



Дейниченко Г. В.

Постнов Г. М.

Червоний В. М.

Чеканов М. А.

*Харківський державний
університет
харчування та торгівлі*

Deinychenko G. V.

Postnov G. M.

Chervonyi V. M.

Chekanov M. A.

*Kharkiv State University
of Food Technology and
Trade*

УДК 66.084.8

ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНА ОЦІНКА ТЕХНІКО-ЕКСПЛУАТАЦІЙНИХ ПАРАМЕТРІВ УЛЬТРАЗВУКОВОГО ПРИСТРОЮ ДЛЯ ОТРИМАННЯ ВОДНО- ЖИРОВИХ ЕМУЛЬСІЙ

В статті розглянуто процес отримання емульсій та його апаратне оформлення. Проаналізовано існуючий асортимент обладнання та наведені їх переваги та недоліки. Для усунення відповідних недоліків запропоновано модель ультразвукового обладнання для реалізації процесу отримання водно-жирових емульсій. Проведено експериментальну оцінку техніко-експлуатаційних параметрів ультразвукового пристрою для отримання емульсій.

Ключові слова: емульсія, ультразвук, гомогенізатор, продуктивність, енергоємність.

Постановка проблеми. Процес отримання емульсій широко застосовується при виробництві вершкового масла, маргарину, майонезу, кремів, продуктів з біологічно активними добавками тощо. В наш це пов'язане з можливістю створення різноманітних асортиментів комбінованих продуктів на основі компонентів природного походження. Крім того, у результаті емульгування підвищується стабільність емульсії, що дуже важливо при тривалому зберіганні продуктів, а також зростає харчова цінність продуктів з емульсійною структурою, оскільки такі продукти легше засвоюється в організмі людини. У зв'язку з цим розробка сучасних апаратних оформлень процесів отримання емульсій харчових продуктів є актуальним завданням. При цьому особлива увага приділяється розробці та обґрунтуванню принципово нових ефективних енерго- і ресурсозберігаючих технологій [1,2].

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Найпоширенішим способом отримання емульсій є механічне перемішування з допомогою мішалок різних конструкцій [3]. При цьому швидкохідні мішалки (гвинтові, лопатеві, імпульсні, турбінні, фрезерні) найчастіше застосовуються для обробки нев'язких продуктів. Тихохідні мішалки

– якірні та рамні – використовують при ламінарному перемішуванні високов'язких дисперсій. Рідше застосовують стрічкові та шнекові мішалки, які також використовують для високов'язких харчових продуктів.

Для проведення процесів диспергування та отримання емульсій використовують клапанні, відцентрові, вакуумні, ультразвукові, імпульсні електрогідролічні гомогенізатори та роторно-пульсаційні апарати.

Найпоширенішими є гомогенізатори клапанного типу, у яких оброблювана суміш під високим тиском ($p = 8 \dots 25$ МПа), прогонюють через вузьку кільцеву щілину, утворену клапаном і клапанним сідлом. Головна їхня перевага полягає в тому, що при обробці продуктів можна отримати високодисперсну емульсію із середнім діаметром дисперсної фази $1,0 \dots 1,8$ мкм. Однак їхнім істотним недоліком є швидке зношування ущільнень і клапанів. До того ж, вони мають велику енергоємність і складні в обслуговуванні. У відцентрових гомогенізаторах під дією обертання ротора рідина під тиском проходить через сопла або щілинні отвори. Відцентрові апарати простіше клапанних, вони менш металоємні, в них немає швидкозношуваних деталей. Основний їхній недолік – значне



спінювання продукту в ході його обробки, що стримує широке впровадження цих апаратів при виробництві емульсійних неаерованих продуктів [4].

В останні роки успішно апробовано ідею нового методу емульгування – за допомогою взаємного накладення кавітаційних процесів, процесів відцентрової взаємодії середовища різної щільності та процесу їхньої динамічної взаємодії з поверхнею обертових робочих органів. Однак діючий процес емульгування сировини залишається маловивченим. Це значною мірою ускладнює створення високоєфективних машин для отримання емульсійних продуктів не тільки водно-жирової структури, але і більш складних сумішей із додаванням різних рослинних компонентів (фрукти, овочі тощо).

Сьогодні більш широкого поширення набули способи диспергування емульсійних систем у роторно-пульсаційних апаратах (РПА) різної модифікації [5]. У РПА вплив на потік оброблюваного середовища забезпечується примусовим перекриттям каналів його течії в системі обертовий ротор-нерухливий статор. При цьому в потоці виникають завихрення, удари, кавітація, що створюють ефективний диспергувальний ефект. При дослідженні дисперсності емульсій, отриманих на РПА, встановлено, що в цілому середній діаметр часток дисперсної фази не перевищує 1 мкм, що, у свою чергу, свідчить про високу агрегативну стійкість емульсії та гарну її засвоюваність.

Невирішені частини проблеми.

Перелічені вище апаратні оформлення дозволяють одержувати дисперсії з розміром часток до 1...10 мкм. Проте використання ультразвукових апаратів дозволяє отримати емульсію з розміром часток до 0,1 мкм, що вплинуло на формулювання мети досліджень

Метою дослідження стала розробка ультразвукового обладнання для отримання емульсій з жировмісної сировини та експериментальна оцінка його техніко-експлуатаційних параметрів.

Основні результати дослідження.

Лабораторні дослідження впливу ультразвукової обробки на ефективність отримання водно-жирових емульсій проводились з використанням ультразвукового диспергатора УЗДН-2Т з частотою хвиль 22 кГц та кількості суміші, що обробляється, 0,6 дм³.

З метою інтенсифікації процесу емульгування та збільшення продуктивності пристрою необхідно було досягти умов, за яких в оброблювальну камеру під впливом тиску

буде подаватися суміш і через 145... 160 с буде надходити нова порція суміші.

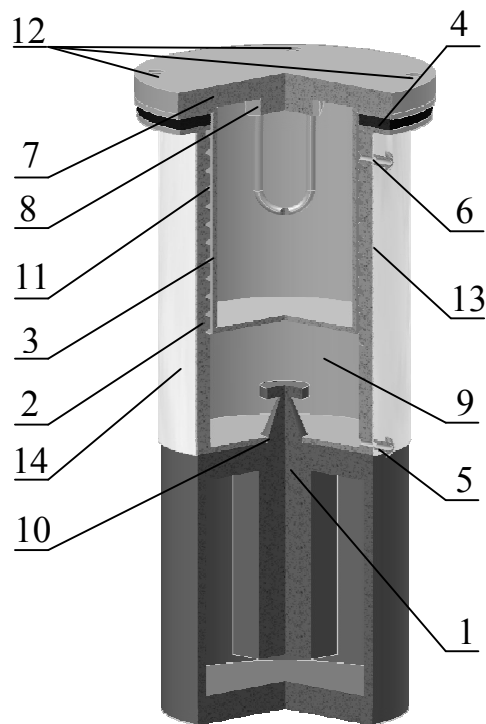
Грунтуючись з розподілу акустичного поля ультразвукових коливань у рідині з розвинутою кавітацією треба, щоб діаметр випромінювальної поверхні робочого інструмента повинен мати діаметр 1...3 см, а поздовжній розмір робочого об'єму акустичного апарата не повинен перевищувати 10...20 см [6].

Оскільки робочий інструмент ультразвукової коливальної системи виконується звичайно у вигляді диска необхідного діаметра та має дві протилежні випромінюючі поверхні (тобто одночасно випромінює ультразвукові коливання убік dna робочого об'єму та поверхні рідини в об'ємі) оптимальним буде занурення робочого інструмента в оброблюване середовище на глибину, близьку до половини поздовжнього розміру робочого об'єму.

Універсальність і висока швидкість процесу ультразвукової обробки пояснюються тим, що, при накладанні ультразвукових коливань порушується приграничний шар часточок середовища, що збільшує активну поверхню речовини.

Основними факторами для вибору параметрів при розробці ультразвукового апарата є: інтенсивність і частота коливань; час озвучування, продуктивність апарата, температура, тиск і інші умови проведення процесу в ультразвуковому полі. На основі цих даних було запропоновано устаткування для отримання жирових емульсій. На рис. 1 зображено його принципову схему.

Устаткування для отримання жирових емульсій складається з ультразвукового перетворювача з випромінювачем 1, зовнішнього елемента 2, внутрішнього елемента 3, ущільнювача 4, патрубків введення сировини 5 та виведення емульсії 6, кришки 7 нагрівального елемента 8. В середину зовнішнього елемента 2 встановлено з зазором 0,5...2 мм внутрішній елемент 3, внаслідок чого утворюється камера ультразвукової обробки 9. Розмір зазору змінюється при використанні внутрішніх елементів різного діаметра. Регулювання зазору дозволяє обробляти різноманітну сировину з підвищеною в'язкістю. Виготовлені зовнішній 2 та внутрішній 3 елементи з матеріалів, що мають високі відбивні властивості ультразвукових коливань. Ультразвуковий перетворювач з випромінювачем 1 введено через отвір 10 в основі зовнішнього елемента 2 безпосередньо в камеру ультразвукової обробки 9.



**Рис. 1. Устаткування для отримання жирових емульсій
(патент України на корисну модель №42882)**

Для кріплення ультразвукового перетворювач з випромінювачем 1 до зовнішньої камери 2 використовують гвинти, герметичність досягається використанням ущільнювачів. На внутрішніх стінах зовнішнього елемента 2 для інтенсифікації процесу емульгування знаходиться гвинтоподібний канал 11. Кришка 7 кріпиться з допомогою болтів через отвори 12 з елементами 2, 3. Для герметизації використовують ущільнювачі. Нагрівальний елемент 8 під'єднано до кришки 7 і занурено в теплоносій, що заповнює ємність внутрішнього елемента 2. Підігрів теплоносія призводить до підвищення температури і зменшення в'язкості продуктів, що піддається ультразвуковій обробці в міжстінному просторі елементів 2 і 3. Для зменшення тепловитрат в конструкції передбачена теплоізоляція 13, яку вкрито кожухом 14.

Устаткування працює наступним чином. Вмикається ультразвуковий перетворювач з випромінювачем 1. Через патрубок введення 5 підготовлена сировина потрапляє в камеру ультразвукової обробки 9.

За рахунок виконання зовнішнього 2 та внутрішнього 3 елементів з матеріалів, що мають високі показники відбивання ультразвуку, проходить інтенсивний процес емульгування. В процесі емульгування

сировина наповнює камеру та поступає в міжстінний простір елементів 2 і 3.

За рахунок підігріву теплоносія нагрівальним елементом 8 зменшується в'язкість оброблюваного продукту. Потік сировини розподіляється на потоки, один з яких продовжує рух в гвинтоподібному каналі 11 (рис. 2), а другий – вздовж бічної поверхні внутрішнього елемента 3.

Внаслідок того, що вектори швидкостей потоків направлені під кутом 90° відбувається турбулізація загального потоку, що підвищує якість отримуваної емульсії та інтенсифікує процес емульгування. Готова емульсія через патрубок виведення 6 потрапляє в ємність для збору продукту.

Інтенсифікація процесу отримання емульсії відбувається шляхом збільшення інтенсивності ультразвукових хвиль, яка виникає внаслідок введення ультразвукового випромінювача безпосередньо в камеру ультразвукової обробки. Це впливає з формули (1):

$$J_2 = J_1 \cdot e^{-2\alpha d}, \quad (1)$$

де J_2 – інтенсивність ультразвукових хвиль на виході з матеріалу, Вт/см², J_1 – інтенсивність ультразвукових хвиль на вході в матеріал, Вт/см², α – коефіцієнт поглинання, d – товщина матеріалу, см.

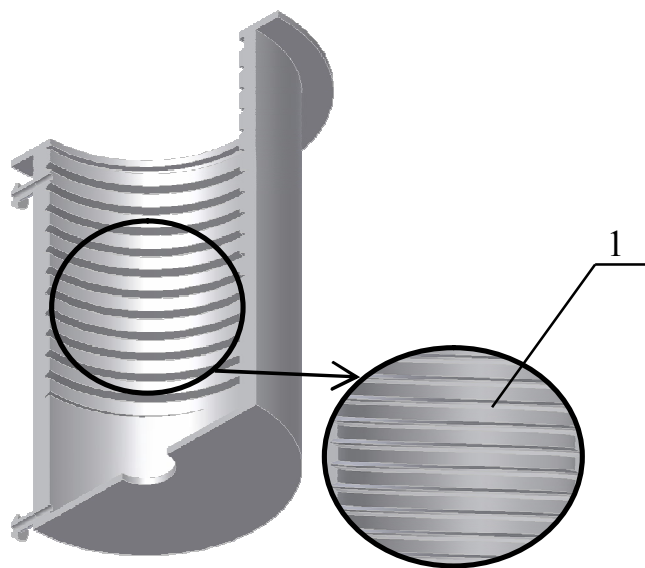
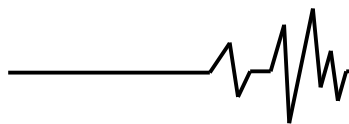


Рис. 2. Внутрішній елемент з гвинтоподібним каналом

А як відомо, збільшення інтенсивності ультразвукових хвиль позитивно впливає на якість оброблюваного середовища [6].

Якість емульсії, що отримується при використанні даного пристрою, підвищується внаслідок того, що процес отримання емульсії проходить в камері ультразвукової обробки 9, а транспортування емульсії відбувається в гвинтоподібному каналі 11 і вздовж бічної поверхні внутрішнього елемента 3.

Зниження собівартості виготовлення пристрою для отримання емульсії з жиромісткої сировини відбувається внаслідок того, що ультразвуковий перетворювач з випромінювачем 1 введено через отвір 10 в основі зовнішнього елемента 2 безпосередньо в камеру ультразвукової обробки 9 сировини, що утворилася між встановленими один в одне зовнішнім елементом 2 і внутрішнім елементом 3.

Запропоноване устаткування має можливість обробляти до $0,6 \text{ дм}^3$ за 145...160 с. Тобто, продуктивність цього апарату складатиме 14...14,8 л/год.

Для збільшення продуктивності в 7 разів до $100 \text{ дм}^3/\text{год}$ потрібно використовувати 7 магнітострикційних випромінювачів, щоб забезпечити питому потужність ультразвукової обробки 15 Вт/л. Об'єм камери повинен складати $4,2...4,4 \text{ дм}^3$.

Дослідження доводять, що ефективний діаметр оброблюваної суміші за діаметра випромінювача 10...15 мм складає 60 мм [6].

Керуючись схемою розміщення ефективних областей ультразвукової обробки

(рис. 3), можна розрахувати, що ефективний діаметр пристрою складатиме 0,18 м.

Виходячи з розрахунків об'єму камери та її діаметра, висота камери повинна складати 0,18...0,2 м.

За експериментальними даними, потужність 1 магнітострикційного випромінювача складала 400 Вт. Таким чином, потужність генератора повинна складати не більше 3 кВт за умови проектування ультразвукового пристрою з сімома магнітострикційними перетворювачами (рис. 4).

Для проведення процесу ультразвукового емульгування була розроблена технологічна схема процесу отримання водно-жирових емульсій, яка представлена на рис. 5.

Ультразвукова установка складається з наступних конструктивних елементів: ємності 1, у яку подаються для наступної обробки рідка (вода) та жирова фаза, ультразвуковий пристрій 4 для одержання жирової емульсії, засноване на використанні магнітострикційного випромінювача, двох живильних кранів 3 і 9. Живильний кран 3 призначений для регулювання подачі оброблюваного середовища в пристрій 4 за допомогою насоса 2, а живильний кран 9 – для регулювання виводу суміші, яка не відповідає необхідній якості, у ємність 1 для повторної обробки. Конструкцією передбачений запірний кран 6 для одержання пробної порції суміші та наступного його аналізу на мікроскопі 5, підключеному до ЕОМ, запірний кран 7 для одержання емульсії та запірний кран 8 для рециркуляції суміші.

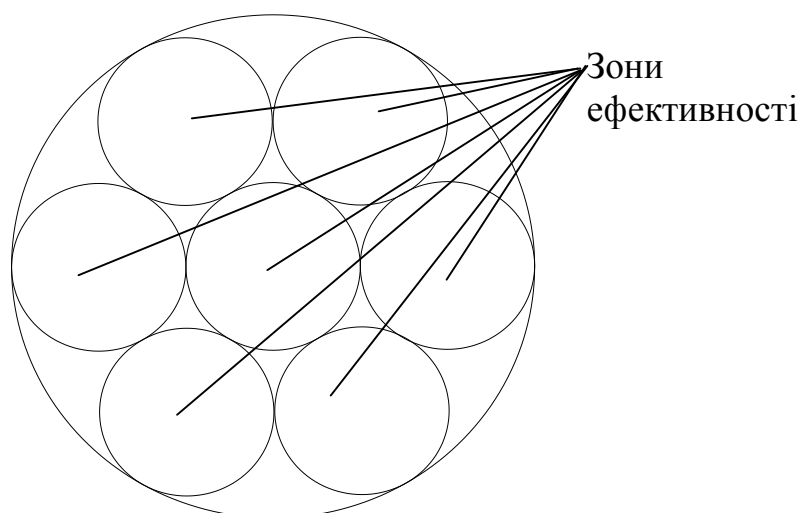
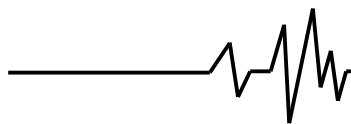


Рис. 3. Схема розміщення ефективних зон в пристрої для отримання жирових емульсій

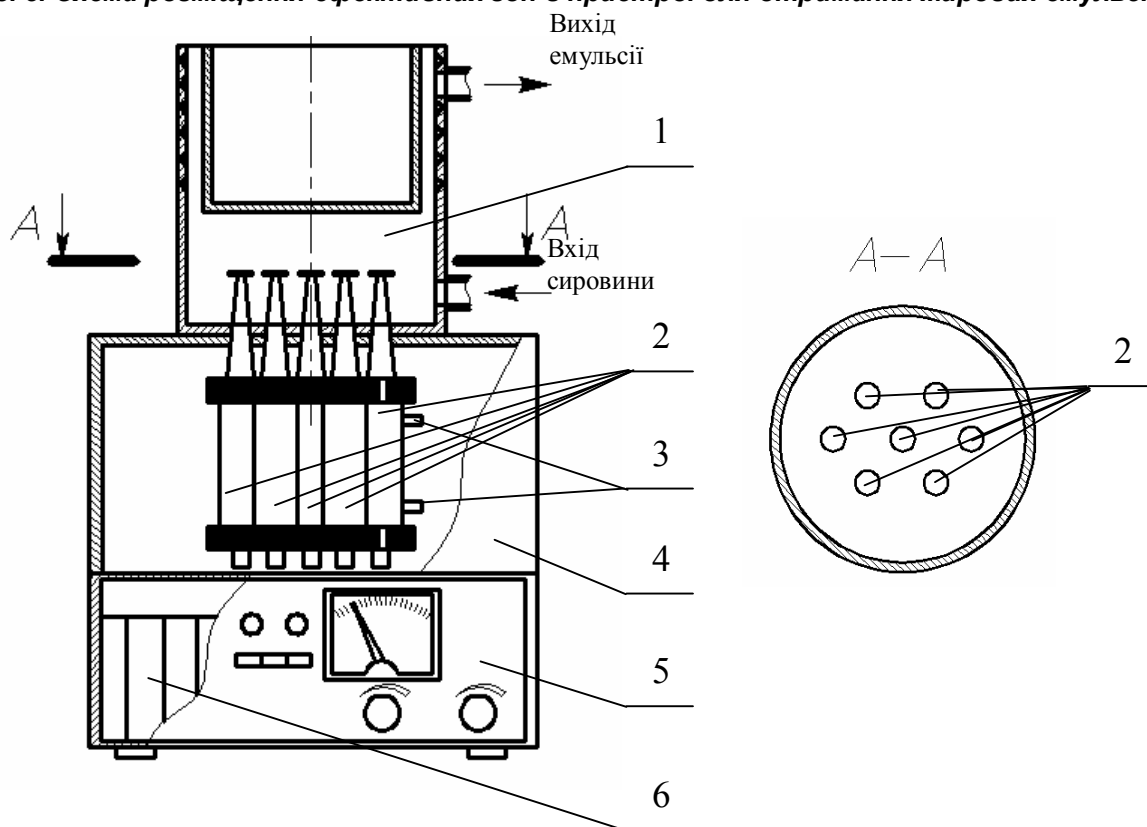


Рис. 4. Схему ультразвукового пристрою для отримання водно-жирових емульсій УПОЕ-1: 1 – робоча камера; 2 – випромінювачі; 3 – патрубкі для охолодження випромінювачів; 4 – кожух; 5 – панель керування; 6 – генератор

Ультразвукова установка працює наступним чином. В ємність 1 подають складові частини емульсії. Отримана водно-жирова суміш подається насосом 2 в ультразвуковий пристрій для одержання емульсії 4. Для оцінки якості отриманої емульсії через кран 6 виводиться порція емульсії. Аналіз цієї порції проводиться з використанням мікроскопу 5,

підключеному до ЕОМ. Якщо емульсія має відповідні якісні характеристики, то через кран 7 емульсія виводиться з системи. Якщо отримана емульсія має незадовільну якість, то через кран 8 та 9 вона знову потрапляє в ємність 1, де перемішується мішалкою 10, і цикл роботи замикається.

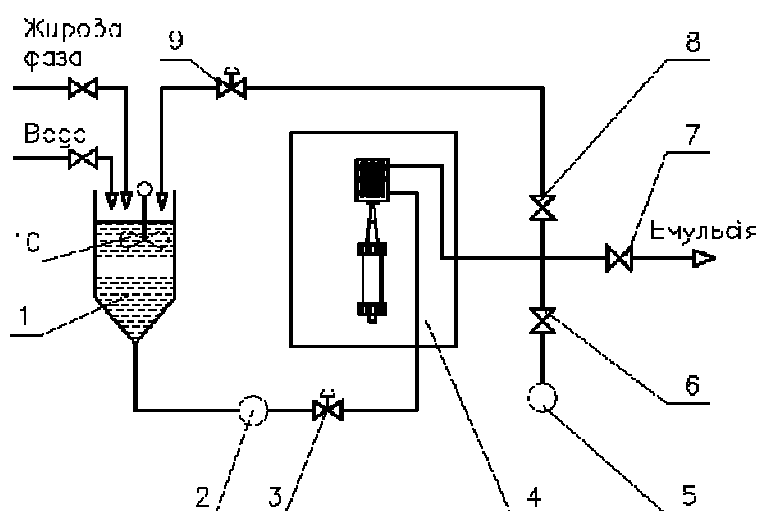
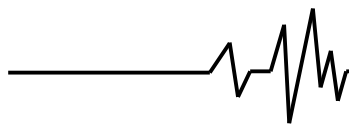


Рис. 5. Технологічна схема проведення процесу ультразвукового емульгування:
 1 – ємність; 2 – насос; 3, 9 – крани живильні; 4 – пристрій ультразвуковий для отримання жирової емульсії; 5 – мікроскоп, що під'єднаний до ПЕОМ; 6, 7, 8 – крани запірні; 10 – змішувач

Порівняльні характеристики отримання водно-жирових емульсій розробленого ультразвукового пристрою для аналогами наведено у табл. 1.

Таблиця 1

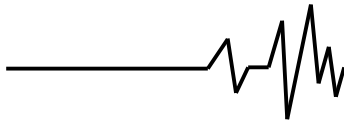
Порівняльна характеристика пристроїв для емульгування

Показники	П8-ГМ 0,5/20 (Росія)	Я5-ОГВ (Росія)	ГМ-ГУРТ-60 (Росія)	НРН 2000/4-SH8 (Німеччина)	ТВГ-100 (Китай)	УПОЕ-1 (Україна)
Продуктивність Q, м ³ /год	0,4...0,5	0,95...1	0,1...0,12	0,007...0,01	0,2...0,25	0,09...0,1
Споживана потужність P, кВт/год	4	18,5	5,37	1,5	11	3
Габаритні розміри, мм:						
довжина	780	1520	940	450	2920	380
ширина	720	830	760	250	2120	480
висота	800	580	1560	350	2200	690
Маса m, кг	120	250	250	35	380	60
Питома енергоємність ΔP, кВт/м ³	8,0...10,0	18,5...19,5	44,9...53,7	150,0...214,3	44,0...55,0	30,0...33,3

Як видно з наведених даних, розроблений ультразвуковий пристрій для отримання емульсій за показником питомої енергоємності ΔP перевищує пристрої з продуктивністю до 0,25 м³/год на 11...23 кВт/м³, що дозволяє стверджувати про ефективність використання ультразвукової обробки для отримання водно-жирових емульсій.

Висновки. Розроблене ультразвукове устаткування має переваги серед аналогічних апаратів за показником питомої енергоємності.

Ефективність гомогенізучого устаткування можна визначити за середнім розміром жирових кульок. Зі зменшенням розмірів жирових кульок та рівномірним розподілом дисперсної фази в усьому об'ємі системи істотно зростає інтенсивність



теплофізичних і фізико-хімічних процесів під час обробки середовища. Тому досягнення необхідної дисперсності, створення і підтримка в технологічному процесі високого значення сумарної поверхні – основний принцип підвищення ефективності гомогенізації дисперсних систем різного призначення. У зв'язку з цим, наступним кроком необхідно провести дисперсний аналіз емульсій з жиромісткої сировини за різних значень частоти ультразвукових коливань та питомої потужності.

Список використаних джерел

1. Фиалкова Е.А. Гомогенизация. Новый взгляд: Монография-справочник. / Е.А. Фиалкова.– СПб.: ГИОРД, 2006. – 392 с.
2. Постнов Г. Перспективні технології отримання високоенергетичних емульсій / Г. Постнов, В. Червоний // Тези доп. міжнар. наук.-техн. конф. «Стан і перспективи харчової науки та промисловості», 8-9 жовтня 2015 р. – Тернопіль : ТНТУ, 2015. – С. 63-64.
3. Баронов В.И. Разработка и исследование вихревых устройств для гомогенизации и эмульгирования пищевых продуктов : автореферат дис. ... кандидата технических наук : 05.18.12 / В. И. Баронов. – Вологда. – Молочное, 2010. – 19 с.
4. Нужин Е.В. Гомогенизация и гомогенизаторы : монография / Е. В. Нужин, А. К. Гладушняк. – Одесса: Печатный дом, 2007. – 263 с.
5. Нарижный С.А. Влияние технологических факторов на эмульгирование жира в роторно-вихревом эмульгирующем устройстве / С. А. Нарижный // Молочна промисловість. – 2007. – №5(40).– С.43-45.
6. Отримання водно-жирових емульсій за допомогою ультразвуку : монографія / Г.В. Дейниченко, Г.М. Постнов, М.А. Чеканов, В.М. Червоний, Д.А. Нечипоренко. – Харків: ФАКТ, 2013. – 192 с.

Список джерел в транслітерації

1. Fialkova Ye.A. Gomogenizatsiya. Novyy vzglyad: Monografiya-spravochnik. / Ye.A. Fialkova.– SPb.: GIORД, 2006. – 392 s.
2. Postnov H. Perspektivni tekhnologii otrymannia vysokoenerhetychnykh emulsii / H. Postnov, V. Chervonyi // Tezy dop. mizhnar. nauk.-tekhn. konf. «Stan i perspektyvy kharchovoi nauky ta promyslovosti», 8-9 zhovtnia 2015 r. – Ternopil : TNTU, 2015. – S. 63-64.
3. Baronov V.I. Razrabotka i issledovaniye vikhrevykh ustroystv dlya gomogenizatsii i emul'girovaniya pishchevykh produktov : avtoreferat dis. ... kandidata

tekhnicheskikh nauk : 05.18.12 / V. I. Baronov. – Vologda. – Molochnoye, 2010. – 19 s.

4. Nuzhin Ye.V. Gomogenizatsiya i gomogenizatory : monografiya / Ye. V. Nuzhin, A. K. Gladushnyak. – Odessa : Pechatnyy dom, 2007. – 263 s.

5. Narizhnyy S.A. Vliyaniye tekhnologicheskikh faktorov na emulgirovaniye zhira v rotorno-vikhrevom emul'giruyushchem ustroystve / S. A. Narizhnyy // Molochna promislovist. – 2007. – №5(40).– S.43-45.

6. Otrymannia vodno-zhyrovyykh emulsii za dopomohoiu ultrazvuku : monografiia / H.V. Deinychenko, H.M. Postnov, M.A. Chekanov, V.M. Chervonyi, D.A. Netchyporenko. – Kharkiv : FAKT, 2013. – 192 s.

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНАЯ ОЦЕНКА ТЕХНИКО-ЭКСПЛУАТАЦИОННЫХ ПАРАМЕТРОВ УЛЬТРАЗВУКОВОГО УСТРОЙСТВА ДЛЯ ПОЛУЧЕНИЯ ВОДНО-ЖИРОВОЙ ЭМУЛЬСИИ

Аннотация. В статье рассмотрен процесс получения эмульсий и его аппаратное оформление. Проанализирован существующий ассортимент оборудования, приведены их преимущества и недостатки. Для устранения соответствующих недостатков предложена модель ультразвукового оборудования для реализации процесса получения водно-жировых эмульсий. Проведена экспериментальная оценка технико-эксплуатационных параметров ультразвукового устройства для получения эмульсий.

Ключевые слова: эмульсия, ультразвук, гомогенизатор, производительность, энергоемкость.

EXPERIMENTAL EVALUATION OF TECHNICAL AND OPERATIONAL PARAMETERS OF ULTRASOUND DEVICE FOR WATER-FAT EMULSION

Annotation. The article describes the process of the preparation of emulsions and its hardware design. We analyzed the existing product range, given their advantages and disadvantages. To resolve the respective disadvantages, a model of ultrasound equipment for implementing the process of obtaining the water-lipid emulsions. Experimental evaluation of the technical and operational parameters of ultrasonic devices for the preparation of emulsions.

Key words: emulsion, ultrasound, homogenizer, productive capacity, energy efficiency.