

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.
« ____ » _____ 2024 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 СТАБІЛЬНОСТІ ЕМУЛЬСІЙ ТА**
УДОСКОНАЛЕННЯ ОБЛАДНАННЯ ДЛЯ ЗМІШУВАННЯ»

Виконав:

здобувач вищої освіти _____ Горб Олександр Сергійович _____
(прізвище, ім'я, по-батькові) (підпис)

Керівник:

_____ зав.кафедри, 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
2024

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

Форма здобуття вищої освіти денна

Ступінь магістр

Галузь знань Механічна інженерія

Освітня програма Обладнання переробної і харчової промисловості

ЗАТВЕРДЖУЮ:

Гарант освітньої програми «Обладнання
переробної і харчової промисловості»

Хорольський В.П.
« » 2024 року

ЗАВДАННЯ
НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ ЗДОБУВАЧУ ВИЩОЇ ОСВІТИ

Горбу Олександру Сергійовичу

(прізвище, ім'я, по-батькові)

1. Тема кваліфікаційної роботи: «Дослідження стабільності емульсій та удосконалення обладнання для змішування»

Керівник роботи к.т.н., доцент, Омельченко О.В.

(науковий ступінь, вчене звання, прізвище та ініціали)

Затверджено: наказом першого проректора ДонНУЕТ імені Михайла Туган-Барановського від «08» травня 2024 р. № 59-с.

2. Строк подання здобувачем ВО роботи «09» грудня 2024 р.

3. Вихідні дані до роботи:

1. Технічна документація до устаткування.

2. Монографії, наукові статті, автореферати дисертацій, тези доповідей на наукові конференції.

3. Навчальна і методична література, інформація мережі Інтернет.

4. Зміст пояснювальної записки:

1. Вступ.

2. Аналіз процесу отримання та стабілізації харчових емульсій.

3. Удосконалення обладнання для змішування емульсій.

4. Аналіз результатів досліджень.

5. Висновки.

6. Список використаних джерел.

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

Типи емульсій в харчовій промисловості.

Обладнання для отримання харчових емульсій.

Удосконалення геометричних параметрів обладнання для змішування емульсії.

Дослідження стабільності харчової емульсії майонезу.

6. Дата видачі завдання «1» вересня 2024 р.

7. Календарний план

№ з/п	Назва етапів кваліфікаційної роботи	Строк виконання етапів роботи
1	Вступ	4.09-20.09.2024 р.
2	Аналіз процесу отримання та стабілізації харчових емульсій	21.09-18.10.2024 р.
3	Удосконалення обладнання для змішування емульсій	19.10-08.11.2024 р.
4	Аналіз результатів досліджень	09.11-15.11.2024 р.
5	Висновки по роботі	16.11-22.11.2024 р.
6	Оформлення роботи і подання до захисту	23.11-26.11.2024 р.

Здобувач вищої освіти

(підпис)

Горб О.С.

(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 – 43 сторінок. Робота містить: 14 рисунків. Список використаних джерел складається з 18 найменувань.

Об'єкт роботи – апарат для змішування емульсії.

Предмет роботи – процес отримання та стабілізації харчової емульсії.

Мета роботи – дослідження стабільності емульсій та удосконалення обладнання для змішування.

У роботі зазначено, що у найпростішому вигляді емульсія – це речовина, яка отримана шляхом з'єднання двох рідин, які не змішуються, тобто вони не змішуються і не поєднуються в типових умовах. Зазвичай це комбінація полярної і неполярної рідини, найчастіше води і масла відповідно. Більшість відомих харчових емульсій, таких як майонез, виготовляються з безперервної водної фази, дисперсної фази з високим вмістом олії та поверхнево-активних речовин, які стабілізують краплі олії.

На основі аналізу, було зазначено, що в емульсії дрібні краплі однієї рідини (дисперсна фаза) розподіляються по іншій рідині (безперервна фаза). Зазначено, що існує чотири типи емульсій, які є важливими або потенційно важливими в харчових продуктах: емульсія типу «олія у воді», емульсії – «вода в олії», емульсії – «вода/олія/вода», емульсії типу «олія/вода/олія», яка є подвійною емульсійною системою.

Запропоновано удосконалени конструкцію обладнання для отримання харчових емульсій. Конструкція була дещо змінена в порівнянні із стандартною конструкцією за рахунок зниження висоти основи робочого колеса з однієї половини до однієї третини. Це необхідно для стиснення схеми потоку на дні резервуара, щоб запобігти осіданню. Робоче колесо становить одну третину діаметра осередку, а перегородки складають одну десяту ширини комірки, щоб запобігти формуванню надлишкового вихору. Вони також мають таку ж висоту, як і бажаний рівень рідини. В удосконаленій конструкції обладнання для змішування емульсій пропонується застосовувати шестилопатеve робоче колесо. Проте така система може не збільшувати бічні зусилля змішувача. Пропонується для зменшення навантаження на систему змішування зробити отвори в асиметричних лопотях.

Досліджено стабільність харчової емульсії майонезу. Для цього було приготовано майонез із використанням природнього стабілізатора – яйця. Готували двома методами: ручним перемішуванням та за допомогою блендера. Використовувалися для дослідів однакові продукти. Під час роботи змішувач утворював вихор олії, повільно тягнучи масло вниз і утворюючи емульсію на дні склянки. У цьому випадку знадобилося близько 15 секунд, щоб вся олія в склянці емульгувалася. Здійснено моделювання отриманих процесів змішування та вихрового режиму при отриманні емульсії. Порівняно зразки отриманої емульсії майонезу. Інтерпретовано результати дослідження.

КЛЮЧОВІ СЛОВА: харчова емульсія, стабілізація, змішування, моделювання, геометричні параметри обладнання, майонез.

					ДонНУЕТ.133.ГМБ-23м.2024.ПЗ	Арк.
						4
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

ЗМІСТ

ВСТУП	6
РОЗДІЛ 1. АНАЛІЗ ПРОЦЕСУ ОТРИМАННЯ ТА СТАБІЛІЗАЦІЇ ХАРЧОВИХ ЕМУЛЬСІЙ	7
1.1 Емульсії в харчовій промисловості	7
1.2 Методи отримання емульсій	10
1.3 Утворення та стабільність емульсії	14
1.4 Обладнання для отримання емульсій	18
РОЗДІЛ 2. УДОСКОНАЛЕННЯ ОБЛАДНАННЯ ДЛЯ ЗМІШУВАННЯ ЕМУЛЬСІЙ	21
2.1 Оптимізація стабільності харчових емульсій	21
2.2 Удосконалення геометричних параметрів обладнання для отримання емульсій	25
РОЗДІЛ 3. АНАЛІЗ РЕЗУЛЬТАТІВ ДОСЛІДЖЕНЬ	32
3.1 Майонез – емульсія «олія у воді»	32
3.2 Дослідження стабільності харчової емульсії майонезу	35
ВИСНОВКИ	41
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ	43
ДОДАТКИ	44

					ДонНУЕТ.133.ГМБ-23м.2024.ПЗ			
<i>Зм.</i>	<i>Арк.</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>				
<i>Розроб.</i>	<i>Горб</i>				Дослідження стабільності емульсій та удосконалення обладнання для змішування	<i>Літ.</i>	<i>Арк.</i>	<i>Аркушів</i>
<i>Перевір.</i>	<i>Омельченко</i>						5	1
<i>Н. Контр.</i>	<i>Омельченко</i>					ДонНУЕТ Кафедра ЗІДО		
<i>Затверд.</i>	<i>Хорольський</i>							

ВСТУП

Актуальність роботи. У роботі зазначено, що у найпростішому вигляді емульсія – це речовина, яка отримана шляхом з'єднання двох рідин, які не змішуються, тобто вони не змішуються і не поєднуються в типових умовах. Зазвичай це комбінація полярної і неполярної рідини, найчастіше води і масла відповідно. Більшість відомих харчових емульсій, таких як майонез, виготовляються з безперервної водної фази, дисперсної фази з високим вмістом олії та поверхнево-активних речовин, які стабілізують краплі олії.

Мета та задачі дослідження. Метою магістерської роботи є дослідження стабільності емульсій та удосконалення обладнання для змішування.

Практична та наукова новизна. На основі аналізу, було зазначено, що в емульсії дрібні краплі однієї рідини (дисперсна фаза) розподіляються по іншій рідині (безперервна фаза). Хоча ці краплі нестабільні в нормальних умовах, присутність поверхнево-активної речовини, яку також називають «емульгатором», може стабілізувати краплі, знижуючи міжфазну напругу між двома рідинами. Зазначено, що існує чотири типи емульсій, які є важливими або потенційно важливими в харчових продуктах: емульсія типу «олія у воді», емульсії – «вода в олії», емульсії – «вода/олія/вода», емульсії типу «олія/вода/олія», яка є подвійною емульсійною системою.

Запропоновано удосконалену конструкцію обладнання для отримання харчових емульсій. Конструкція була дещо змінена в порівнянні із стандартною конструкцією за рахунок зниження висоти основи робочого колеса з однієї половини до однієї третини. Це необхідно для стиснення схеми потоку на дні резервуара, щоб запобігти осіданню. Робоче колесо становить одну третину діаметра осередку, а перегородки складають одну десяту ширини комірки, щоб запобігти формуванню надлишкового вихору. Вони також мають таку ж висоту, як і бажаний рівень рідини. В удосконаленій конструкції обладнання для змішування емульсій пропонується застосовувати шестилопатеve робоче колесо. Проте така система може не збільшувати бічні зусилля змішувача. Пропонується для зменшення навантаження на систему змішування зробити отвори в асиметричних лопотях.

Досліджено стабільність харчової емульсії майонезу. Для цього було приготовано майонез із використанням природнього стабілізатора – яйця. Готували двома методами: ручним перемішуванням та за допомогою блендера. Використовувалися для дослідів однакові продукти. Під час роботи змішувач утворював вихор олії, повільно тягнучи масло вниз і утворюючи емульсію на дні склянки. У цьому випадку знадобилося близько 15 секунд, щоб вся олія в склянці емульгувалася. Здійснено моделювання отриманих процесів змішування та вихрового режиму при отриманні емульсії. Порівняно зразки отриманої емульсії майонезу. Інтерпретовано результати дослідження.

					ДонНУЕТ.133.ГМБ-23м.2024.ПЗ			
<i>Зм.</i>	<i>Арк.</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>				
<i>Розроб.</i>	<i>Горб</i>				Дослідження стабільності емульсій та удосконалення обладнання для змішування	<i>Літ.</i>	<i>Арк.</i>	<i>Аркушів</i>
<i>Перевір.</i>	<i>Омельченко</i>						6	1
<i>Н. Контр.</i>	<i>Омельченко</i>					ДонНУЕТ Кафедра ЗІДО		
<i>Затверд.</i>	<i>Хорольський</i>							

РОЗДІЛ 1 АНАЛІЗ ПРОЦЕСУ ОТРИМАННЯ ТА СТАБІЛІЗАЦІЇ ХАРЧОВИХ ЕМУЛЬСІЙ

1.1 Емульсії в харчовій промисловості

Емульсії являють собою системи, які складаються з двох фаз, що не змішуються: масляної і водної фази, стабілізованих емульгуючим агентом. Завдяки своїм унікальним характеристикам, таким як здатність покращувати розчинність погано розчинних у воді інгредієнтів, підвищувати абсорбцію активних речовин та подовжувати їх вивільнення. Емульсії стали невід'ємними елементами в багатьох рецептурах, що використовуються у харчовій промисловості [4]. Точна характеристика їх фізико-хімічних властивостей, структури та стабільності є важливим кроком у розумінні їхньої поведінки, розробці нових рецептур та оптимізації виробничих процесів.

Емульсії утворюються шляхом змішування двох фаз, що не змішуються, масляної фази та водної фази, у присутності емульгуючого агента. Емульсії складаються з крапель рідини (дисперсна фаза), диспергованих у безперервній фазі та можуть бути класифіковані на кілька категорій залежно від їх складу: олія у воді, вода в олії та олія в олії. Емульсії є невід'ємною частиною харчової матриці багатьох харчових продуктів. Різні методи їх виробництва, застосування нових підходів в технологіях створення і розміщення в системі дозволяють отримувати продукти нового покоління з потрібними властивостями і цілеспрямованою доставкою біологічно активних речовин в організм людини [2-5]. Прямі і зворотні емульсії, які давно використовуються в харчовій промисловості, являють собою складну дисперсну систему, що складається з мікроскопічних крапель однієї рідини (дисперсної фази), розподілених в іншій рідкій (дисперсійне середовище). Такі системи мають ряд обмежень для збагачення біологічно активними речовинами, які мають різне співвідношення до фази і дисперсійного середовища. Тоді, як за рахунок додаткових рівнів організації як гідрофільні так і гідрофобні сполуки можуть бути інкапсульовані в подвійні емульсії, оскільки вони являють собою багаторівневу систему.

Подвійні емульсійні системи можуть бути використані для модифікації властивостей одержуваних продуктів (поліпшення сенсорних характеристик і терміну придатності), а також контролю вивільнення активних сполук. Системи подвійної емульсії ще називають множинними емульсіями або емульсіями емульсій. Вони є технологічними стратегіями для перепроєктування і розробки продуктів з функціональними властивостями. Подвійні емульсії були використані для приготування нових продуктів харчування з низьким вмістом калорій [1]. Крім того, подвійні емульсії використовуються для утворення

					ДонНУЕТ.133.ГМБ-23м.2024.ПЗ			
<i>Зм.</i>	<i>Арк.</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>				
<i>Розроб.</i>	<i>Горб</i>				Дослідження стабільності емульсій та удосконалення обладнання для змішування	<i>Літ.</i>	<i>Арк.</i>	<i>Аркушів</i>
<i>Перевір.</i>	<i>Омельченко</i>						7	14
<i>Н. Контр.</i>	<i>Омельченко</i>					ДонНУЕТ Кафедра ЗІДО		
<i>Затверд.</i>	<i>Хорольський</i>							

стабільних міжфазних плівок, контрольованого вивільнення функціональних сполук при зменшенні масопереносу, за рахунок зовнішньої фази, виступає в ролі бар'єру для зменшення жиру в харчових продуктах, для продовження відчуття солодких смаків, а також для приховування неприємних присмаків у підсолоджувачів.

Подвійні емульсії являють собою складні системи, що складаються з простої емульсії (дисперсна фаза) і третьої фази, яка утворює зовнішній шар складної системи. Однак, складна система термодинамічно нестабільна, тому необхідне застосування другої поверхнево-активної речовини, яка здатна стабілізувати зовнішню поверхню розділу [6-10]. Існує два типи систем подвійної емульсії: найбільш поширеними є вода-олія-вода та масло-вода-масло. Перша, вода-олія-вода складається з трьох фаз, де краплі води розсіюються в масляній фазі, а ця перша емульсія диспергується в іншій водній фазі. Для емульгування цієї системи використовуються два види емульгаторів. Ліпофільний емульгатор використовується для внутрішньої межі розділу між водою та олією, гідрофільний емульгатор використовується для підтримки другої межі розділу між маслом та водою. Подвійна емульсія другого типу влаштована таким же чином і в різному порядку рідин і емульгаторів. У масло-вода-масло емульсії складаються з водяних кульок, які містять масляну фазу і рівномірно розподілені в масляній фазі. Для цього типу розташування емульсії гідрофільний емульгатор інтегрований у внутрішній інтерфейс, а ліпофільний емульгатор використовується для зовнішньої межі між водою та олією.

Емульсії вода/олія/вода складаються із зовнішньої водної фази, що охоплює внутрішню водну фазу. Емульсії олія/вода/олія утворюються із зовнішньої фази, що охоплює внутрішню масляну фазу. Вибір типу подвійної емульсії ґрунтується на характеристиці продукту, в якому емульсія буде використовуватися. Емульсії вода/олія/вода зустрічаються частіше, ніж емульсії олія/вода/олія, оскільки мають велику область використання. Системи подвійної емульсії мають застосування в галузях харчової технології завдяки своїй здатності затримувати сполуки, захищати речовини і виробляти їх контрольоване виділення з однієї фази в іншу [1-5]. Процес отримання подвійної емульсії відбувається двома стадіями емульгування. Зазвичай на першій стадії емульсія вода в олії утворюється шляхом гомогенізації водної фази і масляної фази в присутності ліпофільного емульгатора з низьким гідрофільно-ліпофільним балансом, який здатний здійснювати поверхневий розділ поверхні. Другий етап протікає з гомогенізацією емульсії новою водною фазою і гідрофільним емульгатором з високим гідрофільно-ліпофільним балансом. Таким чином, виходить подвійна емульсійна система. Слід зазначити, що емульгатори класифікуються за іонним зарядом, стабільністю і природою (природні або синтетичні).

Хімічні та структурні характеристики цих систем сприяють інтеграції біологічно активних сполук у різних фазах (внутрішня або зовнішня фаза, масляна фаза) та різними умовами утворення подвійної емульсії. Таким чином, розчинні у воді сполуки (мінерали, вітаміни, амінокислоти, пептиди та волокна) можуть бути включені у внутрішню водну фазу, яка є більш захищеною, ніж сполука зовнішньої фази. Емульсія набуває бажаних властивостей, а саме:

					ДонНУЕТ.133.ГМБ-23м.2024.ПЗ	Арк.
						8
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

зменшення небажаних сенсорних ознак, підвищення захисту та стабільності біологічно активної сполуки та потенційне включення біологічно активної сполуки в рецептуру харчових продуктів.

На першому етапі гомогенізації жиророзчинні сполуки, такі як поліненасичені жирні кислоти та вітаміни можуть бути включені в масляну фазу. Вибір цієї олійної фази може служити стратегією, яка сприяє наявності функціональних інгредієнтів. Першим кроком є створення емульсії типу «вода в олії» або «олія у воді» за допомогою гідрофобних або гідрофільних емульгаторів. На другому етапі проводиться комбінація для отримання системи подвійних емульсій (наприклад, вода-вода).

Використання подвійної емульсії в харчових системах є недавнім напрямком досліджень. Ефективне включення подвійних емульсій в харчові системи сприяє розширенню різноманітності і поліпшенню якості функціональних харчових продуктів за рахунок інтеграції біоактивних компонентів, контролю вивільнення активних і чутливих молекул, зниження вмісту солі і жиру в харчових системах.

Потенційні переваги подвійних емульсій у системі харчування можна узагальнити так [1-3]:

- контрольоване вивільнення водорозчинних, олійнорозчинних інгредієнтів окремо або одночасно;
- контрольоване вивільнення мінералів, вітамінів, антиоксидантів, ароматизаторів або ароматичних інгредієнтів для маскуванню небажаного смаку, пробіотиків, мікроелементів (чутливих до світла, температури, кисню, рН);
- виробництво функціональних харчових продуктів за допомогою доданих цінних інгредієнтів;
- зниження вмісту жиру в харчових системах;
- зниження вмісту солей у харчових системах.

Незважаючи на переваги подвійних емульсій, харчові продукти з подвійними емульсіями все ще рідко зустрічаються на ринку через проблеми з нестабільністю. Вчені намагаються досліджувати та покращувати стабільність подвійних емульсій та інтегрувати їх у продукти.

На основі вище зазначеного можна вважати, що існує чотири типи емульсій, які є важливими або потенційно важливими в харчових продуктах (рис. 1.1).

1. Емульсія типу «олія у воді», де краплі олії знаходяться в підвішеному стані у водній безперервній фазі. Це найбільш універсальні з усіх видів емульсій. Вони існують у багатьох формах (майонези, вершки, суміші для морозива) і їх властивості можна контролювати, змінюючи як використовувані поверхнево-активні речовини, так і їх компоненти, які присутні у водній фазі.

2. Емульсії типу «вода в олії» характерні для вершкового масла, маргаринів та спредів на основі жирів загалом. Їх стабільність більше залежить від властивостей жиру або масла і використовуваної поверхнево-активної речовини, ніж від властивостей водної фази, і через це існує менше параметрів, які можна варіювати для контролю їх стабільності.

					ДонНУЕТ.133.ГМБ-23м.2024.ПЗ	Арк.
						9
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

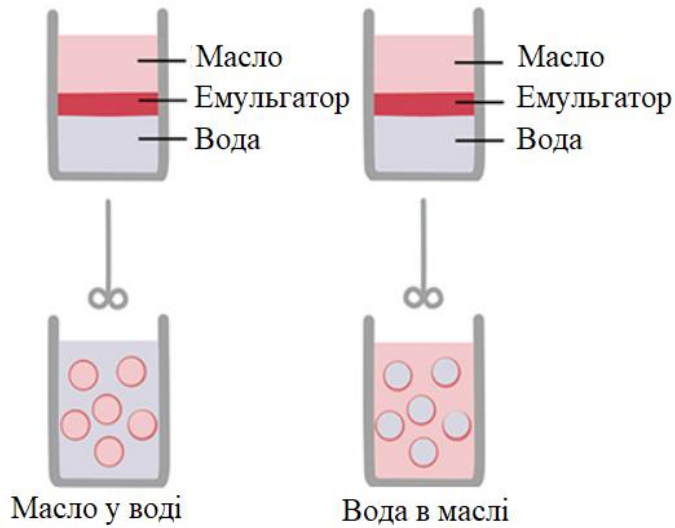


Рисунок 1.1 – Типи емульсій в харчовій промисловості

3. Емульсії вода в олії у воді, яка, по суті, є олія/водна емульсія, краплі якої самі по собі містять краплі води. Це найскладніші емульсії для виробництва та контролю, оскільки краплі води, що містяться в краплях олії, повинні бути стабільними, як і краплі олії, що містяться в безперервній водній фазі.

4. Емульсії «олія-в-воді-в-олії», яка є подвійною емульсійною системою, в якій дисперсною фазою є емульсія «олія у воді», а безперервною фазою – олія або пластичний жир.

Слід зазначити, що подвійна емульсійна система складається з трьох фаз: дві водні фази, внутрішня фаза і зовнішня фаза різного складу та масляна фаза, яка знаходиться серед них і стабілізується гідрофільними та ліпофільними поверхнево-активними речовинами. Множинні емульсії являють собою ускладнене розташування рідин, що не змішуються, в якій дисперсна фаза рідини охоплює більш дрібні кульки іншої рідкої фази. Інший опис полягає в тому, що зовнішня безперервна фаза розділена від внутрішньої дисперсної фази рідким шаром іншої фази, яка не змішується з іншими фазами. Ця складна перешарована структура емульсії відома як подвійна емульсія. Термін «множинні емульсії», вперше, був згаданий в 1925 році Вільямом Сейфрісом. Використання подвійної емульсії у харчовій промисловості сприяє контрольованому вивільненню внутрішньої речовини, оскільки багато продуктів, таких як молоко, майонез, вершкове масло, заправка для салатів є емульсійними системами, тому подвійні емульсії стають цінною технологією для поліпшення харчових емульсій.

1.2 Методи отримання емульсій

Отримання подвійної емульсії здійснюється в основному трьома методами: методом інверсії фази, мембранною фільтрацією і двоступеневим емульгуванням.

1. Метод інверсії фази. Фазова інверсія – це метод емульгування під яким розуміється миттєва зворотна зміна розташування емульсії, наприклад,

					ДонНУЕТ.133.ГМБ-23м.2024.ПЗ	Арк.
						10
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

емульсія вода/олія перетворюється в олія/вода або навпаки. Іншими словами, безперервна фаза і дисперсна фаза емульсії міняються зсередини назовні за рахунок швидких змін зовнішньої фази емульсійної системи. Це явище виявлене випадково і стало відправною точкою отримання подвійної емульсії. Фазова інверсія є широко застосовуваною технікою в емульсіях для утворення подвійної емульсії шляхом стабілізації внутрішньої емульсії. Інверсія фази може бути досягнута шляхом зміни певних властивостей, таких як рН системи, іонні властивості, температура, об'ємна частка безперервної та дисперсної фази або прикладання сили чи потоку [3, 8]. Ще у 1986 запропоновано певну процедуру отримання подвійної емульсії шляхом фазової інверсії. У дослідженні використовувалася інверсія фаз за рахунок зміни складу безперервної фази та дисперсної фази з систематичним виробництвом вода/олія/вода. Заданий об'єм масляної фази за участю ліпофільного емульгатора змішувався за допомогою штифтового змішувача, а водна фаза з гідрофільним емульгатором вводилася в масляну фазу з постійною об'ємною швидкістю і при цьому змішування продовжувалося. Коли об'ємна частка водної фази, що вводиться в ліпофільну фазу, перевищувала 70%, можна було спостерігати вода/олія/вода емульсії. Швидка зміна обсягу дисперсної фази сприяє заміні безперервної фази на водну фазу, що містить краплі олії з нерухомими частинками води всередині. Коли подальше додавання водної фази триває і об'ємна частка водної фази перевищує 0,75, масляний шар між двома водними фазами порушується і вся система схиляється до стану водно-водно-масляної простої емульсії. Основна перевага цієї методики полягає в тому, що дрібнодисперсні тверді емульсії можуть бути отримані на одному етапі, але контроль процесу інверсії фази є складним завданням.

2. Мембранна фільтрація. Ще одним новим методом приготування подвійної емульсії є мембранна фільтрація або мембранне емульгування. Відповідно до типу подвійної емульсії, яка буде вироблятися, внутрішня емульсія олія/вода або вода/олія виробляється за допомогою простих методів емульгування. Отримана проста емульсія називається дисперсною фазою подвійних емульсій [3]. Дисперсна фаза пропускається через мембрану з дрібними порами за допомогою різниці тисків, механічного пресування, в той час, як безперервна фаза подвійної емульсії з відповідним емульгатором протікає по зовнішній частині мембрани. Вихідні очищені краплі дисперсної фази від'єднувалися від мембрани після того, як вони досягали критичного розміру для відриву (рис. 1.2). Метод мембранного емульгування є вигідним завдяки низькому рівню споживання енергії, простоті контролю розміру частинок, вужчому розподілу розмірів і делікатними умовами процесу. Ця техніка практикується для виробництва не тільки подвійної емульсії, а також для комбінації інших прийомів.

3. Двоетапне емульгування. Двоступеневе емульгування є найбільш часто використовуваною технікою для виробництва подвійних емульсій через зручність, керованість, відтворюваність і здійсненність. Як і в інших техніках приготування для двоступеневого емульгування потрібні емульгатори, що працюють протилежно: гідрофільні та ліпофільні емульгатори. На першому етапі внутрішня емульсія подвійної емульсії готується з включенням

					ДонНУЕТ.133.ГМБ-23м.2024.ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		11

відповідного емульгатора, за допомогою сильної гомогенізації та жорсткого змішування, мембранного емульгування або їх комбінації. На цьому етапі намагаються досягти мінімального розміру частинок для отримання стабільних подвійних емульсій. На другому етапі емульгування свіжоотримана одиночна емульсія диспергується у власній безперервній фазі з розчинним емульгатором у ній. На цьому етапі емульгування гомогенізація проводиться при помірних рівнях швидкості і тиску з метою запобігання розпаду внутрішньої емульсії. Виробництво вода/олія/вода є двоступеневою емульгацією, яку можна отримати наступним чином:

- ліпофільний емульгатор вводиться в масляну фазу і повністю розчиняється. Функції ліпофільного емульгатора полягають у розташуванні на межі розділу внутрішньої водної фази W_1 і масляної фази та стабілізації утвореної емульсії. Внутрішня водна фаза W_1 поєднується з масляною фазою і сильна гомогенізація виконується в умовах високого зсуву, щоб зробити її однорідною та досягти дрібних крапель води, диспергованих у безперервній масляній фазі;

- зовнішня водна фаза W_2 готується за допомогою гідрофільного емульгатора для стабілізації межі між масляною фазою та зовнішньою водною фазою. У той час, як фаза W_2 змішується з більш м'яким зсувом і швидкістю, свіжоутворена проста емульсія вода/олія вводиться краплинним способом. У процесі змішування емульсія вода/олія диспергується в фазу W_2 і готується емульсія вода/олія/вода.

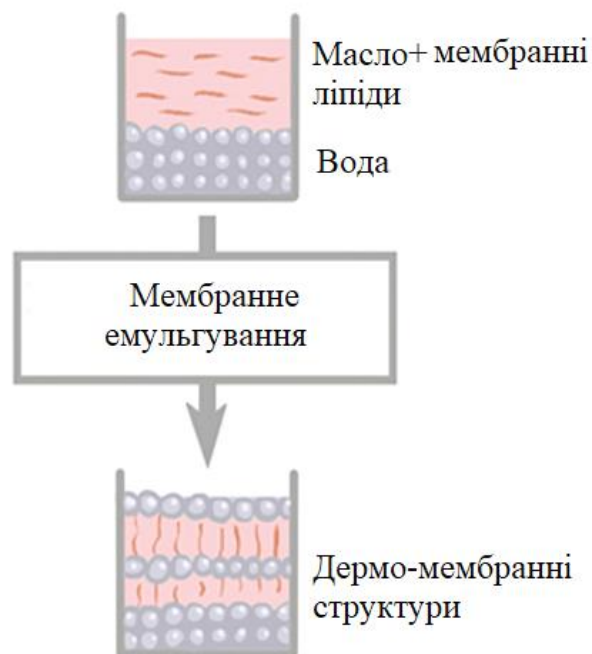


Рисунок 1.2 – Мембранна фільтрація

4. Методи гомогенізації. Гомогенізація визначається як транспозиція двох або більше рідин, що не змішуються, в рівномірно розподілену емульсійну систему. Гомогенізацію можна класифікувати як первинну і вторинну гомогенізацію. За наявності відповідного емульгатора та двох рідин, що не змішуються, якщо грубі частинки однієї рідини диспергуються в іншу рідину та

					ДонНУЕТ.133.ГМБ-23м.2024.ПЗ	Арк.
						12
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

утворюються емульсії, цей процес називається первинною гомогенізацією. Вторинна гомогенізація, з іншого боку, визначається як процес, який зменшує розмір частинок поточної краплі [3-6]. Без емульгатора рідини, що не змішуються, розташовуються відповідно до їх щільності, наприклад, масло збирається на вершині води, відокремленої з мінімальною поверхнею контакту. Для отримання стабільної колоїдної системи необхідні емульгатори, які адсорбуються на межі розділу та створюють захисний шар для злиття утворених крапель. Оскільки метод гомогенізації впливає на розмір і розподіл частинок, стабільність, реологію, фізико-хімічні властивості, зовнішній вигляд, колір і вартість виробництва емульсій, метод гомогенізації повинен бути належним чином оцінений.

5. Ультразвукову гомогенізацію можна визначити як метод гомогенізації, який використовує ультразвукові хвилі в діапазоні понад 20 кГц, які створюють градієнти зсуву та тиску всередині зразка та перемішують розчин у результаті турбулентних та кавітаційних ефектів. Конденсовані ультразвукові хвилі утворюються шляхом коливань п'єзоелектричного кристала, індукованих електричним полем високої інтенсивності в п'єзоелектричних перетворювачах. Для рідинних струменевих генераторів коливання гострих лез забезпечується за рахунок виходу рідини з невеликого сопла, а коливання лопаті створюють ультразвукові хвилі високої інтенсивності [3, 6, 9]. Основними явищами, що визначають активність ультразвукової гомогенізації є акустичні кавітації. В умовах акустичного поля високої інтенсивності спостерігалось утворення парових порожнин за рахунок коливань тиску всередині рідинної системи. При зниженому тиску і температурі навколишнього середовища ядра розчиненого газу всередині рідини починають розширюватися і руйнуватися після досягнення критичної точки. Під час ультразвукової гомогенізації може спостерігатися підвищення температури, тому для термочутливих емульсійних систем температуру слід контролювати належним чином.

Ультразвукове емульгування – це метод, який підвищує ефективність олія/вода емульсій. Метод дозволяє отримувати емульсію високої фізичної стабільності, низької каламутності та розміру крапель від 10 до 100 нм. Гомогенізатори високого тиску підвищують в'язкість емульсій, що містять у своєму складі білок, однак вони мають недолік у вигляді споживання великої кількості енергії. Також ультрафільтраційні мембрани використовуються для отримання емульсій з низьким механічним розтягом, що запобігає пошкодженню крапель (так як емульсії не піддаються впливу зсувних сил). Наприклад, якщо використовувати більш високі концентрації поверхнево-активних речовин то виходить менший розмір краплі і в більш короткі терміни. У подвійних емульсіях розмір глобул може бути змінений за допомогою різних механізмів гомогенізації і варіювання типу і концентрації емульгаторів, складу масляної фази і в'язкості фаз.

6. Мікрофлюїдизація є широко використовуваним методом гомогенізації емульсії та зменшення розміру частинок колоїдних дисперсій. Мікрофлюїдизатор складається з входу рідини, насоса-підсилювача з повітряним приводом і камери взаємодії. Рідина, що подається з входу рідини, нагнітається в камеру взаємодії під дією високого тиску (до 270 МПа), що

					ДонНУЕТ.133.ГМБ-23м.2024.ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		13

виробляється насосом-підсилювачем. Прискорені пари емульсії змушені проникати в камеру взаємодії через мікроканали. Високий зсув, викликаний високим тиском і кавітацією в камері взаємодії, сприяє утворенню емульсії з дрібними частинками. Збільшення тиску і часу обробки може зменшити розмір частинок емульсії. Основна проблема мікрофлюїдизації полягає в тому, що за межами оптимального тиску та кількості циклів відбувається повторне злиття крапель емульсії, що в кінцевому підсумку призводить до надмірної обробки.

1.3 Утворення та стабільність емульсії

Термодинамічні мікроемульсії стабільні завдяки низькій міжфазній енергії і можуть спонтанно утворюватися, але виявляють високу чутливість до зміни температури і складу. Макроемульсії та наноемульсії за своєю суттю термодинамічно нестабільні та існують у стані нерівноваги. У цих типах емульсій розщеплення дисперсної фази на краплі збільшує межу розділу між фазами, що призводить до значного збільшення міжфазної площі та енергії. Утворення макро- та наноемульсій не відбувається спонтанно, а потребує надходження енергії. Однак, через дуже малий розмір крапель наноемульсії можуть залишатися кінетично стабільними протягом тривалого часу. Важливо відзначити, що ця метастабільність є результатом не рівноважного стану, а скоріше значно зниженою швидкістю процесів розділення на основі гравітації.

Нестабільні системи можна стабілізувати за допомогою поверхнево-активних речовин – поверхнево-активні речовини також називають емульгаторами. Здатність емульгаторів стабілізувати краплі впливає з їх природи. Молекули емульгатора складаються з гідрофільної частини (головка) і гідрофобного сегмента (хвіст). При введенні в емульсію «олія у воді» де краплі олії диспергуються у водній фазі, а молекули емульгатора спонтанно обволікають краплі олії, при цьому їх неполярні хвости досягають краплі. При цьому їх головки спрямовані назовні до безперервної фази, утворюючи захисний шар навколо крапель [4-8]. У емульсіях типу «вода в олії» де краплі води диспергуються в масляній фазі, а орієнтація молекул емульгатора зворотна: неполярні хвости орієнтовані назовні до масляної фази, тоді як полярні головки спрямовані всередину до центру крапель води. Емульсії «олія у воді» відомі як стандартні емульсії, тоді як емульсії «вода в олії» називаються зворотними або інвертованими емульсіями. Коли емульсія додатково диспергується в іншу безперервну фазу то її називають кратною емульсією або емульговою емульсією. Прикладом багаторазової емульсії є «олія-вода-олія», яка включає дрібні краплі олії, які розсіяні більшими краплями води та зважені в безперервній масляній фазі.

Під стабільністю емульсій мається на увазі їх здатність витримувати зміну фізико-хімічних властивостей і розміру крапель з плином часу. Стабільність емульсії є вирішальним фактором у різних сферах застосування, у тому числі в харчовій промисловості, оскільки вона забезпечує бажані фізико-хімічні властивості та термін придатності продукту. Одним з ключових механізмів дестабілізації емульсії є коалесценція, яка виникає коли краплі дисперсної фази вступають в контакт і зливаються з утворенням більших

					ДонНУЕТ.133.ГМБ-23м.2024.ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дат		14

розмірів крапель. Злиття крапель може відбуватися через броунівський рух, зіткнення та сили притягання між краплями. Коалесценція призводить до розриву тонкого рідкого шару, що розділяє окремі краплі. У міру наближення двох крапель шар стає тоншим, поки не досягне стабільної товщини, що визначається поверхневими силами. Результируюча сила, відома як тиск роз'єднання, включає різні взаємодії, такі як відштовхувальні електростатичні сили. В емульсіях, де дисперсна фаза частково кристалізується, краплі можуть зазнавати часткового злиття (так званого також зупиненого злиття). Під час часткового злиття краплі починають зливатися, але перш ніж коалесценція завершується, утворюється дочірня крапля меншого розміру. Часткове злиття може знову відбутися в дочірніх краплях, створюючи наступні покоління дочірніх крапель.

Іншим важливим механізмом дестабілізації емульсії є флокуляція, коли краплі групуються разом, утворюючи більші скупчення або пластівці за рахунок сил притягання між ними. Швидкість флокуляції можна передбачити за допомогою коефіцієнта частоти, який визначає, як часто краплі стикаються одна з одною, і коефіцієнта ймовірності, що вказує, як довго вони залишаються разом. Зазвичай флокуляція призводить до посилення кремування (тобто переміщення дисперсної фази до верхнього шару емульсії), тому що пластівці піднімаються швидше, ніж окремі краплі за рахунок більшого ефективного радіусу. Кремований шар, що утворився до кінця цього процесу, фактично становить концентровану пластівку [1-6]. Третім процесом, що приводить до відділення емульсії є дозрівання. Під час дозрівання більш дрібні краплі включаються в більші, через різницю тисків між краплями і безперервною фазою, а також різницею в розчинності крапель нерівномірного розміру. У полідисперсних емульсіях більш дрібні краплі виявляють більш високий тиск в порівнянні з більшими краплями. Дрібні краплі також мають більш високу розчинність в безперервній фазі і тому мають тенденцію включатися в більші краплі. В результаті відбувається безперервний перехід дисперсної фази від дрібних до великих крапель, що призводить до поступового зростання більших крапель і зменшення більш дрібних. Така диспропорція призводить до зменшення загальної кількості крапель у популяції.

Кремування має на увазі переміщення дисперсної фази до верхнього шару емульсії. Це є результатом різниці щільності між олійною та водною фазами, що призводить до підйому крапель на поверхню. Процес поділу, який відбувається за допомогою подібного механізму, і є седиментацією. Седиментація, зазвичай, спостерігається в емульсіях типу «вода в олії», де на дні збираються більш важкі краплі води. Утворенню кремів або седиментації можна запобігти, використовуючи безперервну фазу з високою в'язкістю або регулюючи як розподіл частинок за розміром, так і щільність дисперсної фази.

Часова еволюція розділення емульсій піддається багатофакторним впливам, охоплюючи такі параметри, як тип і концентрація емульгатора, співвідношення води і масла в об'ємі, включення добавок, а також фізико-хімічні характеристики складових суміші (включаючи в'язкість, щільність і міжфазний натяг). Інші визначальні фактори включають полярність, іонну силу та температуру. Характеристики стабільності емульсії можуть сильно

									Арк.
									15
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата	ДонНУЕТ.133.ГМБ-23м.2024.ПЗ				

варіювати, причому деякі емульсії призначені для перехідної стабільності, тоді як інші демонструють стійку стабільність, зберігаючись протягом тижнів, місяців або навіть років.

Вибір емульгатора може сильно вплинути на стабільність і фізико-хімічні властивості емульсій. Емульгатори можуть бути як іонними (заряджені позитивно або негативно) і вони несуть як позитивні, так і негативні заряди при нейтральному рН або неіонними. Іонні емульгатори утворюють навколо крапель заряджену оболонку, викликаючи між ними електростатичне відштовхування. Ступінь відштовхування залежить від поверхневого заряду емульгатора і ступеня іонізації, на які сильно впливають рН емульсії і наявність інших заряджених видів, наприклад електролітів [1-8]. Це робить їх чутливими до складу та рН, обмежуючи їх використання певними типами емульсій. Наприклад, катіонні емульгатори добре працюють у розчинах з низьким рівнем рН і нейтральними розчинами, але не в лужних розчинах, тоді як аніонні емульгатори краще підходять для лужних емульсій. Більш універсальними вважаються неіонні емульгатори, які містять у своїх молекулах великі громіздкі незаряджені полярні групи, оскільки вони можуть ефективно стабілізувати різні види емульсій. Суміші поверхнево-активних речовин, включаючи комбінації іонних/неіонних або неіонних/неіонних емульгаторів, також можуть бути використані для посилення емульгування та покращення стабільності рецептури. При виборі найбільш підходящого емульгатора ключовим фактором, який слід враховувати, є його гідрофільнофільний баланс, який описує спорідненість емульгатора до масляної та водної фаз. Він використовується для прогнозування здатності емульгатора утворювати певний тип емульсії та пов'язаний з розчинністю емульгатора у воді та олії, а також розміром та міцністю його гідрофільної та ліпофільної частин. Емульгатори з більш високим значенням НЛВ більш схильні до гідрофільності і зазвичай утворюють емульсії «олія у воді», в той час як емульгатори з більш низькими значеннями, як правило, більш гідрофобні і сприяють утворенню емульсій «вода в олії».

Емульсії також можна стабілізувати за допомогою твердих частинок, які накопичуються на межі розділу вода-олія і створюють бар'єр, що перешкоджає злиттю крапель. Ці частинки включають неорганічні частинки, органічні частинки і частинки поверхні яких мають дві або більше різних фізичних властивостей, наприклад, гідрофільні та гідрофобні. Вони забезпечують стабільність емульсій за рахунок часткового змочування як масляною, так і водною фазами. Утворення емульсії «олія у воді» або емульсії «вода у воді» залежить від змочуваності твердих частинок на межі розділу олії та води. Якщо одна рідина має кращі змочувальні властивості твердими частинками в порівнянні з іншою, вона стане безперервною фазою, а інша – дисперсною.

На стабільність емульсій також істотно впливає концентрація емульгатора. У той час, як більш високі концентрації емульгаторів зазвичай призводять до більш стабільних емульсій, бувають випадки, коли це може бути не так через різні міжкраплинні взаємодії в різних емульсійних системах. Додатково існує межа концентрації емульгатора за межами якої стабільність емульсії може знижуватися. Це часто називають «надмірною емульгацією».

					ДонНУЕТ.133.ГМБ-23м.2024.ПЗ	Арк.
						16
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Надмірна емульгація – це явище, яке виникає коли в емульсію додається надмірна кількість емульгатора, що призводить до її дестабілізації. Механізм надмірної емульгації пов'язаний з дисбалансом концентрації емульгатора на межі розділу. Коли концентрація емульгатора перевищує певний поріг то виникає надлишок молекул емульгатора на межі розділу, що призводить до відштовхування між цими молекулами. Це відштовхування порушує утворення стабільної міжфазної плівки, що призводить до зниження здатності емульгатора знижувати міжфазну напругу.

На швидкість дестабілізації емульсії впливають також такі фактори, як рН, іонна сила, температура і в'язкість безперервної фази. Ці змінні суттєво впливають на електростатичні взаємодії та відштовхувальний бар'єр між краплями. Особливо глибоко вони впливають на емульсії, які стабілізуються іонними емульгаторами. У контексті стабільності емульсії рН та іонна сила відіграють вирішальну роль у впливі на щільність поверхневого заряду крапель, молекулярну гнучкість, електростатичні та стеричні взаємодії. Краплі емульсії набувають свій електричний заряд, головним чином, завдяки адсорбції іонізованих видів, таких як іонні емульгатори, поліелектроліти або іони з навколишнього розчину на їх поверхню [3-7]. На знак і величину поверхневого заряду крапель впливає вид і концентрація адсорбованих на поверхні молекул. Рівень рН емульсії регулює іонізацію поверхневих груп, що впливає на щільність поверхневого заряду крапель. Регулюючи рН розчину, можна регулювати товщину і цілісність міжфазного шару і контролювати скільки іонізованих молекул адсорбується на поверхнях крапель. Регулюючи рН розчину, з'являється можливість налаштувати електростатичні взаємодії між краплями. Крім того, оскільки різні білки мають різні ізоелектричні точки, підбір білків з необхідними електричними властивостями при бажаному рН розчину дозволяє змінювати величину електричного відштовхування між краплями.

Зміна температури впливає на різні фактори, включаючи в'язкість фаз, міжфазний натяг, адсорбцію поверхнево-активної речовини до крапель, розчинність і дифузійність крапель у суцільній фазі. Ці зміни опосередковано впливають на стабільність емульсії. При підвищенні температури зменшується міжфазний натяг і в'язкість, що сприяє утворенню емульсії. Однак високі температури можуть знижувати стабільність емульсії за рахунок підвищення розчинності дисперсної фази в суцільній фазі і прискорення дозрівання. Різкі коливання температури особливо згубні для стабільності емульсії. І навпаки, збільшення в'язкості безперервної фази може посилити стійкість емульсії до поділу за рахунок уповільнення гравітаційних процесів поділу, таких як седиментація, одночасно зменшуючи зіткнення крапель і частоту злиття.

В цілому емульсії виявляють більшу стабільність при малих краплях і PDI через зменшення притягання між краплями і підвищеної в'язкості, що призводить до зниження коалесценції. У полідисперсних системах більш дрібні краплі виявляють більшу розчинність в безперервній фазі в порівнянні з більшими. З підвищенням полідисперсності емульсії посилюються відмінності в розчинності і хімічному потенціалі між краплями, прискорюючи дозрівання Оствальда. Ще одним вирішальним фактором для стабільності емульсії є

					ДонНУЕТ.133.ГМБ-23м.2024.ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		17

концентрація крапель. У олія/вода емульсіях було показано, що збільшення концентрації крапель покращує їх стабільність та знижує швидкість кремування, що можна пояснити ефектом скупчення крапель, вищою щільністю упаковки та сильнішими міжкрапельними взаємодіями. Однак, сила цих взаємодій багато в чому залежить від поверхневого заряду крапель, так як електрично заряджені краплі не можуть підходити одна до одної так близько, як незаряджені.

1.4 Обладнання для отримання емульсій

Високошвидкісні змішувачі, а саме високосувні змішувачі або роторно-статорні змішувачі, мають особливість поворотної головки, яка може обертатися зі швидкістю 10-50 м/с, з часом вони можуть досягати високих швидкостей зсуву від 20 000 до 100 000 с⁻¹. За метою використання обертова частина змішувача може бути різних розмірів. Цей тип міксерів подає велику кількість енергії змішувальною головкою на високих швидкостях, тому перемішування може бути локалізоване навколо обертової головки. Прискорене обертання обертової головки, до 3600 об/хв, створює обертальні, поздовжні, горизонтальні, вертикальні та радіальні складові швидкості, які створюють перешкоди на межі розділу вода-масло [3]. Існуючі профілі швидкостей рівномірно розподіляють воду та олію по всій посудині для періодичної обробки, в результаті чого дві рідини, що не змішуються, змішуються, і в кінцевому підсумку зменшують розмір частинок утворених крапель рідини.

Рух високошвидкісних міксерів – це багатофункціональна обробка розчинення, перемішування, змішування, емульгування. У міру збільшення часу процесу і швидкості обертання високошвидкісного міксера розмір частинок утворюваних крапель зменшується. Крім того, концентрація та характеристики інгредієнтів, в'язкість розчину, щільність потужності міксера та температура розчину впливають на розмір частинок та стабільність емульсії. Як правило, діаметр частинок, що утворюється високошвидкісним гомогенізатором, коливається від 2 до 10 мкм. Високошвидкісний міксер не тільки зменшує розмір частинок, але й гомогенізує розподіл частинок за розміром і знижує полідисперсний індекс розподілу частинок.

Робочі колеса бувають різних форм і розмірів (рис. 1.3, рис. 1.4, рис. 1.5).

У процесі вибору крильчатки слід враховувати:

- розмір посудини;
- в'язкість сировини, яка підлягає перемішуванню;
- бажаний результат застосування, наприклад, аерація або високий зсув;
- бажана схема потоку.

Осьовий потік забезпечує рух зверху вниз в резервуарі та ідеально підходить для отримання емульсій. Зсув, як правило, нижчий, але потік більший порівняно з радіальним потоком.

						ДонНУЕТ.133.ГМБ-23м.2024.ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата			18

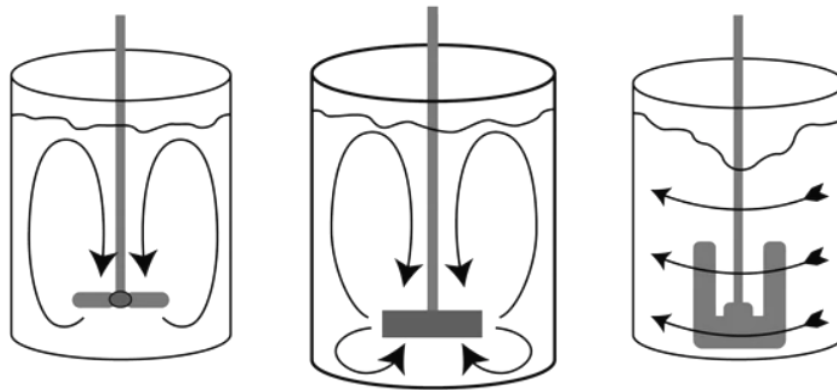


Рисунок 1.3 – Осьовий, радіальний і тангенціальний потік

Радіальний потік: рідину переміщують убік, а потім вгору або вниз, перш ніж повернутися до центру. Радіальний потік підходить для застосувань з високим зсувом, таких як емульгування або дисперсія рідина-газ. Хоча зсув, як правило, вищий, потік менший порівняно з осьовим потоком.

Тангенціальний потік: рідина переміщується по посудині горизонтально, як за допомогою лопатки. Це найбільше підходить для змішування високов'язких матеріалів. Зсув низький, а вертикальний потік невеликий.

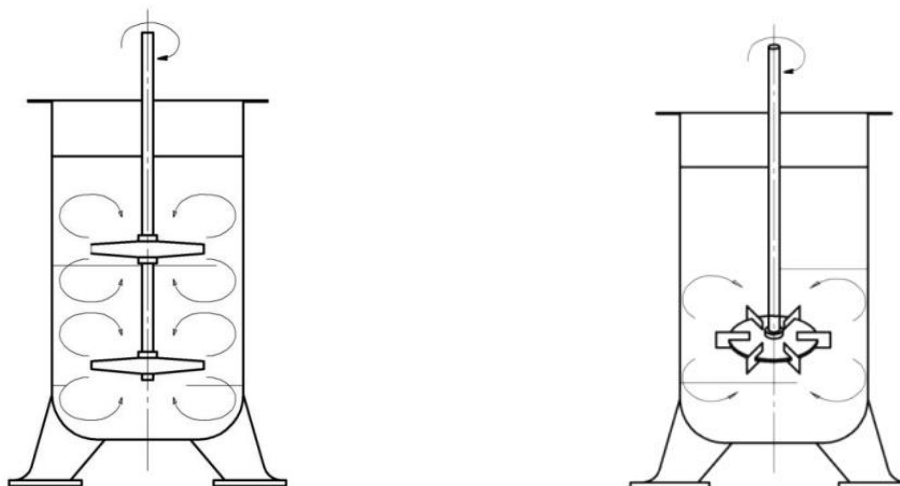


Рисунок 1.4 – Апарати для отримання емульсій

Продукція може являти собою як емульсію «масло у воді» або «вода в маслі», що складається з пом'якшувальних засобів і мастил, диспергованих в масляній фазі, так і водну фазу, що містить емульгуючі і загусники, ароматизатори, барвники і консерванти. Активні інгредієнти диспергуються в будь-якій фазі в залежності від сировини і бажаних властивостей кінцевого продукту. Типовий виробничий процес виглядає наступним чином:

- інгредієнти диспергуються в масляну фазу, для розплавлення деяких інгредієнтів може знадобитися нагрівання;
- діючі речовини диспергуються у відповідній фазі;
- окремо готується водна фаза, що містить емульгатори і стабілізатори;
- потім дві фази змішуються з утворенням емульсії, цьому сприяє

Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата

нагрівання залежно від рецептури та в'язкості;

– перемішування продовжують до тих пір, поки кінцевий продукт не стане однорідним.

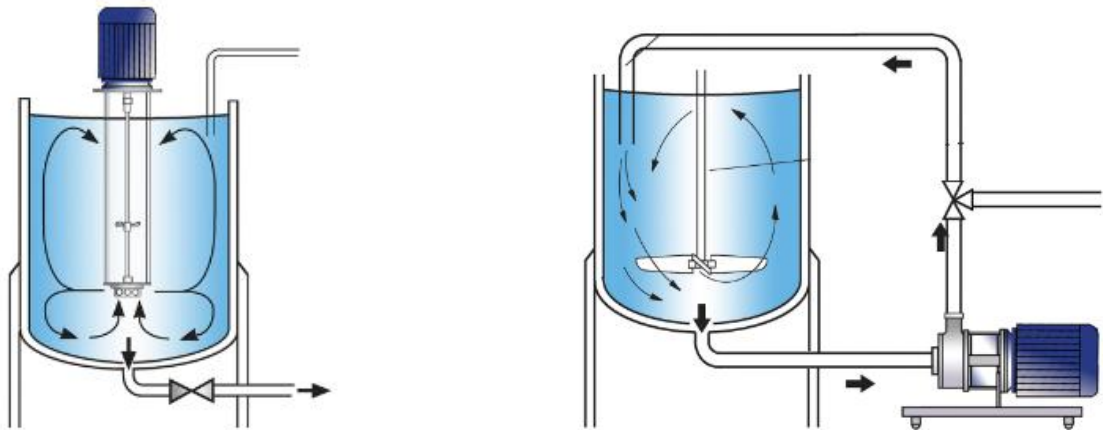


Рисунок 1.5 – Змішувачі періодичної дії з високим зсувом [5]

На основі вище зазначеного можна вважати, що емульсія – це суспензія однієї фази в іншій, в якій вона не змішується. Одна з фаз існує у вигляді дискретних крапель, зважених у другій, безперервній фазі, і між двома фазами є міжфазний шар, який зайнятий деяким необхідним поверхнево-активним матеріалом. Існує чотири типи емульсій, які є важливими або потенційно важливими в харчових продуктах.

1. Емульсія типу «олія у воді», де краплі олії знаходяться в підвішеному стані у водній безперервній фазі. Це найбільш універсальні з усіх видів емульсій. Вони існують у багатьох формах (майонези, вершки, суміші для морозива) і їх властивості можна контролювати, змінюючи як використовувані поверхнево-активні речовини, так і їх компоненти, які присутні у водній фазі.

2. Емульсії типу «вода в олії» характерні для вершкового масла, маргаринів на основі жирів загалом. Їх стабільність більше залежить від властивостей жиру або масла і використовуваної поверхнево-активної речовини, ніж від властивостей водної фази, і через це існує менше параметрів, які можна варіювати для контролю їх стабільності.

3. Емульсії є вода в олії у воді, яка, по суті, є олія/водна емульсія, краплі якої самі по собі містять краплі води (тобто є без/о емульсіями). Це найскладніші емульсії для виробництва та контролю, оскільки краплі води, що містяться в краплях олії, повинні бути стабільними, як і краплі олії, що містяться в безперервній водній фазі.

4. Емульсії «олія-в-воді-в-олії», яка є подвійною емульсійною системою, в якій дисперсною фазою є емульсія «олія у воді», а безперервною фазою – масло або пластичний жир.

Зазначено, що у процесі вибору обладнання для отримання емульсій необхідно враховувати: в'язкість сировини, яка підлягає перемішуванню; бажаний результат застосування, наприклад, аерація або високий зсув; бажана схема потоку.

Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата

РОЗДІЛ 2 УДОСКОНАЛЕННЯ ОБЛАДНАННЯ ДЛЯ ЗМІШУВАННЯ ЕМУЛЬСІЙ

2.1 Оптимізація стабільності харчових емульсій

Робота міксерів заснована на збереженні законів безперервності, імпульсу та енергії. Міксери в промисловості поділяються на дві основні категорії: статичні змішувачі (нерухомі міксери) і динамічні міксери (механічні міксери). У динамічних міксерах основною причиною змішування є робоче колесо (крильчатка), яке обертається. У сучасних галузях промисловості для процесу змішування використовуються статичні або динамічні міксери підвищеної інтенсивності. Механічні міксери діляться на дві категорії: ротори-статори і екструдери [11]. Роторно-статорні змішувачі дуже популярні для вбудованого розсіювання. Завдяки малим обсягам і високим швидкостям обертання і потужності, динамічні міксери забезпечують велике локальне розсіювання енергії. Основним призначенням екструдерів є розплавлення полімерних гранул і перекачування розплаву під високим тиском, але іноді вони використовуються в якості змішувача в промисловості. Основними механізмами змішування в роторі-статорі і екструдері є радіальне і осьове змішування.

Для стабільності емульсій в харчовій промисловості необхідно враховувати фактори, що впливають на термодинамічну нестабільність системи, такі як тип і концентрація емульгатора, рН, температура тощо.

1. Вид і концентрація емульгатора. Стабільність подвійних емульсій залежить від типу емульгатора, тому що властивості міжфазної плівки поліпшуються по відношенню до ефективності, що досягається емульгатором при його зв'язуванні з водною фазою в масляну фазу, досягаючи бажаних характеристик емульсії. Невідповідна концентрація емульгатора може спричинити інверсійну фазу з подвійної емульсії у просту емульсію. Зокрема, при використанні білків і полімерів, в якості емульгуючого середовища, необхідно враховувати тип білка і його концентрацію, так як вони є впливовими факторами розміру частинок і стабільності в системі [1-6]. Якщо емульсія приготовлена методом подвійної гомогенізації, то ліпофільний емульгатор може виконувати функцію стабілізації, а також мати здатність міграції з внутрішньої межі в зовнішню межу і навпаки, гідрофільний емульгатор, доданий під час другої фази гомогенізації, може стабілізувати вихідну первинну емульсію. Аналогічним чином стабілізація емульсії може бути досягнута за допомогою негативно заряджених аніонних поверхнево-активних речовин (наприклад, лецитину і жирних кислот відповідно) з негативно зарядженими полісахаридами, а також з позитивно зарядженими

					ДонНУЕТ.133.ГМБ-23м.2024.ПЗ			
<i>Зм.</i>	<i>Арк.</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>				
<i>Розроб.</i>	<i>Горб</i>				Дослідження стабільності емульсій та удосконалення обладнання для змішування	<i>Лім.</i>	<i>Арк.</i>	<i>Аркушів</i>
<i>Перевір.</i>	<i>Омельченко</i>						21	11
<i>Н. Контр.</i>	<i>Омельченко</i>					ДонНУЕТ Кафедра ЗІДО		
<i>Затверд.</i>	<i>Хорольський</i>							

білками нижче ізоелектричної точки і негативно зарядженими білками вище ізоелектричної точки (сироватковий білок, казеїн і соєві білки). Якщо поверхнево-активна речовина має вищу спорідненість до води, утворюється емульсія типу олія/вода, а якщо поверхнево-активна речовина має вищу спорідненість до олії, утворюється емульсія типу вода/олія. Тому оптимальними молекулами для використання в якості емульгаторів є ті, які зберігають стабільність і фазову рівновагу в часі.

2. **Перемішування.** Швидкість перемішування здійснюється в діапазоні від 11000 до 24000 об/хв. Цей діапазон швидкостей дозволяє формувати емульсію шляхом поступового зменшення розміру крапель за допомогою напруги зсуву, що викликає розпад великих крапель на кілька більш дрібних крапель. Гомогенізуючий клапан може бути використаний для регулювання величини тиску для отримання різних розмірів крапель. При другій гомогенізації слід уникати енергійного збудження фази для запобігання розриву крапель і можливої інверсії простої емульсійної системи з подальшою втратою принципу, який може бути інкапсульований. Тому при низькому перемішуванні не буде вироблятися достатня кількість дрібних крапель, що знижує стійкість системи і сприяє злиттю. Швидкість перемішування визначає однорідність і розмір крапель, хоча втрати стабільності емульсії можуть виникати і при збільшенні швидкості при високих температурах, так як кінетична енергія частинок збільшується і може викликати зміни електростатичних сил системи.

У системах емульсії для заміни традиційного механізму перемішування можуть бути використані інші методи, використовуючи інші механізми, такі як мікрофлюїдика, ця техніка дозволяє маніпулювати з точністю, розміром і кількістю крапель, отримуючи високомонодисперсні капсули. Також методика дозволяє виготовляти подвійні і потрійні емульсії. Іншою розглянутою технікою є багатошарова, яка може контролювати розмір, розподіл і концентрацію внутрішніх крапель, а також контролювати характеристики міжфазного шару (склад, навантаження, товщина, проникність, чутливість до навколишнього середовища). Методика багатошаровості забезпечує виборчу проникність в межах розділу плівки, що дозволяє проводити інкапсуляцію біологічно активних компонентів, уникаючи їх втрати.

3. **Міжфазна напруга.** Молекулярні та фізико-хімічні характеристики поверхнево-активних речовин впливають на утворення стабільних крапель в емульсії. Основні функції поверхнево-активних речовин полягають у зменшенні міжфазної напруги між ліпофільно-гідрофільними фазами та стабілізації крапель [1-5]. Пов'язана стійкість з двома речовинами, що не змішуються, гарантована, якщо одна фаза може повністю огорнути іншу, що досягається тільки при зменшенні сумарних міжфазних енергій. Альтернативою для зменшення міжфазного напруження без підвищення плинності поверхні розділу є використання емульгаторів-коагулянтів, таких як кислоти, аміни та коротколанцюгові спирти. Переважно використовувати природні компоненти типу флавоноїдів або кверцетину, які мають однакову функцію зменшення міжфазного напруження, зменшення розміру крапель у подвійній емульсії та сприяння стабільності системи. Хоча, природні сполуки

					ДонНУЕТ.133.ГМБ-23м.2024.ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		22

не володіють достатньою поверхнево-активною властивістю, щоб стабілізувати подвійну емульсію, але їх застосування треба продовжувати вивчати.

3. Наявність електролітів. Наявність або відсутність сильних електролітів, таких як NaCl, впливає на електропровідність подвійних емульсій. Ця властивість була використана для перевірки вивільнених властивостей діючої речовини. Якщо у водній фазі присутні електроліти то провідність, як правило, вища, ніж провідність в масляній фазі. Однією з основних переваг додавання електролітів з водної фази в емульсію вода/олія є зростаюча стабільність двох фаз за рахунок зменшення сили електроліту, яка є силою притягання серед крапель, і в кінцевому рахунку викликає зменшення діелектричної проникності водної фази. Тому можна отримати капсули з поліелектролітом, які мають застосування в харчовій промисловості [1, 2]. Емульсії типу вода/олія/вода мають характерну властивість – електролітичну провідність. Провідність води, як правило, вища, ніж провідність масла, завдяки тому, що у водній фазі майже завжди присутній електроліт. Тому властивість провідності більш важлива, коли зовнішньою фазою емульсії є вода. Однак, наявність електролітів у фазі вода, які необхідні для продовження стабільності подвійних емульсій, для уникнення цього електроліти мігрують з фази W_1 в W_2 .

4. Температура. Одним з важливих параметрів ефективності міксерів є температура. Підвищення температури призводить до зниження в'язкості безперервної фази, що призводить до збільшення швидкості стоку безперервної фази між 2 краплями, які покращують процес злиття. Вплив температури на швидкість злиття дуже сильна, тому що фізичні властивості дисперсної і безперервної фаз залежать від температури. Як правило, більш високі температури викликають більшу швидкість злиття. Температура має прямий вплив на розчинність всіх сполук в емульсіях (масла, білки, полісахариди і емульгатори) і їх взаємодію. Тип взаємодії між молекулами залежить від температурного діапазону, що використовується при приготуванні подвійних емульсій. Рекомендована температура в діапазоні 20-25°C. Слід уникати температур, близьких до точки, яка називається температурою інверсії фази, оскільки емульсія змінює свою фазу з дисперсної на безперервну при цій температурі, що дестабілізує систему. Так само і температури повинні підтримуватися при температурі кристалізації ліпідів для запобігання затвердінню жирів при гомогенізації [1, 11]. З іншого боку, вибір невідповідної температури може викликати денатурацію білка, що призводить до дестабілізації емульсії, інверсії фази або втрати внутрішньої структури, щоб не відбувалося швидкого вивільнення біологічно активної сполуки.

5. рН відіграє важливу роль у зв'язку з відмінностями в електростатичних взаємодіях між компонентами емульсії. Найбільш поширеним методом визначення цих взаємодій є дзета-потенціал, який є мірою потенціалу електричної поверхні. На величину дзета-потенціалу впливає рН емульсії, так як рН впливає на заряд частинок. Наприклад, при дисперсії білків, якщо потенціал дзета дорівнює нулю, а значення рН збігається з ізоелектричною точкою, то відбудеться осадження цих макромолекул. Це може відбуватися і з фазами емульсії [1, 2]. Наявність іонів у водній фазі емульсії безпосередньо впливає на величину дзета-потенціалу і стабільність емульсії. На розмір

						ДонНУЕТ.133.ГМБ-23м.2024.ПЗ	Арк.
							23
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата			

крапель, незалежно від типу і концентрації емульгатора, температури, характеристик гомогенізації, впливають значення рН і концентрація електроліту. В емульсіях величина рН впливає на розмір крапель і на міжфазний заряд між фазами емульсії. Електричний заряд в основному впливає при використанні емульгаторів білкової природи.

6. Густина. Сили різної величини можуть діяти на рідини з різною щільністю. Споживання енергії робочим колесом зрідка залежить від величини відсотка змішування в залежності від швидкості та щільності робочого колеса. У процесі змішування відбувається обмін імпульсом рідин через проточний шар. За рахунок зменшення різниці щільності між двома рідинами покращується ситуація змішування, а при постійній швидкості робочого колеса досягається краще перемішування. Коли різниця між двома щільностями менша за 0,1, немає достатнього часу для розділення фаз. Зі збільшенням різниці щільності між фазами швидкість злиття або швидкість поділу фаз поліпшується.

7. Геометричні параметри обладнання. Змішувачі часто містять перегородки, які зазвичай використовуються в режимах перехідного і турбулентного потоку. У багатьох мішалках використовуються стінні перегородки, які складаються з чотирьох плоских вертикальних пластин, спрямованих радіально та розташованих з інтервалом 90° по колу змішувального бака. Більшість міксерів мають не менше трьох перегородок, причому, чотири є найпоширенішими (рис. 2.1). Потік у змішувачі з перегородками поділяється на дві схеми, які бажані для різних цілей, таких як осьовий потік для змішування та суспензії твердих речовин, а також радіальний для дисперсій.

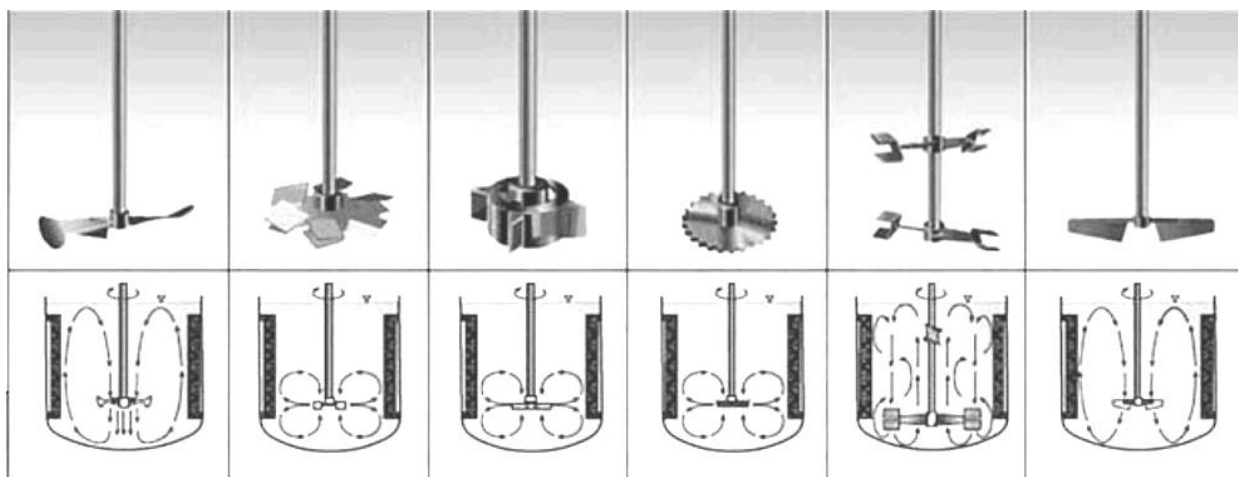


Рисунок 2.1 – Геометричні параметри обладнання для змішування

У рідинах з низькою в'язкістю перегородки використовуються для запобігання закручуванню, завихренню та поганому перемішуванню. Вони являють собою конструкції, які прикріплені до внутрішнього бака прямою стороною, безпосередньо або на виступах для спрямування потоку рідини вертикально в бак. Числа перегородок мають вирішальне значення при змішуванні. Однією з переваг перегородок є забезпечення рівномірного розподілу та зменшення турбулентності. ККД посилюється, а потім починає

знижуватися [11]. Область низького тиску утворюється біля кінчика робочого колеса в змішувачі. Однак ефективність робочого колеса при всмоктуванні рідин залежить від розташування цих зон низького тиску по відношенню до діаметра входу (рис. 2.2).

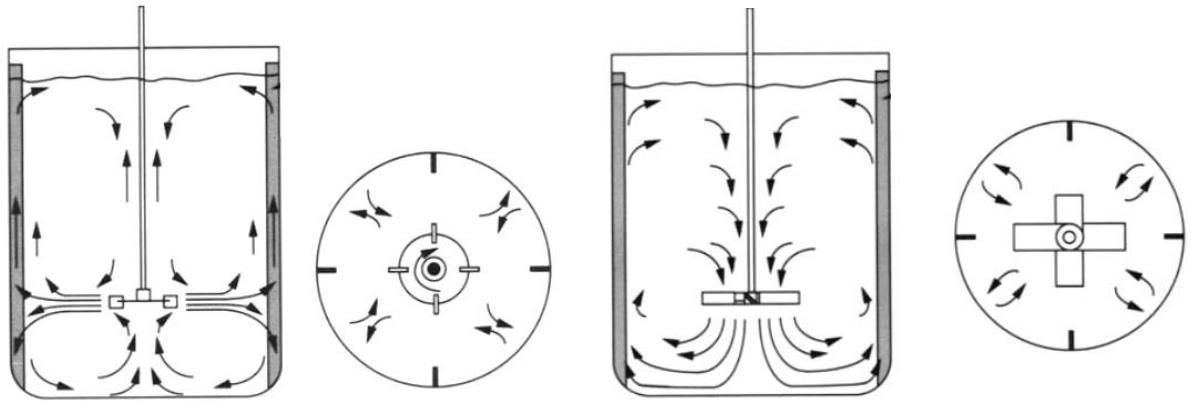


Рисунок 2.2 – Стилі робочих коліс (радіальні та осьові)

Геометричні параметри складаються із геометрії крильчатки та геометрії змішувача. Геометрія крильчатки включає: стилі крильчатки, ширину лопатей, товщину лопатей, кут нахилу лопатей. Геометрія змішувача включає діаметр, розташування робочого колеса, висоту мішалки, зазор днища мішалки, кількість змішувачів та їх відстані в кількох системах робочого колеса, тип перегородки (циліндрична або пласка), глибину занурення перегородок, кількість лопатей. Робочі колеса є основним інструментом у процесі змішування, тому на тип змішувача впливають різні види крильчатки. Радіальний потік або осьовий потік відбувається відповідно до типу робочого колеса. Крім того, робочі колеса також класифікуються як з постійним або змінним кутом [11]. Аналізуючи комбінацію часу змішування та енергоспоживання, дослідження довели, що осьові робочі колеса є більш енергоефективними, ніж радіальні робочі колеса в багатьох системах.

Особливості лопатей являють собою підмножину геометрії крильчаток, яка розглядається як ширина лопатей, товщина і кут нахилу. Результати показують, що робочі колеса з більшою лопаттю створюють повністю розвинений вихровий потік, а менші лопатеві крильчатки створюють сильнішу напругу зсуву через злиття двох симетричних вихорів, тому для змішування необхідна одна або дві крильчатки. Одним з ефективних параметрів є зазор знизу, який відіграє вирішальну роль у загальній схемі потоку змішування, що пов'язано з часом змішування та споживанням електроенергії.

2.2 Удосконалення геометричних параметрів обладнання для отримання емульсій

У процесі отримання емульсії змішуються різні компоненти. Для цього потрібна механічна сила, що вводиться для досягнення цієї мети, яка в значній мірі призводить до підвищення температури емульсії. Так як це іноді небажано, енергія повинна знову розсіюватися в той же час. Велика кількість енергії може бути заощаджена, якщо під час процесу змішування вводити лише мінімально

						ДонНУЕТ.133.ГМБ-23м.2024.ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата			25

необхідну кількість енергії. Для цього необхідне удосконалення конструкційних параметрів обладнання для отримання емульсій. Конструкція змішувальної камери і вибір робочого колеса впливають на стабільність емульсії. Тому першим кроком удосконалення конструкції обладнання для змішування емульсій є конфігурація робочого колеса, швидкість, температура та тиск тощо. Основна потреба в цьому етапі полягає в тому, щоб переконатися, що встановлений агрегат виконує необхідні технологічні завдання. Важливо забезпечити відповідне перемішування, щоб утворилася емульсія із стабілізованими частинками. Вибір осередку і крильчатки повинен відповідати декільком критеріям, а саме має забезпечувати повне змішування емульсії типу «олія у воді», де краплі олії знаходяться в підвищеному стані у водній безперервній фазі або емульсії типу «вода в олії», які характерні для вершкового масла, маргаринів на основі жирів. Їх стабільність більше залежить від властивостей жиру або масла і використовуваної поверхнево-активної речовини, ніж від властивостей водної фази, і через це існує менше параметрів, які можна варіювати для контролю їх стабільності.

Конструкція змішувачів зазвичай складається з головного двигуна, блоку редуктора, вала та робочих коліс. Більшість установок мають навісні вали, тобто без стійкого підшипника для підтримки вільного кінця валу. Основними силами є крутний момент, навантаження на вигин і тяга. Іншим важливим моментом в конструкції є віброхарактеристика змішувача, особливо вала, так як системні гармоніки можуть привести до посилення будь-якої з основних сил. У практичній конструкції міксера головними критичними компонентами зазвичай є згинальні навантаження на вал і лопаті та вібраційні характеристики системи. При різних процесах, що протікають, рух рідини в резервуарі нестійкий. Це означає, що навантаження на окремі лопаті робочого колеса, а також на вал, редуктор і двигун є динамічними [12]. Навіть у легких випадках коливання навантаження, що виникають через потік рідини навколо лопатей робочого колеса є динамічними. Навіть при м'якому змішуванні в полі потоку, що примикає до лопатей робочого колеса, виникають великі коливання швидкості. Коли лопаті робочого колеса проходять через це турбулентне поле потоку, коливання передаються в динамічне навантаження на лопать. Коливання лопатей викликають асиметричне навантаження на вал і, отже, призводять до чистого навантаження на вигин на вал змішувача. Це навантаження на вигин є одним з переважаючих розрахункових навантажень для змішувальної системи.

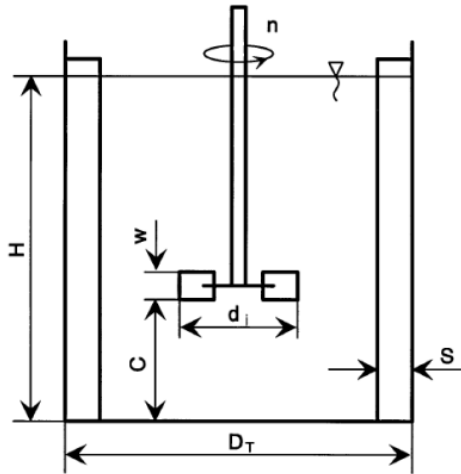
З цих причин була обрана конструкція, яка заснована на стандартному резервуарному реакторі. Реактор зі змішаним баком був розроблений таким чином, щоб забезпечити якісне перемішування вмісту емульсії. Конструкція резервуара підпорядковується деяким основним принципам проектування. Співвідношення конструкції наступні:

- ширина осередку дорівнює висоті рідини;
- центр робочого колеса знаходиться на одну третину діаметра комірки вище основи.

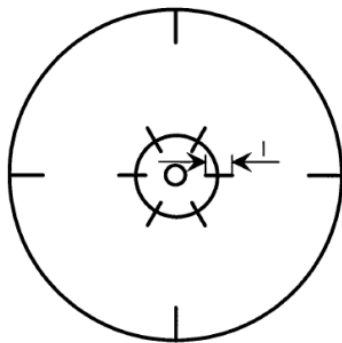
Конструкція була дещо змінена в порівнянні із стандартною конструкцією за рахунок зниження висоти основи робочого колеса з однієї половини до однієї третини. Це необхідно для стиснення схеми потоку на дні

					ДонНУЕТ.133.ГМБ-23м.2024.ПЗ	Арк.
						26
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

резервуара, щоб запобігти осіданню. Робоче колесо становить одну третину діаметра осередку, а перегородки складають одну десяту ширини комірки (перегородки встановлюються на місце, щоб перервати потік рідини та запобігти формуванню надлишкового вихору). Вони також мають таку ж висоту, як і бажаний рівень рідини. Конструкція запропонованого удосконаленого обладнання для змішування емульсій наведено на рисунку 2.3.



D_T – діаметр бака;
 H – глибина рідини;
 d_1 – діаметр робочого колеса;
 C – відстань від дна;
 w – ширина леза крильчатки;
 s – товщина резервуару.



$D_T = 0,444$ м
 $H/D_T = 1$
 $d_1/D_T = 1/3$
 $C/H = 1/3$
 чотирилопотиве робоче колесо
 $S/D_T = 1/10$

Рисунок 2.3 – Конструкція обладнання для змішування емульсій

Щоб визначити правильну конструкцію змішувального робочого колеса для застосування важливо розуміти механічну потужність, яка пов'язана зі змішувальним робочим колесом у перемішувальному баку. Потужність, яка пов'язана з робочим колесом та з чотирма основними факторами:

- геометрія робочого колеса;
- діаметр робочого колеса;
- частота обертання робочого колеса;
- текучі властивості матеріалу, що змішуються.

Співвідношення цих компонентів можна виразити наступним рівнянням:

$$P = N_p * n^3 * d^5 * s_g * K$$

де N_p – число потужності робочого колеса (коефіцієнт геометрії);

n – швидкість обертання робочого колеса;

					ДонНУЕТ.133.ГМБ-23м.2024.ПЗ	Арк.
						27
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

d – діаметр робочого колеса;

ρ – питома вага рідини;

K – Число Рейнольдса (в'язкість) поправочний коефіцієнт.

Споживана потужність змішувального робочого колеса – це функція об'ємної витрати та кінетичної енергії [4-7]:

$$q = K[(\pi D_a n(1 - k) \tan \beta)(\pi D_a W)]$$

$$q \propto n D_a^3$$

$$N_Q = \frac{q}{n D_a^3}$$

$$E_k = \frac{\rho (V_t)^2}{2} = \frac{\rho}{2} (\alpha \pi n D_a)^2$$

Для конкретного часу змішування найкращим міксером є той, який змішує за необхідний час з найменшою потужністю. Значення безрозмірного числа потужності N_p залежить від кількох факторів, включаючи конструкцію робочого колеса, кількість робочих коліс і розташування в резервуарі, перегородку бака та в'язкість рідини. Як правило, число потужності вказується для змішування в повністю турбулентному потоці. Потім можна застосувати поправочний коефіцієнт для врахування всіх цих факторів [13].

$$P = q \cdot E_k$$

$$P = \rho n^3 D_a^5 \left(\frac{\alpha^2 \pi^2}{2} N_Q \right)$$

$$\frac{P}{\rho n^3 D_a^5} = \frac{\alpha^2 \pi^2}{2} N_Q$$

$$N_p = \frac{P}{\rho n^3 D_a^5}$$

Різні лопаті крильчатки мають різні характеристики. Високоєфективні робочі колеса осьового потоку розроблені на основі нероздільного потоку. Міксери зі скатними лопатями та радіальні мають розділений потік на стороні

					ДонНУЕТ.133.ГМБ-23м.2024.ПЗ	Арк.
						28
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

всмоктування. Вибір крильчатки впливає не тільки на середнє навантаження на окремі лопаті, але і на динамічну поведінку системи. Динамічні навантаження на кожен лопать крильчатки міксера будуть різними. Якщо одне лезо бачить інше середовище, ніж інше лезо, то результатом є порушення балансу сили на валу [10-15]. Ця асиметрія може бути пов'язана з полями різних швидкостей, тобто, оскільки кут атаки між лезами змінюється, потужність буде змінюватися разом з цим кутом. Така варіація потоку рідини звичайно бажана, оскільки змішування є бажаним результатом процесу. Додаткові асиметрії викликані неоднорідними полями потоку від градієнтів щільності, вхідних потоків, асиметрією монтажу змішувача в резервуарі та багатьма іншими взаємодіями, які викликають асиметрію. Таким чином, дуже важливо розуміти і враховувати не тільки силу рідини, що виникає в результаті вибору конкретного робочого колеса в зв'язку з різноманітними полями, але і вплив механічної конструкції різних технологічних умов для конкретної установки.

Навантаження на змішувач, з іншого боку, залежать від положення крильчатки до дна резервуара, покриття рідиною поверх робочого колеса, а також близькості робочого колеса до стінок резервуара та інші геометричні параметри конфігурації змішувача. Багато несправностей змішувачів можуть бути пов'язані безпосередньо з механічним впливом різних параметрів процесу, таких як потоки газу або рідини на вході. Повне розуміння всіх параметрів процесу необхідно для забезпечення правильної конструкції міксера і надійної роботи.

Змішувальне робоче колесо є ключовим компонентом конструкції для отримання харчової емульсії. Мішалка резервуара використовує вибрані змішувальні робочі колеса, що обертаються в посудині, щоб створити бажану динаміку рідини для змішування. Цей вибір ґрунтується на цілях процесу та властивостях змішаних рідин. Існує п'ять характеристик, які загальні для всіх змішувальних робочих коліс [10-16]:

- схема потоку: схема потоку – це опис руху рідин у змішаній посудині, що створюється обертанням змішувального робочого колеса;
- потужність робочого колеса: потужність необхідна для роботи певного робочого колеса із заданим діаметром на заданій швидкості;
- швидкість перекачування рідини: об'ємна швидкість нагнітання робочого колеса, що працює на заданій швидкості, виміряна на робочому колесі;
- швидкість рідини – векторна величина швидкості зміни положення рідини;
- зсув рідини: стосується змішування рідини, це та частина прикладеної потужності, яка проявляється у вигляді турбулентності, рециркуляційного опору на лезах тощо.

На процес змішування впливають геометричні параметри міксера, конструкція змішувального органу, його розташування в масі міксера, форма і геометрія міксера, співвідношення розмірів активатора і міксера, а також форма і розміри лопатей. Особливий інтерес представляють турбулентні змішувачі, так як встановлено, що при турбулентному перемішуванні найдрібніші частинки олії першими переміщуються на протяжні межі розділу, де швидко

					ДонНУЕТ.133.ГМБ-23м.2024.ПЗ	Арк.
						29
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

гідратуються і утворюють високоміцні сполуки. При цьому тип змішувального елемента вибирався з урахуванням в'язкості середовища, що змішується, так як саме ця в'язкість визначала сили, що прагнуть погасити потік в змішаній системі. В удосконаленій конструкції обладнання для змішування емульсій пропонується застосовувати шестилопатеве робоче колесо. Проте така система може не збільшувати бічні зусилля змішувача, а збільшувати навантаження на саму систему змішування. Пропонується для зменшення навантаження на систему змішування зробити отвори в асиметричних лопатях (рис. 2.4).

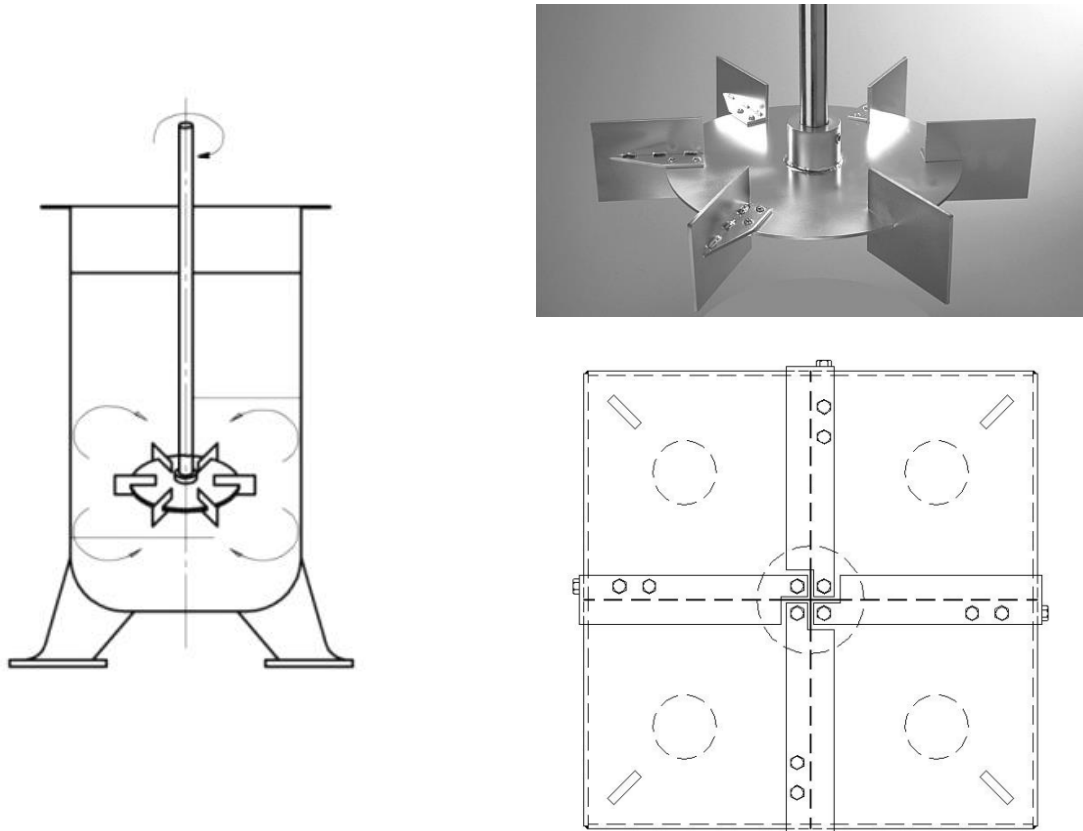


Рисунок 2.4 – Удосконалена конструкція робочого колеса змішувача для емульсій

Навантаження на змішувач залежать від положення крильчатки до дна резервуара, покриття рідиною поверх робочого колеса, а також близькості робочого колеса до стінок резервуара та інші геометричні параметри конфігурації змішувача. Багато несправностей змішувачів можуть бути пов'язані безпосередньо з механічним впливом різних параметрів процесу, таких як потоки рідини на вході. Повне розуміння всіх параметрів процесу необхідно для забезпечення правильної конструкції міксерів і надійної роботи.

Змішувальне робоче колесо є ключовим компонентом конструкції для отримання харчової емульсії. Мішалка резервуара використовує вибрані змішувальні робочі колеса, що обертаються в посудині, щоб створити бажану динаміку рідини для змішування. Цей вибір ґрунтується на цілях процесу та властивостях змішаних рідин. В удосконаленій конструкції обладнання для змішування емульсій пропонується застосовувати шестилопатеве робоче колесо. Проте така система може не збільшувати бічні зусилля змішувача, а

збільшувати навантаження на саму систему змішування. Тому пропонується для зменшення навантаження на систему змішування зробити отвори в асиметричних лопотях.

На основі вище зазначеного можна вважати, що робота міксерів заснована на збереженні законів безперервності, імпульсу та енергії. Міксери в промисловості поділяються на дві основні категорії: статичні змішувачі (нерухомі міксери) і динамічні міксери (механічні міксери). У динамічних міксерах основною причиною змішування є робоче колесо (крильчатка), яке обертається. Тому першим кроком удосконалення конструкції обладнання для змішування емульсій є конфігурація робочого колеса, швидкість, температура та тиск тощо. Основна потреба в цьому етапі полягає в тому, щоб переконатися, що встановлений агрегат виконує необхідні технологічні завдання. Важливо забезпечити відповідне перемішування, щоб утворилася емульсія із стабілізованими частинками. Вибір осередку і крильчатки повинен відповідати декільком критеріям, а саме має забезпечувати повне змішування емульсії типу «олія у воді», де краплі олії знаходяться в підвішеному стані у водній безперервній фазі або емульсії типу «вода в олії», які характерні для вершкового масла, маргаринів на основі жирів. Їх стабільність більше залежить від властивостей жиру або масла і використовуваної поверхнево-активної речовини, ніж від властивостей водної фази, і через це існує менше параметрів, які можна варіювати для контролю їх стабільності.

Запропоновано удосконалену конструкцію обладнання для отримання харчових емульсій. Конструкція була дещо змінена в порівнянні із стандартною конструкцією за рахунок зниження висоти основи робочого колеса з однієї половини до однієї третини. Це необхідно для стиснення схеми потоку на дні резервуара, щоб запобігти осіданню. Робоче колесо становить одну третину діаметра осередку, а перегородки складають одну десяту ширини комірки (перегородки встановлюються на місце, щоб перервати потік рідини, щоб запобігти формуванню надлишкового вихору). Вони також мають таку ж висоту, як і бажаний рівень рідини.

Зазначено, що на процес змішування впливають геометричні параметри міксера, конструкція змішувального органу, його розташування в масі міксера, форма і геометрія міксера, співвідношення розмірів активатора і міксера, а також форма і розміри лопатей. Змішувальне робоче колесо є ключовим компонентом конструкції для отримання харчової емульсії. Мішалка резервуара використовує вибрані змішувальні робочі колеса, що обертаються в посудині, щоб створити бажану динаміку рідини для змішування. Цей вибір ґрунтується на цілях процесу та властивостях змішаних рідин та змішувальних робочих коліс: схема потоку, потужність робочого колеса, перекачування рідини, швидкість рідини, зсув рідини. В удосконаленій конструкції обладнання для змішування емульсій пропонується застосовувати шестилопатеve робоче колесо. Проте така система може не збільшувати бічні зусилля змішувача, а збільшувати навантаження на саму систему змішування. Пропонується для зменшення навантаження на систему змішування зробити отвори в асиметричних лопотях.

					ДонНУЕТ.133.ГМБ-23м.2024.ПЗ	Арк.
						31
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

РОЗДІЛ 3 АНАЛІЗ РЕЗУЛЬТАТІВ ДОСЛІДЖЕНЬ

3.1 Майонез – емульсія «олія у воді»

Більшість відомих харчових емульсій, таких як майонез, виготовляються з безперервної водної фази, дисперсної фази з високим вмістом олії та поверхнево-активних речовин, які стабілізують краплі олії. Розподіл розміру крапель є найважливішою властивістю емульсії, оскільки від неї залежить структура, стабільність, смак і колір кінцевого продукту. Розподіл в свою чергу залежить від складу емульсії, типу процесу і умов експлуатації, в яких функціонує виробничий процес. Майонез – це густий вершковий соус, емульсія «олія у воді», що виробляється з рослинної олії, кислотних компонентів (малеїнової кислоти, оцтової кислоти та лимонної кислоти), емульгатора (природного яєчного лецитину), ароматизаторів (підсолоджувача, солі, часнику або гірчиці), інгібітора небажаних кристалів, підсилювачів текстури та стабілізаторів. Найбільш значущою характеристикою майонезу є високий вміст олії 65-75%.

Майонез є емульсією або комбінацією води та жирів, які зазвичай не можна змішувати разом. Для класичного прикладу уявіть, що ви додаєте олію та воду в одну миску. Незалежно від того, наскільки сильно або довго ви перемішуєте, дві рідини з часом розділяться: масло плаватиме зверху, а вода щільніша – внизу. Майонез складається з кількох основних інгредієнтів, включаючи як олію, так і оцет (який складається з води та оцтової кислоти). Вода і оцтова кислота є полярними молекулами, що забезпечують міцні і стабільні міжмолекулярні зв'язки [14, 17]. Тим часом молекули олії утворюють зв'язки з іншими молекулами олії. Обидва типи вищезазначених зв'язків міцніші, ніж притягання, що утворюється між олією та водою, тому за нормальних обставин ці дві рідини не з'єднуються. Проте є третій інгредієнт майонезу – яйця. Яєчні жовтки містять молекулу, відому як лецитин, який діє як емульгатор.

У найпростішому вигляді емульсія – це речовина, яка отримана шляхом з'єднання двох рідин, які не змішуються, тобто вони не змішуються і не поєднуються в типових умовах. Зазвичай, це комбінація полярної і неполярної рідини, найчастіше води і масла відповідно. В емульсії дрібні краплі однієї рідини (дисперсна фаза) розподіляються по іншій рідині (безперервна фаза). Хоча ці краплі нестабільні в нормальних умовах, присутність поверхнево-активної речовини, яку також називають «емульгатором», може стабілізувати краплі, знижуючи міжфазну напругу між двома рідинами.

Для того, щоб описати характеристики міцності та стабільності емульсії необхідно розглянути три поняття, а саме: швидкість утримання води емульсії,

					ДонНУЕТ.133.ГМБ-23м.2024.ПЗ			
<i>Зм.</i>	<i>Арк.</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>				
<i>Розроб.</i>	<i>Горб</i>				Дослідження стабільності емульсій та удосконалення обладнання для змішування	<i>Літ.</i>	<i>Арк.</i>	<i>Аркушів</i>
<i>Перевір.</i>	<i>Омельченко</i>						32	9
<i>Н. Контр.</i>	<i>Омельченко</i>					ДонНУЕТ Кафедра ЗІДО		
<i>Затверд.</i>	<i>Хорольський</i>							

індекс стабільності емульгування на довжині кроку та кумулятивний індекс стабільності емульгування. Коефіцієнт утримання води f_w – це відношення вмісту води в емульсії до споживання води для приготування емульсії. Ця величина обчислюється на основі швидкості відділення води f_v емульсії. Індекс стабільності емульгування – час процесу відділення води, який рівномірно розділений на кілька ділянок; одиничний проміжок часу Δt – розмір кроку, а площа під кривою швидкості утримання води протягом одного проміжку часу використовується як індекс стабільності емульгування z , який відображає стабільність емульгування емульсії на довжину кроку протягом цього періоду часу (комплексні показники міцності емульгування та стабільності емульсії в цьому часовому діапазоні). Ідеальне значення індексу стійкості емульгування крокової довжини становить $100\% \times \Delta t$ [15, 16, 18]. Кумулятивний індекс стабільності емульгування – площа під кривою утримання води за певний період часу, який відображає кумулятивну стабільність емульгування за цей період часу і це значення дорівнює сумі всіх індексів стабільності емульгування з кроковою довжиною за цей період часу. Нахил кривої індексу стійкості ідеальної кумулятивної емульгування дорівнює одиниці (рис. 3.1).

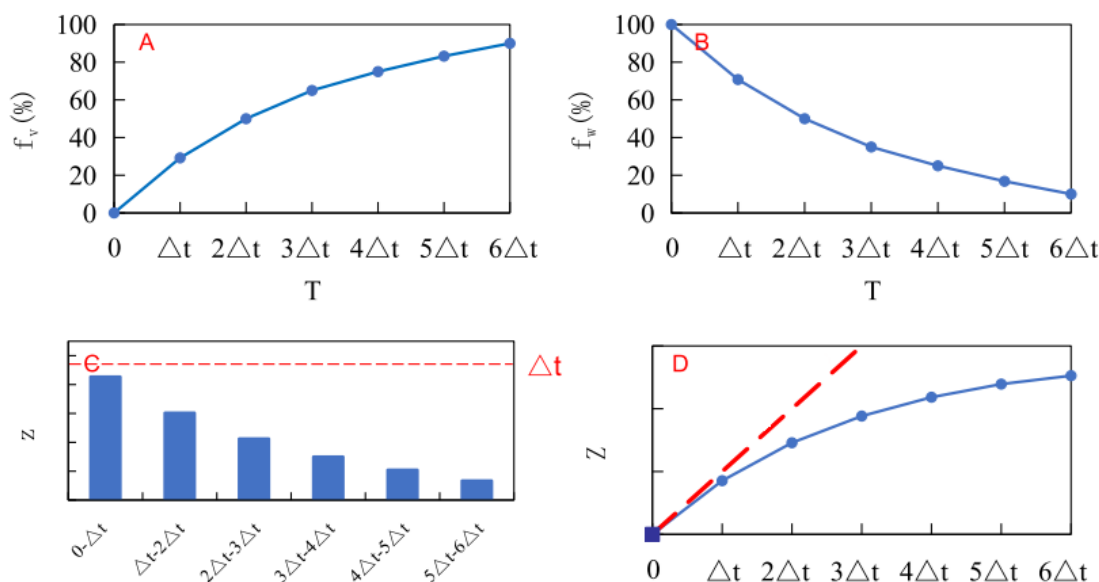


Рисунок 3.1 – Принципова схема поняття індексу стійкості емульгатора

На рисунку 3.1 представлено: А – принципова схема кривої швидкості відділення води; В – принципова схема кривої швидкості утримання води; В – принципова схема індексу стійкості емульгатора з кроковою довжиною; D – принципова схема кумулятивного індексу стабільності емульгування.

Швидкість утримання води може вказувати на міцність емульгування емульсії в будь-який час і чим вищий рівень утримання води в будь-який час, тим сильніша міцність емульгування в цей час. Під час процесу відділення води в емульсії зміна швидкості утримання води протягом певного періоду часу являє собою зміну міцності емульгування емульсії протягом цього періоду та зміну міцності емульгування в цей період відображає стабільність емульсії протягом цього періоду часу і чим більший діапазон варіації міцності

емульгування, тим гірше стабільність емульсії в цей період. Індекс стабільності емульсії ступеневої довжини відображає комплексні показники міцності емульгування та стабільності емульсії в тривалому часовому діапазоні будь-якого етапу. Чим менше розмір кроку, тим більш помітна емульгуюча міцність емульсії в розмірі кроку. Коли розмір кроку близький до 0, це означає, що міцність емульгування емульсії в цей момент і є коефіцієнтом утримання води. Кумулятивний індекс стабільності емульгування відображає комплексні показники міцності емульгування та стабільності емульсії протягом будь-якого періоду часу під час процесу водоподілу емульсії. Коли цей період часу є періодом часу всього процесу відділення емульсійної води, кумулятивний індекс стабільності емульгування характеризує комплексну продуктивність міцності емульгування та стабільності емульсії протягом усього періоду часу.

Приготовлену емульсію необхідно утримувати при постійній температурі для відстеження і реєстрації об'єму водного шару в різний час, а також для розрахунку швидкості відділення води f_v , коефіцієнту утримання води f_w , індексу стабільності емульгування кроку z і кумулятивного індексу стабільності емульгування Z . Площу під кривою утримання води можна розрахувати за трапецієподібним правилом, як індекс стабільності емульгування з кроковою довжиною, а кумулятивне підсумовування кількох індексів стійкості емульгування ступеневої довжини використовувалося як кумулятивний індекс стабільності емульгування [14, 16, 18]:

$$f_v = V_1/V_2 \times 100\%$$

$$f_w = 1 - f_v$$

$$z = (f_i + f_{i+\Delta t}) \times \Delta t/2/H$$

$$Z = \sum_{x=a}^b z_x$$

де f_v – швидкість відділення води;

V_1 – обсяг відокремленого водного розчину, мл;

V_2 – обсяг розчину масляного витісняювача, що використовується при приготуванні емульсії, мл;

f_w – коефіцієнт утримання води;

z – індекс стійкості емульгування ступеневої довжини в будь-який час в процесі відділення води емульсії;

Δt – крок часу, h;

H – одиничний час, $H = 1$ h;

Z – сукупний індекс стійкості емульгування;

z_x – індекс стабільності емульсії будь-якої довжини кроку в процесі відділення емульсії водою, $0 \leq a < b$.

					ДонНУЕТ.133.ГМБ-23м.2024.ПЗ	Арк.
						34
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Оскільки високе споживання жирів пов'язане з несприятливими проблемами зі здоров'ям, такими як ішемічна хвороба серця, ожиріння, діабет, споживачі вимагають продуктів харчування зі зниженим вмістом жиру для більш здорового вибору їжі. Тим не менш, вміст жиру в системі харчування є вирішальним елементом для багатьох характеристик харчових продуктів, таких як смак, колір, термін придатності, структура їжі, зовнішній вигляд, запах, текстура та склад. Зменшення жиру або видалення жиру з харчової системи може призвести до негативного впливу на якісні параметри.

Зростаючий інтерес споживачів до продуктів зі зниженим вмістом жиру стимулює виробництво продуктів з меншим вмістом жиру. Виробники продуктів харчування та вчені намагаються запропонувати нові способи виробництва продуктів з низьким вмістом жиру та низькокалорійних продуктів. Оскільки подвійна емульсія дозволяє капсулювати частинки води всередині масляної фази то вона має потенціал для зменшення складу олії в харчових системах з такими ж якісними та сенсорними характеристиками, як і цілномасляна їжа. Тим не менш, включення аналогів жиру може призвести до втрати текстури та сенсорних атрибутів. Таким чином, подвійна емульсія є дуже привабливою альтернативою для зменшення жиру.

Було розроблено багато стратегій для зниження вмісту жиру в харчових системах, таких як імітація жиру або заміна жиру іншим агентом. Оскільки жир є важливим компонентом харчових систем, зменшення жиру або заміна його низькокалорійним компонентом призводить до небажаних змін якісних параметрів, таких як сенсорні, текстурні та реологічні характеристики. Подвійні емульсії рекомендуються для зниження вмісту жиру, інкапсуляції розчиненої речовини з виразною розчинністю та контрольованого вивільнення розчинених речовин. На відміну від відносно поширеного застосування подвійних емульсій у фармацевтичній промисловості, вони нечасто використовуються в харчовій промисловості. Основна причина недостатнього використання подвійних емульсій полягає в тому, що емульгатори, які використовуються в харчовій промисловості, недостатньо ефективні для стабілізації системи подвійної емульсії, і існують заздалегідь визначені межі використання емульгаторів у харчовій промисловості.

3.2 Дослідження стабільності харчової емульсії майонезу

За своєю суттю майонез являє собою емульсію «олії у воді» з нейтральним смаком олії і кислоти, зазвичай лимонного соку або білого винного оцту. Додається сире або пастеризоване яйце, яке містить первинний емульгатор. Емульгуюча сила яєчних жовтків походить від лецитину. Молекула лецитину містить полярну фосфатну групу (червоний), а також неполярну жирну кислоту (зелений). При виготовленні емульсії «олія у воді» молекули лецитину орієнтуються навколо крапель олії неполярними головками всередину, а полярними хвостами – назовні в безперервну фазу. Це зменшує міжфазну напругу між двома рідинами та стабілізує суміш. Ці властивості дозволяють лецитину бути неймовірно потужним емульгатором.

					ДонНУЕТ.133.ГМБ-23м.2024.ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		35

Міжфазна напруга в системі витіснення олії є важливим фактором, що впливає на ступінь емульгування. Середній розмір частинок крапель емульсії пов'язаний з міжфазною напругою між системою та олією. Після додавання поверхнево-активної речовини до системи молекули поверхнево-активної речовини спонтанно адсорбуються на межі розділу масло-система, що зменшує міжфазну напругу між маслом і системою, тим самим зменшуючи міжфазну енергію, і система поступово прагне до термодинамічно стабільного стану [18]. У той же час молекули поверхнево-активної речовини утворюють на поверхні крапель олії міжфазну плівку з певною міцністю, роблячи структуру крапель олії більш стабільною, що уповільнює взаємне притягання і злиття крапель олії. Тому олія тимчасово існує у вигляді дрібних крапель олії. Зі збільшенням вмісту поверхнево-активної речовини міжфазний натяг ще більше знижується, термодинамічний стан крапель олії додатково стабілізується, а дисперсність крапель олії посилюється.

У роботі досліджено стабільність харчової емульсії майонезу. Для цього спочатку було приготовано майонез із використанням природнього стабілізатора – яйця. Для цього поєднано 1 сирий яєчний жовток (~20 г) з 15 мг лимонного соку та 1 чайною ложкою (7 г) діжонської гірчиці. Гірчиця містить вторинні емульгатори, а також ароматизатори. Окремо відміряно 1 склянку (193 г) олії. Збивши інгредієнти, які не пов'язані з олією, повільно додавалася олія крапля за краплею, збиваючи її між кожним додаванням. Як тільки емульсія почала утворюватися була трохи збільшена швидкість додавання олії, в результаті чого весь процес комбінації зайняв приблизно три хвилини (рис. 3.2).



Рисунок 3.2 – Дослідження стабільності емульсії (I дослід)

Перевага приготування майонезу за допомогою цієї технології дозволяє спостерігати за реологічними властивостями емульсії в міру її утворення. Після того, як було додано 17 г олії, емульсія поведився як ньютонівська рідина з низькою в'язкістю, швидко текла, щоб повернутися до свого звичайного стану коли відбувалося деформування рідини вінчиком. При додаванні 61 г олії суміш все ще здавалася ньютонівською, хоча в'язкість значно зросла. Однак вище 94 г масла зміна властивостей суміші стала дуже помітною. У цей момент об'ємна частка масла становила приблизно 80%, а краплі олії були досить концентровані, щоб застрягти одна об одну і запобігти потоку при низьких

						ДонНУЕТ.133.ГМБ-23м.2024.ПЗ	Арк.
							36
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата			

навантаженнях. Хоча суміш все ще легко текла під час збивання, але коли трохи нахилили миску то майонез не тік під дією сили тяжіння, натомість тримав свою форму. Однак, при більш крутих кутах миски майонез все одно тік. Це вказує на те, що майонез почав діяти як рідина, при цьому, критична напруга прикладається десь між кутом чаші 15 і 30 градусів. У міру того, як було додано більше олії 124 г і 193 г вихід рідини збільшувався. В кінці можна спостерігати чіткі лінії від збивання, оскільки рідина зберігає свою форму після деформації під впливом напруги від вінчика.

Додаючи олію дуже повільно та швидко збиваючи, можна спостерігати, що олія розбивається на дрібні краплі, які потім розсіюються протягом безперервної фази на водній основі. Це створює мікроструктуру, яка відповідає за більшість реологічних властивостей емульсії. Майонез найкраще описується як такий, що знаходиться в сильно затиснутому, скляному стані, з маленькими краплями олії, стабілізованими поверхнево-активною речовиною, що відштовхують взаємодію по всій рідині.

У другому дослідженні було приготовано майонез із використанням блендера. У цьому методі для емульгування майонезу замість збивання вручну використовувалася блендер. Використовувалися продукти, що і в першому досліді. Для цього було змішано яєчний жовток, діжонську гірчицю і лимонний сік, а потім було залито інгредієнти зверху олію. На першому етапі виробництва яйце, яке може використовуватися як у рідкому, так і у вигляді порошку, розсіюється у воді. Він виступає в ролі емульгуючого агента. Потім додають решту інгредієнтів безперервної фази та перемішують до диспергування та гідратації. Олія додається так швидко, як його займе безперервна фаза. Це призводить до різкого підвищення в'язкості продукту в міру утворення емульсії. Дочекавшись, поки масло осяде, приступимо до збивання. Під час роботи блендера він утворював вихор олії, повільно тягнучи масло вниз і утворюючи емульсію на дні ємності. У цьому випадку знадобилося близько 15 секунд, щоб вся олія в склянці емульгувалася. Моделювання процесу отримання харчових емульсій змішуванням у блендері (рис. 3.3, рис. 3.4). Частинки густини описують шлях рідини коли вона рухається по резервуару.

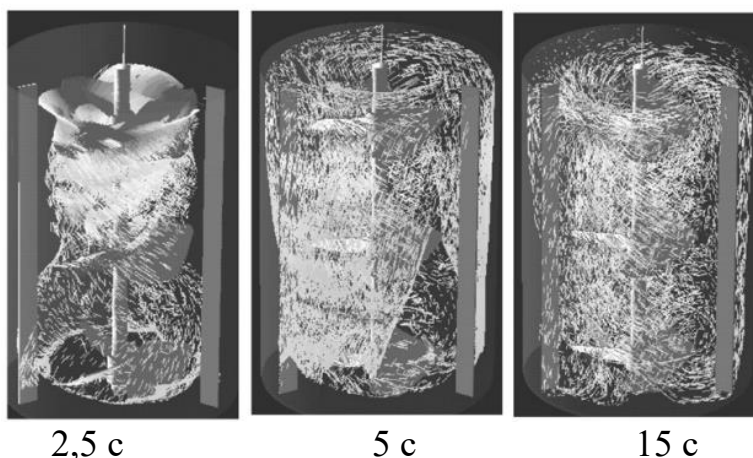


Рисунок 3.3 – Моделювання процесу отримання харчових емульсій (II дослід)

Інгредієнти безперервної фази складають лише невелику частку від загальної рецептури, але вони виконують життєво важливі функції. Змішувальне обладнання повинно бути здатним, щоб належним чином диспергувати та зволожувати їх у відносно невеликому об'ємі рідини. Якщо яйце та інші емульгуючі агенти неправильно диспергуються та гідратуються, емульсія може розірватися на етапі додавання олії. Гідратація стабілізаторів є однією з найскладніших операцій змішування. Через високу частку олії в рецептурі майонезу емульсія може розірватися, якщо масло неправильно додати в безперервну фазу. Це дуже складно контролювати, коли додавання масла відбувається вручну. Краплі масляної фази повинні бути зменшені до мінімально можливого розміру, щоб максимізувати площу поверхні масла в безперервній фазі для забезпечення стабільної емульсії. Проте цього не так легко досягти без спеціалізованого обладнання, щоб максимально продовжити термін зберігання продукту.

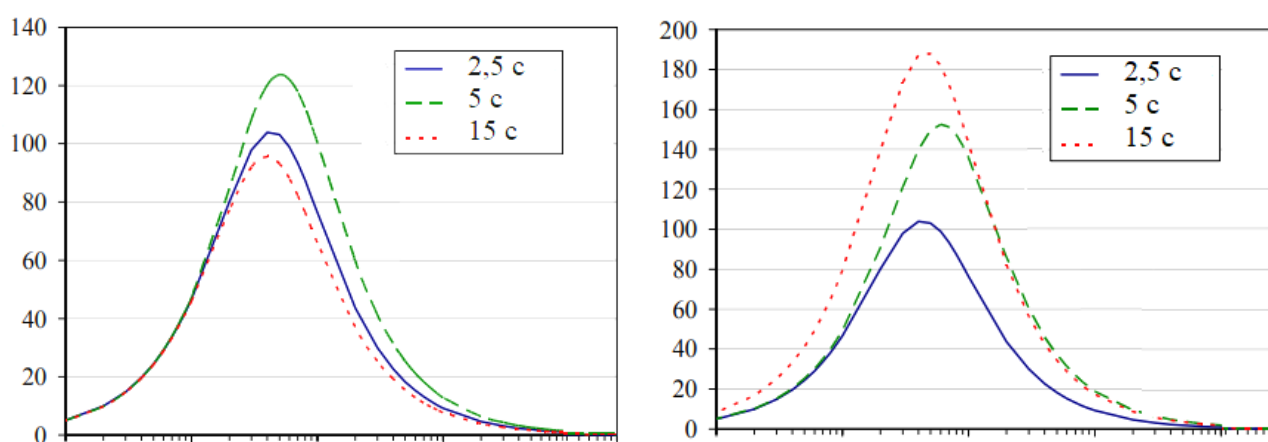


Рисунок 3.4 – Моделювання вихрового режиму при отриманні емульсії

Було порівняно зразки отриманої емульсії майонезу. Отримані зразки мають відповідний зовнішній вигляд. Колір однорідний, не каламутний, смак і запах без сторонніх ароматів, текстура та консистенція досить однорідна. За дегустацією обидва зразки були схожі між собою, але збитий майонез на смак був помітно олійнішим і злегка зернистим (рис. 3.5).



Зразок 1

Зразок 2

Рисунок 3.5 – Порівняння стабільності та текстури двох майонезів

Можна було спостерігати візуальні відмінності між змішаним і збитим майонезом. Змішаний майонез був білішим і виглядав більш цілісним. Крім того, коли було перемішано обидва майонези з однаковою швидкістю, помічено, що змішаний майонез мав вищу в'язкість під час руху. Дегустуючи зразки обох майонезів, можна відмітити, хоча смак обох був схожим, змішаний майонез мав значно гладкішу текстуру та більш насичений жовтуватий колір.

Виробництво емульсій засноване на змішуванні інгредієнтів з додаванням механічної енергії до емульсії достатньої кількості для досягнення потрібної стабільності. Під час процесу емульгування міжфазні властивості між дисперсною та безперервною фазами відіграють важливу роль у формуванні та стабілізації крапель олії. Багато харчових емульсій стабілізуються поверхнево-активними речовинами, які адсорбуються до краплеподібних поверхонь і утворюють захисні покриття. Деякі з цих функціональних молекул є невід'ємними компонентами більш складних інгредієнтів, що використовуються в харчових продуктах (наприклад, яєчний жовток). Хоча яєчний жовток визнаний одним з найбільш широко використовуваних емульгаторів як для промислового, так і для домашнього приготування харчових емульсій, необхідно вирішити багато питань, особливо механізм адсорбції білків яєчного жовтка на межі олія-вода.

На основі вище зазначеного можна вважати, що стабільність емульсії є найважливішим фактором у забезпеченні ефективності та якості всіх видів харчових продуктів. Більшість відомих харчових емульсій, таких як майонез, виготовляються з безперервної водної фази, дисперсної фази з високим вмістом олії та поверхнево-активних речовин, які стабілізують краплі олії. Розподіл розміру крапель є найважливішою властивістю емульсії, оскільки від неї залежить структура, стабільність, смак і колір кінцевого продукту. Розподіл в свою чергу залежить від складу емульсії, типу процесу і умов експлуатації в яких функціонує виробничий процес. Майонез – це густий вершковий соус, емульсія «олія у воді», що виробляється з рослинної олії, кислотних компонентів (малеїнової кислоти, оцтової кислоти та лимонної кислоти), емульгатора (природного яєчного лецитину), ароматизаторів (підсолоджувача, солі, часнику або гірчиці), інгібітора небажаних кристалів, підсилювачів текстури та стабілізаторів. Найбільш значущою характеристикою майонезу є високий вміст олії 65-75%.

Зазначено, що у найпростішому вигляді емульсія – це речовина, яка отримана шляхом з'єднання двох рідин, які не змішуються, тобто вони не змішуються і не поєднуються в типових умовах. Зазвичай це комбінація полярної і неполярної рідини, найчастіше води і масла відповідно. В емульсії дрібні краплі однієї рідини (дисперсна фаза) розподіляються по іншій рідині (безперервна фаза). Хоча ці краплі нестабільні в нормальних умовах, присутність поверхнево-активної речовини, яку також називають «емульгатором», може стабілізувати краплі, знижуючи міжфазну напругу між двома рідинами.

У роботі досліджено стабільність харчової емульсії майонезу. Для цього спочатку було приготовано майонез із використанням природного стабілізатора – яйця. Для цього поєднано 1 сирий яєчний жовток (~20 г) з 15 мг

									Арк.
									39
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата	ДонНУЕТ.133.ГМБ-23м.2024.ПЗ				

лимонного соку та 1 чайною ложкою (7 г) діжонської гірчиці. Гірчиця містить вторинні емульгатори, а також ароматизатори. Окремо відміряно 1 склянку (193 г) олії. Збивши інгредієнти, які не пов'язані з олією, повільно додавалася олія крапля за краплею, збиваючи між кожним додаванням. Як тільки емульсія почала утворюватися було трохи збільшено швидкість додавання олії, в результаті чого весь процес комбінації зайняв приблизно три хвилини.

Перевага приготування майонезу за допомогою цієї технології дозволяє спостерігати за реологічними властивостями емульсії в міру її утворення. Після того, як було додано 17 г олії, емульсія поводитися як ньютонівська рідина з низькою в'язкістю, швидко текла, щоб повернутися до свого звичайного стану, коли відбувалося деформування рідини віничком. При додаванні 61 г олії суміш все ще здавалася ньютонівською, хоча в'язкість значно зросла. Однак вище 94 г масла зміна властивостей суміші стала дуже помітною. У цей момент об'ємна частка масла становила приблизно 80%, а краплі масла були досить концентровані, щоб застрягти одна об одну і запобігти потоку при низьких навантаженнях. Хоча суміш все ще легко текла під час збивання, але коли трохи нахилили миску то майонез не тік під дією сили тяжіння, натомість тримав свою форму. Це вказує на те, що майонез почав діяти як рідина, при цьому, критична напруга прикладається десь між кутом чаші 15 і 30 градусів. У міру того, як було додано більше олії 124 г і 193 г вихід рідини збільшувався. В кінці можна спостерігати чіткі лінії від збивання, оскільки рідина зберігає свою форму після деформації під впливом напруги від вінчика. Додаючи олію дуже повільно та швидко збиваючи, можна спостерігати, що олія розбивається на дрібні краплі, які потім розсіюються протягом безперервної фази на водній основі. Це створює мікроструктуру, яка відповідає за більшість реологічних властивостей емульсії.

У другому дослідженні було приготовано майонез із використанням блендера. У цьому методі для емульгування майонезу замість збивання вручну використовувалася блендер. Використовувалися продукти, що і в першому досліді. Під час роботи блендера він утворював вихор олії, повільно тягнучи масло вниз і утворюючи емульсію на дні склянки. У цьому випадку знадобилося близько 15 секунд, щоб вся олія в склянці емульгувалася. Здійснено моделювання процесу отримання харчових емульсій змішуванням у блендері, а саме як частинки густини описують шлях рідини, коли вона рухається по резервуару у процесі 2,5 с, 5 с, 15 с. Також представлено моделювання вихрового режиму при отриманні емульсії.

Було порівняно зразки отриманої емульсії майонезу. Отримані зразки мають однорідний колір, не каламутний, смак і запах без сторонніх ароматів, текстура та консистенція досить однорідна. За дегустацією обидва зразки були схожі між собою, але збитий майонез на смак був помітно олійнішим і злегка зернистим. Можна було спостерігати візуальні відмінності між змішаним і збитим майонезом. Змішаний майонез був білішим і виглядав більш цілісним. Крім того, коли було перемішано обидва майонези з однаковою швидкістю, помічено, що змішаний майонез мав вищу в'язкість під час руху. Дегустуючи зразки обох майонезів, можна відмітити, хоча смак обох був схожим, змішаний майонез мав значно гладкішу текстуру та більш насичений жовтуватий колір.

									Арк.
									40
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата	ДонНУЕТ.133.ГМБ-23м.2024.ПЗ				

ВИСНОВКИ

Магістерська робота присвячена дослідженню стабільності емульсій та удосконалення обладнання для змішування. У роботі зазначено, що у найпростішому вигляді емульсія – це речовина, яка отримана шляхом з'єднання двох рідин, які не змішуються, тобто вони не змішуються і не поєднуються в типових умовах. Зазвичай це комбінація полярної і неполярної рідини, найчастіше води і масла відповідно. В емульсії дрібні краплі однієї рідини (дисперсна фаза) розподіляються по іншій рідині (безперервна фаза). Хоча ці краплі нестабільні в нормальних умовах, присутність поверхнево-активної речовини, яку також називають «емульгатором», може стабілізувати краплі, знижуючи міжфазну напругу між двома рідинами.

У першому розділі здійснено аналіз процесу отримання та стабілізації харчових емульсій. Зазначено, що існує чотири типи емульсій, які є важливими або потенційно важливими в харчових продуктах.

1. Емульсія типу «олія у воді», де краплі олії знаходяться в підвішеному стані у водній безперервній фазі. Це найбільш універсальні з усіх видів емульсій. Вони існують у багатьох формах (майонези, вершки, суміші для морозива) і їх властивості можна контролювати, змінюючи як використовувані поверхнево-активні речовини, так і їх компоненти, які присутні у водній фазі.

2. Емульсії типу «вода в олії» характерні для вершкового масла, маргаринів на основі жирів загалом. Їх стабільність більше залежить від властивостей жиру або масла і використовуваної поверхнево-активної речовини, ніж від властивостей водної фази, і через це існує менше параметрів, які можна варіювати для контролю їх стабільності.

3. Емульсії «вода/олія/вода», яка, по суті, є олія/водна емульсія, краплі якої самі по собі містять краплі води. Це найскладніші емульсії для виробництва та контролю, оскільки краплі води, що містяться в краплях олії, повинні бути стабільними, як і краплі олії, що містяться в безперервній водній фазі.

4. Емульсії «олія/вода/олія», яка є подвійною емульсійною системою, в якій дисперсною фазою є емульсія «олія у воді», а безперервною фазою – масло або пластичний жир.

Другий розділ присвячено удосконаленню обладнання для змішування емульсій. Зазначено, що робота апаратів для змішування харчових емульсій заснована на збереженні законів безперервності, імпульсу та енергії. Міксери в промисловості поділяються на дві основні категорії: статичні змішувачі (нерухомі міксери) і динамічні міксери (механічні міксери). У динамічних міксерах основною причиною змішування є робоче колесо (крильчатка), які обертається. Тому важливо забезпечити відповідне перемішування, щоб утворилася емульсія із стабілізованими частинками. Вибір осередку і

					ДонНУЕТ.133.ГМБ-23м.2024.ПЗ		
<i>Зм.</i>	<i>Арк.</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>			
<i>Розроб.</i>	<i>Горб</i>				<i>Літ.</i>	<i>Арк.</i>	<i>Аркушів</i>
<i>Перевір.</i>	<i>Омельченко</i>						
<i>Н. Контр.</i>	<i>Омельченко</i>				ДонНУЕТ Кафедра ЗІДО		
<i>Затверд.</i>	<i>Хорольський</i>						

крильчатки повинен відповідати декільком критеріям, а саме має забезпечувати повне змішування емульсії типу «олія у воді», де краплі олії знаходяться в підвішеному стані у водній безперервній фазі.

Запропоновано удосконалену конструкцію обладнання для отримання харчових емульсій. Конструкція була дещо змінена в порівнянні із стандартною конструкцією за рахунок зниження висоти основи робочого колеса з однієї половини до однієї третини. Це необхідно для стиснення схеми потоку на дні резервуара, щоб запобігти осіданню. Робоче колесо становить одну третину діаметра осередку, а перегородки складають одну десяту ширини комірки (перегородки встановлюються на місце, щоб перервати потік рідини та запобігти формуванню надлишкового вихору). Вони також мають таку ж висоту, як і бажаний рівень рідини.

Зазначено, що на процес змішування впливають геометричні параметри міксера, конструкція змішувального органу, його розташування в масі міксера, форма і геометрія міксера, співвідношення розмірів активатора і міксера, а також форма і розміри лопатей. Змішувальне робоче колесо є ключовим компонентом конструкції для отримання харчової емульсії. Цей вибір ґрунтується на цілях процесу та властивостях змішаних рідин та змішувальних робочих коліс: схема потоку, потужність робочого колеса, перекачування рідини, швидкість рідини, зсув рідини. В удосконаленій конструкції обладнання для змішування емульсій пропонується застосовувати шестилопатеve робоче колесо. Проте така система може не збільшувати бічні зусилля змішувача, а збільшувати навантаження на саму систему змішування. Пропонується для зменшення навантаження на систему змішування зробити отвори в асиметричних лопотях.

У третьому розділі досліджено стабільність харчової емульсії майонезу. Для цього спочатку було приготовано майонез із використанням природнього стабілізатора – яйця. Перевага приготування майонезу за допомогою цієї технології дозволяє спостерігати за реологічними властивостями емульсії в міру її утворення. У другому дослідженні було приготовано майонез із використанням блендеру. Використовувалися продукти, що і в першому досліді. Під час роботи змішувач утворював вихор олії, повільно тягнучи масло вниз і утворюючи емульсію на дні склянки. У цьому випадку знадобилося близько 15 секунд, щоб вся олія в склянці емульгувалася.

Здійснено моделювання процесу отримання харчових емульсій змішуванням у блендері у процесі 2,5 с, 5 с, 15 секунд. Також представлено моделювання вихрового режиму при отриманні емульсії.

Порівняно зразки отриманої емульсії майонезу. Отримані зразки мають однорідний колір, не каламутний, смак і запах без сторонніх ароматів, текстура та консистенція досить однорідна. Можна було спостерігати візуальні відмінності між змішаним і збитим майонезом. Змішаний майонез був білішим і виглядав більш цілісним. Крім того, коли було перемішано обидва майонези з однаковою швидкістю, помічено, що змішаний майонез мав вищу в'язкість під час руху. Дегустуючи зразки обох майонезів, можна відмітити, хоча смак обох був схожим, змішаний майонез має значно гладкішу текстуру та більш насичений жовтуватий колір.

					ДонНУЕТ.133.ГМБ-23м.2024.ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		42

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Double emulsion systems: application in the food industry. URL: <https://www.researchgate.net/publication/320884470>.
2. Possibilities of use of double emulsions in the food. URL: <https://www.arfjournals.com/image/catalog/Journal>.
3. Stability of double emulsions for food applications. URL: <https://www.researchgate.net/publication/236152858>.
4. Critical review of techniques for food emulsion characterization. URL: <https://www.mdpi.com/2076-3417/14/3/1069>.
5. Production of cosmetic creams and lotion. URL: <https://www.silverson.com/us/resource-library/application-reports/production-of-cosmetic-creams-and-lotions>.
6. Гвоздєв О.В. Механізація переробної галузі агропромислового комплексу: О.В. Гвоздєв, Ф.Ю. Ялпачик, Ю.П. К.: Вища освіта. 2006. 479 с.
7. Удосконалення обладнання для виробництва майонезу. Режим доступу: <http://repository.vsau.org/getfile.php/3520.pdf>.
8. Розробка режимів одержання технологічно стійких емульсій при виробництві спредів. Режим доступу: <https://rep.btsau.edu.ua/bitstream/3579/1/>.
9. Обґрунтування умов емульгування рідких харчових систем у вихровому шарі феромагнітних частинок. Режим доступу: <https://media.neliti.com/media/publications/311581-scientific-grounds-of-conditions-for-liq-761227b5.pdf>.
10. Удосконалення процесу емульгування жирів за допомогою ультразвуку та його апаратурне оформлення. Режим доступу: <https://repo.btu.kharkov.ua/bitstream/123456789/30877/1/05.18.12>.
11. Investigating factors affecting on the efficiency of dynamic mixers. URL: <https://www.researchgate.net/publication/308710682>.
12. Mixermechanical design – fluidforces. URL: <https://www.911metallurgist.com/wp-content/uploads/2016/01/>.
13. Impeller design and performance considerations for industrial mixing applications. URL:
14. Дослідження стабільності емульсій з регульованим вмістом жирової фази. Режим доступу: <https://repo.btu.kharkov.ua/bitstream/123456789/38296>.
15. Як стабілізатори та емульгатори підтримують якість харчових продуктів. Режим доступу: <https://www.prodservis.com/yak-stabilizatori-ta-emulgatori-pidtrimujut-yakist-harchovih-produktiv/>.
16. Дослідження термостабільних структурованих емульсій у технології м'ясних січених виробів. Режим доступу: https://repo.btu.kharkov.ua/bitstream/123456789/2801/1/Pt_2014_1_4.pdf.
17. Mayonnaise: The Science of Emulsions. URL: <https://chemclubchoate.wixsite.com/thechefslab/post/mayonnaise-the-science-of-emulsions>.
18. Testing and evaluation of the emulsifying properties of compound oil displacement agents. URL: <https://pubs.acs.org/doi/10.1021/acsomega.2c03653>.

					ДонНУЕТ.133.ГМБ-23м.2024.ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		43