочого колеса до діаметра резервуара ( $D/T$ ) зазвичай має показник ступеня між 2,0 і 2,5. Його значення в цьому діапазоні залежить від типу робочого колеса. Рівень рідини також впливає на час змішування, який залежить від типу робочого колеса та інших факторів.

У склянці однорідне змішування може здаватися легким та швидким. Хороша емульсія означає, що крапельки настільки дрібні, що їх не розрізняє людське око. Емульгування включає дві різні стадії: безпосередньо процес перемішування рідини та додавання стабілізаторів. З цією метою було проведено невелике дослідження з олією та водою, щоб показати, яку різницю можуть мати емульсії (на прикладі заправки для салату). Ємність однієї склянки перемішувалася за допомогою звичайного кухонного вінчика, друга склянка блендером, а у третю склянку додавався емульгатор. Всі вони виглядали однаково в кінці після перемішування. Після того, як змішали усі три розчини, робилися спостереження кожні 15 хвилин, щоб побачити їх розділення. У першій склянці емульсія відокремлюється відразу (вінчик). У другій склянці розділилася на два шари, але не так швидко і чітко, як у першій склянці (блендер). Третій стакан мав лише крихітну смужку поділу у верхній

					<b>ДонНУЕТ.133.зГМБ-22м.2023.ПЗ</b>	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		34

частині (емульгатор). Фактично, знадобилося майже 24 години, щоб у стакані де був емульгатор розділився на окремі шари.

Зелений – це вінчик, жовтий – це блендер, а синій – емульгатор.



Рисунок 3.1 – Приклад стабільності емульсії

Проте той самий процес змішування може зайняти набагато більше часу в виробничому змішувачі. Змішування у великих резервуарах займає більше часу просто тому, що швидкість рідини та швидкість перекачування не збільшуються настільки, щоб подолати великі відстані у великому резервуарі. Час змішування в геометрично подібних резервуарах обернено пропорційний швидкості обертання. Ефективне змішування вимагає певної кількості обертів для досягнення бажаного ступеня однорідності.

Простим прикладом збою змішування є ситуація коли частина рідини на поверхні, в нижньому куті склянки або колби не рухається. Добре змішування вимагає повного руху. Тому завжди потрібно уникати застою у виробничому обладнанні. Розширення з мінімальною однаковою швидкістю рідини, що часто представлено рівною швидкістю кінця робочого колеса в геометрично подібному обладнанні, зазвичай дозволяє уникнути збоїв руху рідини.

Удосконалення процесу отримання однорідної емульсії в існуючому змішувальному обладнанні вимагає певних заходів, а саме:

- ✓ зміни порядку додавання інгредієнтів. Різниця у в'язкості може створити меншу проблему з іншим порядком додавання – додавати більш в'язкий матеріал до менш в'язкого зазвичай легше, ніж змішувати матеріали в іншому порядку;

- ✓ додавати незначні інгредієнти до менш в'язкого матеріалу. Якщо очікується зміна в'язкості, наприклад, після зміни рН, додавання всіх незначних інгредієнтів до рідини з нижчою в'язкістю спочатку (наприклад, перед зміною рН) може дати кращі результати;

- ✓ використовувати інші інгредієнти. Та сама сировина з дещо іншими характеристиками може полегшити змішування. Рідину з дещо іншою

Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата

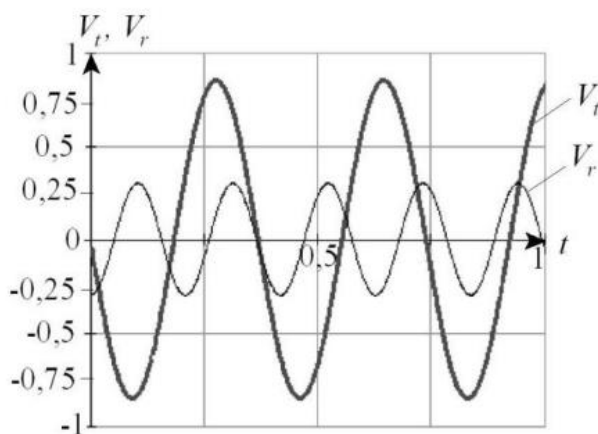
концентрацією або порошок з іншим розподілом частинок за розміром легше додати та диспергувати;

✓ зменшити об'єм виготовляємої харчової емульсії. Інтенсивність перемішування певною мірою залежить від кількості матеріалу, що перемішується. Змішувачі здійснюють більш інтенсивне змішування в меншій партії, ніж у більшій. Більша продуктивність не завжди забезпечується великими обсягами, особливо якщо продукція великих партій має низьку якість і потребує переробки;

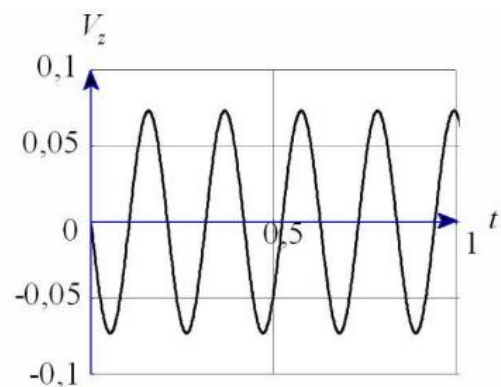
✓ удосконалити обладнання. Це може бути найкращим варіантом, якщо модифікації процесу не покращують змішування. Можливо, існуючий привід і вал змішувача дадуть кращі результати процесу з іншим типом робочого колеса. Наприклад, для трилопатевої крильчатки може знадобитися менший час змішування та/або забезпечити більшу однорідність, кращу суспензію твердих частинок або інші бажані результати процесу, ніж існуюча турбіна зі скошеними лопатями.

### 3.2 Моделювання вібропереміщень робочого органу апарату для отримання емульсій

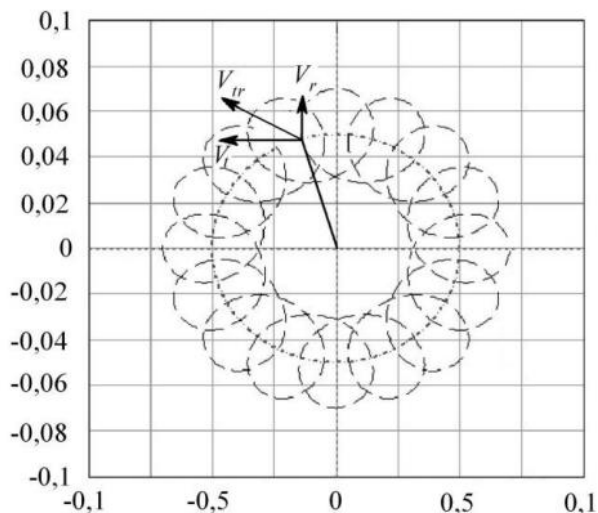
За допомогою програми MathCAD було здійснено комп'ютерне моделювання вібропереміщень робочого органу апарату для отримання харчових емульсій, яке дозволило б не тільки візуалізувати формування траєкторії руху точок на периферії дисків ротора, а й оцінити траєкторії руху рідкого середовища та його швидкість у різних напрямках (рис. 3.2).



а)



б)



в)

Рисунок 3.2 – Результати моделювання в MathCAD вібропереміщень робочого органу апарату

На рисунку 3.3 зображено: а) залежності складових швидкості руху ротора з дисками  $V_t$ ,  $V_r$  і  $V_z$  від часу  $t$ ; б) візуалізація траєкторії руху ротора з дисками у площині  $t_r$ .

Виходячи з отриманих результатів видно, що окружна складова швидкість майже вдвічі перевищує радіальну. Зі збільшенням частоти обертання частота коливань зменшується, отже, зменшуються і радіальна  $V_r$  та осьова швидкості  $V_z$ .

Також представлена візуалізація траєкторії руху точки А на периферії диска ротора апарату з вібромішалкою у площині  $t_r$  [4, 5, 7, 10, 14]. При використанні тільки такої схеми порушення коливань стає можливим керувати інтенсивністю процесу перемішування рідкого середовища при отриманні харчових емульсій посилюючи або радіальну, або осьову складову швидкості руху затоплених струменів. При цьому змінюється частота взаємодії зустрічних затоплених струменів, що обертаються (рис. 3.3).

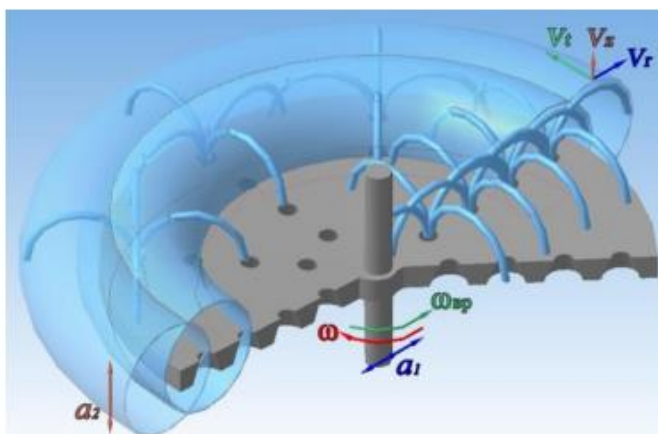


Рисунок 3.3 – Формування зустрічних затоплених струменя, що обертаються

## ВИСНОВКИ

Магістерська робота присвячена дослідженню процесу та удосконалення апарату для отримання харчових емульсій. У роботі зазначено, що харчова промисловість є одним з основних користувачів емульсійної технології, оскільки багато харчових продуктів існують в емульгованій формі, включаючи багато заправок, соусів, кремів і напоїв. Застосування емульсій не тільки пов'язує жиркову сировину дозволяючи уникнути появи небажаних зон локальної концентрації в кінцевому продукті, а й сприяє покращенню якісних складових.

У першому розділі здійснено аналітичний огляд обладнання для отримання харчових емульсій. Зазначено, що емульгування – це майже мистецтво, оскільки воно передбачає як інтенсивність змішування, так і використання стабілізаторів. Більшість емульсій є комбінацією масляної та водної фаз, диспергованих одна в іншій. Однак, деякі емульсії включають більше двох рідких фаз або присутність дисперсних порошків. Якщо краплі дисперсної фази досить малі, дисперсія не відділятиметься, особливо якщо присутня поверхнево-активна речовина, яка діє як стабілізатор. При отриманні емульсій із двох і більше взаємно нерозчинних рідин, наприклад води та олії, процес перемішування пов'язаний з низкою особливостей, а саме необхідність отримання емульсій стійких у часі. Способи перемішування та вибір обладнання залежить від мети перемішування та агрегатного стану сировини, що підлягає перемішуванню.

Вибір обладнання та їх конструктивні особливості обумовлені характеристикою процесу, властивостями середовища, що перемішується, продуктивністю технологічної лінії, температурними параметрами процесу та тиском, при якому процес здійснюється. При цьому виникає потреба в такому устаткуванні, яке б легко вбудовувалося в автоматизовані лінії та забезпечувало автоматизований контроль за якістю готової продукції.

Другий розділ присвячено удосконаленню апарату для отримання харчових емульсій. Для інтенсифікації процесів, що відбуваються при перемішуванні, необхідно використовувати такі шляхи та підходи, які дозволяли б збільшити циркуляцію потоків при одночасному зниженні енергоспоживання та металомісткості. Зазначено, що диспергування, що просто називається перемішуванням, входить до числа ключових технологічних етапів процесу одержання емульсій. В умовах харчової промисловості для цього використовується різна апаратура, принцип дії якої заснований на застосуванні ультразвуку або використанні вібрацій, які, як відомо, інтенсифікують різні процеси. Вібраційні впливи можуть суттєво прискорювати процеси, що протікають у рідкому несучому середовищі на граничних поверхнях різних фаз, тобто в різних сумішах типу суспензій та емульсій.

					<b>ДонНУЕТ.133.зГМБ-22м.2023.ПЗ</b>			
<i>Зм.</i>	<i>Арк.</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>				
<i>Розроб.</i>	<i>Льчишина</i>				<b>Дослідження процесу та удосконалення апарату для отримання харчових емульсій</b>	<i>Лім.</i>	<i>Арк.</i>	<i>Аркушів</i>
<i>Перевір.</i>	<i>Омельченко</i>						38	2
<i>Н. Контр.</i>	<i>Омельченко</i>					<b>ДонНУЕТ Кафедра ЗІДО</b>		
<i>Затверд.</i>	<i>Хорольський</i>							

Для досягнення максимальної інтенсифікації процесу перемішування рідких середовищ для отримання харчових емульсій шляхом збільшення циркуляції потоків та виключення застійних зон пропонуються апарати з використанням віброприводу робочого органу. Апарати на основі вібраційного впливу значно збільшують продуктивність процесу, знижують енергоємність та покращують якість кінцевого продукту. При цьому вібрація в одних випадках може лише інтенсифікувати основний процес, в інших – виклики специфічні вібраційні ефекти.

З метою удосконалення обладнання та процесу перемішування харчових емульсій пропонується безпосередньо в зону перемішування ввести роторний інерційний віброзбудник. Верхня частина ротора сполучається з маховиком, а разом вони є інерційним віброзбудником, використання якого дозволяє змінювати частоту та амплітуду коливань. Радіально-осьові коливання конічних перфорованих дисків, закріплених на роторі апарату з вібромішалкою, створюють віброструмовий ефект.

У третьому розділі приділено увагу удосконалення процесу отримання однорідної харчової емульсії. Сконцентровано увагу на тому, що різниця між в'язкістю двох фаз може змінити процес і ще більше ускладнити утворення емульсії. Оскільки в'язкість є функцією температури, а вся потужність, яку додає обладнання для перемішування, зрештою стає теплом, температура та в'язкість можуть змінюватися під час процесу емульгування. Ретельне спостереження та розуміння чинників, які впливають на емульсію, необхідні для покращення процесу емульгування. Кінцева емульсія часто матиме в'язкість вищу, ніж будь-яка з двох незмішуваних рідин.

Зазначено, що емульгування включає дві різні стадії: безпосередньо процес перемішування рідини та додавання стабілізаторів. З цією метою було проведено невелике дослідження з олією та водою, щоб показати, яку різницю можуть мати емульсії (на прикладі заправки для салату). Ємність однієї склянки перемішувалася за допомогою звичайного кухонного вінчика, друга склянка блендером, а у третю склянку додавався емульгатор. Всі вони виглядали однаково в кінці після перемішування. Після того, як змішали усі три розчини, робилися спостереження кожні 15 хвилин, щоб побачити їх розділення. У першій склянці емульсія відокремлюється відразу (вінчик). У другій склянці розділилася на два шари, але не так швидко і чітко, як у першій склянці (блендер). Третій стакан мав лише крихітну смужку поділу у верхній частині (емульгатор). Фактично, знадобилося майже 24 години, щоб у стакані де був емульгатор розділився на окремі шари.

Також за допомогою програми MathCAD було здійснено комп'ютерне моделювання вібропереміщень робочого органу апарату для отримання харчових емульсій, яке дозволило не тільки візуалізувати формування траєкторії руху точок на периферії дисків ротора, а й описати траєкторії руху рідкого середовища та його швидкість у різних напрямках. Це дає можливість керувати інтенсивністю процесу перемішування рідкого середовища при отриманні харчових емульсій посилюючи або радіальну, або осьову складову швидкості руху затоплених струменів.

					ДонНУЕТ.133.зГМБ-22м.2023.ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		39

## СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Emulsion and its application in the food field: An update review. URL: <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/full/10.1002/efd2.102>.
2. Usaid A., Premkumar. J. Emulsion and it's applications in food processing. *Journal of Engineering Research and Applications*, 2017. Vol. 4. P. 241–248.
3. Удосконалення способу отримання водно-жирових емульсій для змащування хлібопекарських форм. URL: <https://1library.net/document/yjd7m962>.
4. Дейниченко Г.В. Отримання водно-жирових емульсій за допомогою ультразвуку / Г.В. Дейниченко, Г.М. Постнов, М.А. Чеканов, В.М. Червоний та ін. Х.: Факт, 2013. 92 с.
5. Гулий І.С., Пушанко М.М., Орлов Л.О. Обладнання підприємств переробної та харчової промисловості. Вінниця: Нова книга, 2001. 576 с.
6. Дейниченко Г. В., Постнов Г. М., Червоний В. М. Експериментальна оцінка техніко-експлуатаційних параметрів ультразвукового пристрою для отримання водно-жирових емульсій. *Вібрації в техніці та технологіях*, 2017. №1. 103–109.
7. Tackling difficult mixing problems. URL: <https://pdf4pro.com/view/tackling-difficult-mixing-problems-aiche-6d0d05.html>.
8. Vibrations and ultrasound in food processing. Sources of vibrations, adverse effects, and beneficial applications. An overview. URL: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0260877421004015>.
9. Krasulya O. Impact of acoustic cavitation on food emulsions // *Ultrasonics sonochemistry*, 2016. Vol. 30. P. 98–102.
10. Вітенько Т.М., Гашин О.Р. Дослідження впливу гідродинамічних характеристик на ефективність кавітаційної обробки. *Науковий журнал Промислова гідраліка і пневматика*. №1(31). Вінниця, 2011. С.48–51.
11. Капліна Т. В. Удосконалення технології соусів на емульсійній основі за рахунок електромагнітної обробки: матеріали Всеукраїнської науково-практичної конференції, 1–2 березня 2007 р., Полтава / Т.В. Капліна, В.М. Оберемок, Л.О. Положишникова // Нові ресурсо- та енергозберігаючі технології харчових виробництв. Полтава: РВВ ПУСКУ, 2007. С. 142–143.
12. Мирончук В.Г. Обладнання підприємств переробної і харчової промисловості: підручник. Вінниця: Нова книга, 2007. 648 с.
13. Письменкова Т.О. Інформаційні системи і технології у інженерії: Навч. посібник / Т.О. Письменкова, А.О. Логінова, С.О. Федоряченко, О.В. Федоскіна; Дніпро: Національний технічний університет «Дніпровська політехніка», 2019. 227 с.
14. Паранчук Я.С., Мороз В.І. Алгоритмізація та програмування. MathCAD. Львів: Львівська політехніка, 2012. 312 с.
15. Розв'язок рівнянь та систем рівнянь в MathCad. URL: <https://uk.wikibooks.org/wiki/>.

					ДонНУЕТ.133.зГМБ-22м.2023.ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		40