

МЕТОДИКА РАСЧЁТА СТЕПЕНИ ДИСПЕРСНОСТИ ЭМУЛЬСИЙ

Кирилл Самойчук

*Таврический государственный агротехнологический университет
Пр. Б. Хмельницкого, 18, г. Мелитополь, Украина. E-mail: samanya_kir@mail.ru*

Kirilo Samoychuk

*Tavria State Agrotechnological University
Pr. B. Khmelnytskyi, 18, Melitopol, of Ukraine. E - mail: samanya_kir@mail.ru*

Аннотация. В работе приводится методика расчёта дисперсности эмульсий, основанная на определении критерия Вебера для диспергаторов-гомогенизаторов жировых эмульсий, применяемых в сельском хозяйстве, перерабатывающей и пищевой отраслях промышленности.

Приведен краткий анализ существующих устройств для диспергирования и гомогенизации эмульсий. Сделан вывод, что наивысшие показатели дисперсности эмульсии достигаются в устройствах, создающих высокую разницу скоростей дисперсных частиц эмульсии относительно дисперсионной среды.

Описаны экспериментальные данные по визуальному наблюдению процесса разрушения дисперсных частиц жировых эмульсий и капель жидкости. Охарактеризованы основные теории и механизмы диспергирования, на основе чего выделен обобщающий фактор процесса разрушения дисперсных частиц эмульсии – скорость потока эмульсии, который является определяющим для критерия разрушения жидких частиц – критерий Вебера.

Проанализированы режимы разрушения дисперсных частиц по Ю.Ф. Дитякину и применимость их к жировым вязким эмульсиям. Рассчитана возможность диспергирования жировых шариков молочной эмульсии под действием вибрационной моды. Обоснован характер разрушения частиц эмульсии, согласующийся с исследованиями Ю.Ф. Дитякина, теориями гомогенизации М.Н. Орешниной, П.О.Рибиндера и Г.Виттига и визуальными наблюдениями Ф. Иннингса.

Приведены уравнения, позволяющие рассчитать среднюю дисперсность эмульсии, необходимую для диспергирования скорость скольжения частицы, критическое значение критерия Вебера и время, необходимое для полного разрушения частицы после обработки в клапанных струйных и пульсационных диспергаторах и гомогенизаторах для обработки жировых эмульсий. Алгоритм расчёта базируется на определении критериев Вебера, Лапласа и расчёте времени, необходимого для разрушения частицы эмульсии.

Ключевые слова: диспергирование, эмульсия, гомогенизация, расчёт, критерий Вебера, теория, дисперсность.

ПОСТАНОВКА ПРОБЛЕМЫ

Процесс получения эмульсий широко распространён в сельском хозяйстве, химической, перерабатывающей, пищевой и других отраслях промышленности.

В сельском хозяйстве эмульгирование является неотъемлемой частью при производстве масляных и концентрированных эмульсий пестицидов. Избегать расслоения в процессе хранения таких пищевых продуктов как:

- яичные меланжи и смеси на их основе;
- сгущенного молока комбинированного состава;
- смесей для мороженого (подготовка смеси "молочная основа – растительный жир");
- майонезы, маргарины, кетчупы и т.п.

Диспергирование жировых частиц молока до микроскопических размеров, повышает питательную ценность молока, а также улучшает его сенсорно-вкусовые свойства [1, 2]. Введение в тесто жировых эмульсий вместо жира улучшает качество хлебобулочных изделий. Жировые эмульсии могут использоваться для смазки форм и листов в хлебопечении, сохраняя до 90 % используемого в настоящее время жира [3].

Эффективным является введение жировых эмульсий в фарш колбасных изделий вместо жира-сырца.

Важнейшей операцией является получение эмульсии на основе применения обезжиренного молока путем добавления жира и других необходимых ингредиентов при производстве заменителей цельного молока [4].

Несмотря на широкое распространение процесса получения эмульсий, в настоящее время отсутствует единая методика расчёта аппаратов для эмульгирования на заданную степень дисперсности. Существующие методики расчёта получены в основном эмпирическим путём и не универсальны – используются лишь для аппаратов строго определённого типа.

АНАЛИЗ ПОСЛЕДНИХ ИССЛЕДОВАНИЙ И ПУБЛИКАЦИЙ

Для проведения процессов диспергирования (или гомогенизации – для мелкодисперсных эмульсий) и получения эмульсий, преимущественно ис-

пользуют клапанные, центробежные, вакуумные, ультразвуковые, струйные, пульсационные, вихревые и роторно-пульсационные аппараты (роторно-импульсные, в т.ч. с вибрирующим вдоль оси ротором). Гомогенизаторами принято называть аппараты для получения эмульсий с дисперсностью менее 2 – 2,5 мкм, например молока, поэтому требования к ним выше, чем к обычным диспергаторам-эмульсорам.

Для создания высокодисперсных гомогенных эмульсий наиболее распространены клапанные гомогенизаторы. Они же являются де-факто стандартом качества для других аппаратов (средние размеры жировых шариков молочной эмульсии после обработки – меньше 0,8 мкм). Принцип их действия основан на продавливании эмульсии под давлением 12-25 МПа через кольцевую щель, высотой 0,5-2 мм. Необходимость их усовершенствования обусловлена высокими энергозатратами (более 16 кДж/т) [5, 6].

Всё чаще их замещают роторно-пульсационные диспергаторы, благодаря гораздо меньшим энергозатратам [7]. Диспергирование в них происходит узком зазоре (0,1-2мм) между статором и ротором при высоком градиенте скорости и под действием знакопеременных пульсаций эмульсии при открытии-закрытии отверстий ротора и статора.

Роторно-пульсационный аппарат, ротор в котором совершает колебания вдоль оси вращения сконструирован для получения наибольшей разницы скоростей дисперсной и дисперсионной фаз и позволяет достичь дисперсности эмульсии на уровне клапанных гомогенизаторов.

Вакуумные гомогенизаторы, несмотря на дисперсность молока не более 1,2–2,0 мкм, обладают такими достоинствами как дезодорирование эмульсии и снижение кислотности молока [8]. Разрушение жировых частиц происходит при адиабатном вскипании эмульсии, впрыскиваемой в вакуумную камеру. Повысить степень дисперсности вакуумных аппаратов пока не удаётся.

Центробежные и ультразвуковые диспергаторы применяют для невысокой требуемой степени дисперсности эмульсии. Высокое вспенивание продукта останавливает развитие центробежных диспергаторов.

Струйные диспергаторы широко применяются в технологических схемах производства заменителей цельного молока. Для гомогенизации эмульсий в настоящее время разрабатываются противоточно-струйный гомогенизатор, обладающий высокой степенью дисперсности эмульсии (до 0,8 мкм) и струйный с раздельной подачей сливок. Противоточно-струйный аппарат имеет серьёзный для молочной промышленности недостаток – вспенивание продукта.

Вихревые гомогенизаторы Е.А. Фиалковой основываются на принципе действия вихревой трубы, теория работы которой в настоящее время разработана слабо [6].

Пульсационный диспергатор ударно-импульсного действия разработан М.Н. Орешниной [9] и позволяет получить дисперсность молочной

эмульсии до 0,5 мкм при энергозатратах в 4-5 раз меньше чем клапанные гомогенизаторы.

Из приведённого анализа следует, что наивысшие показатели дисперсности эмульсии достигаются в клапанных, роторно-пульсационных, импульсных и струйных гомогенизаторах. Объединяет эти устройства создание высокой разницы скоростей дисперсных частиц эмульсии относительно дисперсионной среды. Достигается это за счёт высокого градиента скорости в щели клапанного гомогенизатора и зазоре роторно-пульсационного аппарата), встречных потоков в противоточно-струйном гомогенизаторе, подачи дисперсной фазы в скоростной поток дисперсионной среды в струйном с раздельной подачей жировой фазы и ударно-колебательных движениях эмульсии в пульсационных аппаратах.

Фактором, сдерживающим развитие единой методики расчёта диспергаторов жировых эмульсий, является сложность наблюдения за процессом разрушения микроскопического размера частиц при высоких скоростях их движения.

Достоверные визуальные данные по деформации и разрушению капель жира в потоке жидкости получены М.Н. Орешниной (Россия) [9] и Ф. Иннингсом (Швеция) [10]. На фотографиях скоростной киносъёмки показано разрушение капли масла размерами несколько миллиметров при ударном воздействии на воду, в которой находилась капля. Сделан вывод, что в этом случае дробление происходит путём срыва поверхностных слоёв. Результаты пересчитывались на натурные условия гидравлическими критериями подобия, что для микромира не может являться достоверным.

Ф. Иннингсу с помощью метода пульсирующих микролазеров удалось визуализировать процесс дробления жировых частиц молока, размерами 1-3 мкм, в клапанной щели гомогенизатора. Установлено, что жировые шарики перед разрушением вытягиваются в нити и затем разрушаются. Эти эксперименты содержат единственные достоверные данные по диспергированию микроскопических частиц жировой эмульсии. Создание тонких нитей соответствует исследованиям Ю.Ф. Дитякина для высоковязких жидкостей.

Не облегчает задачу определения методики расчёта диспергаторов и большое количество существующих теорий и механизмов гомогенизации и диспергирования. Причём авторы теорий диспергирования не согласовывают свои предположения с имеющимися, подтверждёнными и доказанными экспериментально механизмами разрушения частиц эмульсии.

Основные существующие теории диспергирования [5, 6, 11]:

1. диспергирование под воздействием действия продольного градиента скорости потока на входе в клапанную щель (М. В. Барановского);
2. диспергирование под воздействием поперечного градиенту скорости потока (П.О.Ревиндера и Г. Виттига);
3. диспергирование за счет центробежной силы при вращении жирового шарика (В.Д. Суркова);

4. кавитационное диспергирование;
5. диспергирование срывом с поверхности жирового шарика микрочастиц (М. М. Орешиной);
6. субкавитационное диспергирование (Е.А. Фиалковой);
7. диспергирование за счет разницы скоростей между жировым шариком и дисперсионной средой в зоне столкновения струй (К.О. Самойчука).

Теории М. В. Барановского и В.Д. Суркова часто подвергались критике [5, 6] На основе теории кавитационного диспергирования были созданы гидродинамические устройства успешно апробированные на практике, однако по степени дисперсности такие конструкции не могут соперничать с клапанными [12].

На сегодняшний день широкое развитие получили роторно-пульсационные аппараты, расчёт и проектирование которых основано на создании максимальных кавитационных эффектов [7]. Однако их действие может быть также объяснено созданием максимальной скорости скольжения [13]. Для её увеличения предложена и апробирована конструкция усовершенствованного роторно-пульсационного аппарата – пульсационного аппарата с вибрирующим ротором, показывающего высокую эффективность [14].

Субкавитационное диспергирование предполагает процесс замерзания поверхностного слоя жирового шарика молока, его охрупчивание и разрушение в зонах сверхнизкого давления, создаваемых при прохождении эмульсией, например, через узкую клапанную щель [6].

В основу седьмой из перечисленных выше теорий положено разрушение дисперсной частицы при превышении критического значения критерия Вебера [11]. Этот же критерий является базовым для теории М.М. Орешиной, П.О.Рибиндера и Г. Виттига. Расчёты известного исследователя гомогенизации молока Е. В. Нужина [5] также основаны на критериях Вебера и Лапласа. Эксперименты по наблюдению за процессом разрушения жировых шариков молока Ф. Иннигса показывают вытягивание в нити жировых частиц перед их разрушением, что совпадает с исследованиями Ю.Ф. Дитякина, также основанном на критерии Вебера и Лапласа.

Обзор механизмов диспергирования приведен в работах [13, 15 – 17].

Исследователями выделено 10 механизмов измельчения капель в жидкости.

- 1) Неустойчивость Кельвина-Гельмгольца [4], возникающая в результате достаточной разницы скоростей между дисперсной и дисперсионной фазами.
- 2) Неустойчивость Релея-Тейлора [18], возникающая при направлении вектора массовых или других сил от тяжелой жидкости к легкой.
- 3) Дробление капель в турбулентном потоке жидкости, обусловленное турбулентными пульсациями [19].
- 4) Неустойчивость Толмина-Шлихтинга, которая возникает при переходе от режима ламинарии к турбулентному, когда параллельно-струйное ламинарное течение становится неустойчивым, в резуль-

тате доминирования инерционных сил над силами вязкого трения [20].

5) Неустойчивость Бенардо, которая возникает благодаря флуктуациям плотности (когда тяжелые слои жидкости оказываются над легкими), вызванным, в свою очередь, градиентами температур и концентраций [20].

6) Кавитационный механизм: при схлопывании кавитационного пузырька в результате локального падения давления появляется струйка на поверхности раздела жидкостей с дальнейшим отрывом от нее одной или нескольких капель [20].

7) Динамический - возникновение внутреннего динамического давления в капле, обусловленного тороидальным течением или даже турбулентным движением в ней, способного преодолеть внешнее давление и капиллярные силы [21].

8) Дробление капель вблизи твердых стенок и других элементов аппарата [7].

9) Наличие сдвигов и растягивающих напряжений в сплошной среде, способных значительно деформировать каплю, - течение Куэтта, разные виды гиперболических течений [20].

10) Инерционный режим диспергирования, - возникающий при нестационарном движении дисперсных частиц, экспериментально и численно исследован Стоуном [22].

Показано, что основным фактором дробления частицы по всем этим механизмам – скорость потока (чаще квадрат скорости). Лишь один из механизмов диспергирования – неустойчивость Релея-Тейлора связан с ускорением потока. Однако именно ускорение потока эмульсии, за счёт разницы плотностей между дисперсной и дисперсионной фазами, приводит к возникновению скольжения дисперсной частицы – основной причины разрушения капли по критерию Вебера.

ПОСТАНОВКА ЗАДАЧИ

В настоящее время, ввиду отсутствия единой теории гомогенизации молока, не существует универсальной методики расчёта диспергаторов на заданную дисперсность. При исследовании нового типа гомогенизатора разрабатывается своя методика его расчёта. Поэтому цель данной работы – упорядочить основные гипотезы, механизмы диспергирования и гомогенизации эмульсий, а также методы расчёта дисперсности эмульсий для нахождения единой, универсальной методики расчёта диспергаторов-гомогенизаторов водно-жировых эмульсий.

ИЗЛОЖЕНИЕ ОСНОВНОГО МАТЕРИАЛА

Ю.Ф. Дитякиным исследованы механизмы разрушения капель различной вязкости в широком диапазоне скоростей скольжения [23]. Однако размеры диспергируемых частиц не превышали 300 мкм из-за сложности наблюдения за их разрушением. Кроме того, большая часть исследований проводилась при соотношении плотностей дисперсной и дисперсионной фаз более 500...800 (вода – воздух, масло – воздух). Однако эмульсии в сельском хозяйстве, перерабатывающей и пищевой отрасли имеют соотношение плотностей фаз минимум на 2 порядка

меньше, например молочный жир – плазма молока или растительный жир – вода, близкое к 1. При таких условиях, создать значительную разницу скоростей между частицей и окружающей, дисперсионной фазой, затруднительно. Высокая, по сравнению с воздухом, вязкость дисперсионной фазы, увлекает в движение соседние слои жидкости, что в сочетании с малыми размерами частиц дисперсной среды, приводит к существенным трудностям создания необходимой для разрушения скорости скольжения.

Для высоковязких эмульсий, к которым относятся исследуемые, выявлено, что:

- при уменьшении диаметра частицы критическое значение критерия Вебера We_k возрастает;
- We_k зависит от критерия Лапласа;
- возрастает время индукции и время разрушения частицы;
- при разрушении образуются не капли, а тонкие нити.

По Ю.Ф. Дитякину режимы разрушения капель, в зависимости от скорости дисперсионной фазы, делятся на 2 вида: близкие к критическому $We > We_k$ и закритические $We \gg We_k$. Для вязких жидкостей при соотношении плотностей фаз близкому к единице, диспергирование по последнему виду затруднено. Кроме того, разрушение может происходить по вибрационной моде или с образованием тонкой плёнки, выдуваемой потоком.

По формуле Релея [24 – 26] для собственных частот колебаний жидкой капли существует формула:

$$f_n = \frac{1}{2\pi} \sqrt{\frac{8n(n-1)(n+2)\sigma}{[(n+1)\rho_2 + n\rho_1]d^3}}. \quad (1)$$

где: n – номер моды колебаний.

Или диаметр частицы, которая резонирует с частотой колебаний эмульсии f_n и измельчается на более мелкие:

$$d = \sqrt[3]{\frac{2n(n-1)(n+2)\sigma}{(f_n\pi)^2[(n+1)\rho_2 + n\rho_1]}}. \quad (2)$$

Нулевая мода ($n=0$) отвечает радиальным колебанием расширения – сжатия капли и для несжимаемой жидкости невозможна, первая мода ($n=1$) отвечает поступательным колебанием капли как целого, что для жидкости с постоянным межфазным натяжением также невозможно. Результаты расчетов по формуле (2) при $n=2-5$ для рассмотренной системы представлены в табл. 1.

Таблица 1. Диаметр частицы, которая разрушается при резонансе с частотой колебаний эмульсии f_n

Table 1. Diameter of particle which collapses due to resonance with emulsion vibrations frequency f_n

f_n , Гц	Диаметр частицы, мкм для мод $n=2...5$			
	2	3	4	5
10	5500	7600	9400	11000
100	1200	1600	2000	2400
1000	260	350	440	510
10000	55	76	94	110
500000	4,1	5,6	6,9	81

Из табл. 1 следует, что, для дробления жирового шарика диаметром 5 мкм необходимая частота около 500 кГц. Таких частот трудно достичь даже в ультразвуковых устройствах для диспергирования: гидродинамических свистках, сиренах и т. п. Из расчёта следует вывод, что условия для разрушения вибрационной модой для эмульсий сельскохозяйственного и пищевого назначения, не выполняются.

В зависимости от изменения характера потока со временем разрушение может быть в стационарном или нестационарном потоке. В импульсных (ударных) и роторно-пульсационных диспергаторах реализуется процесс дробления в нестационарном потоке, для клапанных и струйных – в стационарном.

Таким образом для диспергаторов жировых эмульсий сельскохозяйственной, перерабатывающей и пищевой отраслей характерно диспергирование при небольшом превышении критического числа Вебера с образованием, для вязких эмульсий, тонких нитей.

Критерий Вебера определяется из зависимости:

$$We = \frac{\rho_2 d v^2}{\sigma}, \quad (3)$$

где: ρ_2 – плотность дисперсионной фазы, кг/м³, d – диаметр дисперсной частицы, стабильной в данном потоке, м, v – скорость "скольжения" – скорость дисперсной частицы относительно дисперсионной среды, м/с, σ – поверхностное натяжение дисперсной частицы, Н/м.

Критерий Лапласа имеет вид:

$$La = \frac{\sigma \rho_2 d}{\eta^2}, \quad (4)$$

где: η – динамическая вязкость дисперсионной фазы, Па·с.

Для расчёта степени дисперсности получаемой эмульсии (среднего размера жировых частиц) необходимо определить:

- критическое значение критерия Вебера;
- скорость скольжения дисперсных частиц и значение критерия Вебера;
- время индукции и время, требуемое на разрушение дисперсной частицы;
- время воздействия на эмульсию.

Критическое значение критерия Вебера We_k зависит от критерия Лапласа и описывается эмпирической формулой:

$$We_k = 10(1 + 1,93La^{-0,37}). \quad (5)$$

Например для молочной эмульсии рассчитанное значение We_k согласно последней формулы составляет 66.

В реальном потоке определение скорости скольжения дисперсной частицы является весьма сложной задачей, поэтому было предложено пользоваться т.н. модифицированным критерием Вебера [27, 28], где вместо скорости скольжения использовалась скорость потока дисперсионной среды:

$$We_m = \frac{\rho_2 d v_n^2}{\sigma}, \quad (6)$$

где: v_n – скорость потока эмульсии, м/с.

В любом диспергаторе v_n определить не представляет трудностей. Такой подход облегчает расчёты, но имеет существенные недостатки. Во-первых, критическое значение We_m необходимо определять для каждого диспергатора отдельно при его проектировании, нельзя сравнивать We_m для разных типов гомогенизаторов. Во-вторых искажается физический смысл критерия Вебера, невозможно дать оценку энергоэффективности устройства для диспергирования. Например скорость потока может быть сколь угодно большой (и как следствие энергозатраты на создание такого потока), а скорость скольжения быть равной нулю, следовательно диспергирования в таком потоке происходить вообще не будет.

Для расчёта скорости скольжения частиц удобно применять компьютерные программы для моделирования потоков жидкостей, например ANSYS, COSMOS, Fluent, Comsol Multiphysics, RealFlow и др. При расчётах струйных (с раздельной подачей дисперсной фазы и противоточно-струйных) диспергаторов [11, 29] определение скорости скольжения не является сложной задачей, а отличие от клапанных и роторно-пульсационных аппаратов.

Время полного разрушения частицы эмульсии τ_p определяется по формуле [16]:

$$\tau_p = \frac{4,5d(1+1,2La^{-0,37})}{v_e}, \quad (7)$$

где: v_e – скорость эмульсии, м/с.

Для разрушения дисперсной частицы необходимо, чтобы время воздействия на неё рабочих органов диспергатора τ было больше необходимого:

$$\tau > \tau_p. \quad (8)$$

Например, время нахождения жирового шарика молока в клапанной щели длиной L гомогенизатора можно рассчитать как:

$$\tau = \frac{L}{v_e}. \quad (9)$$

При $L=4-8$ мм и скорости потока в ней $v_e=120-180$ м/с, $\tau=2,2-6,6 \cdot 10^{-5}$ с. Время разрушения τ_p по формулам (4) и (7) для молочной эмульсии составляет $4-5 \cdot 10^{-8}$ с, то есть условие (8) выполняется.

Требуемая скорость скольжения для получения эмульсии с размерами, меньше заданного d , вычисляется по формуле:

$$v \geq \sqrt{\frac{We_k \sigma}{\rho_2 d}}. \quad (10)$$

В свою очередь критическое значение We_k определяется по формуле (5).

Таким образом, используя формулы (3 – 10), которые учитывают критерии Вебера, Лапласа и время разрушения, возможно рассчитать размеры частиц эмульсии для любого типа диспергатора, используемого в сельскохозяйственной, перерабатывающей и пищевой промышленности.

ВЫВОДЫ

1. На основе анализа существующих устройств для диспергирования эмульсий получены данные, что наивысшие показатели дисперсности эмульсии

достигаются в устройствах, создающих высокую разницу скоростей дисперсных частиц эмульсии относительно дисперсионной среды, т.е. скорость скольжения. Критерием разрушения дисперсной частицы под действием этой скорости является критерий Вебера. При этом характер разрушения частиц эмульсии, согласуется с исследованиями Ю.Ф. Дитякина, теориями гомогенизации М.Н. Орешниной, П.О.Рибиндера и Г.Виттига и визуальными наблюдениями Ф. Иннингса.

2. На основе анализа режимов разрушения дисперсных частиц по Ю.Ф. Дитякину и применимости их к жировым вязким эмульсиям, выделен режим разрушения жировых частиц, наступающий при вытягивании их в нити и распаде на более мелкие. При этом условия разрушения по вибрационной моде, для жировых шариков молочной эмульсии, не выполняется.

3. На основе обобщения теоретических и экспериментальных исследований, представлена методика, позволяющая, путём определения значений критерия Вебера, Лапласа и времени, необходимого для полного разрушения частицы, рассчитать дисперсность эмульсии после обработки в большинстве применяемых аппаратах: клапанных, струйных и пульсационных диспергаторах и гомогенизаторах для обработки жировых эмульсий.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. **Якимец В., Бубняк Т., Дробот И. 2014.** Обоснование схемы высокочастотного дизелькометричного измерителя параметров качества молока. Motrol. Commission of Motorization and energetics in agriculture. Lublin – Rzeszów. Vol 16. No 4, 162–166.
2. **Тригуба А. 2014.** Обоснование сценариев реализации технологически интегрированных программ развития молочного скотоводства. Motrol. Commission of Motorization and energetics in agriculture. Lublin – Rzeszów. Vol 16. No 4, 181–188.
3. **Рогов И.А. Горбатов А.В. 1974.** Физические методы обработки пищевых продуктов Издательство Пищевая промышленность, 584.
4. **Гордезиани В.С. 1990.** Производство заменителей цельного молока. М.: Агропромиздат, 272.
5. **Нужин Е.В., Гладушняк А.К. 2007.** Гомогенизация и гомогенизаторы. Одесса, 264.
6. **Фиалкова Е.А. 2006.** Гомогенизация. Новый взгляд: Монография – справочник. Спб.: ГИОРД, 392.
7. **Промтов М. А. 2004.** Машины и аппараты с импульсными энергетическими воздействиями на обрабатываемые вещества - М.: «Издательство Машиностроение-1», 136.
8. **Долинский А. А. Шурчкова Ю. А., Буримский В. К. 2003.** Диспергирование жировых шариков при вакуумной гомогенизации. Журнал Молочная промышленность. № 2, 55–56.
9. **Орешина М. Н. 2010.** Импульсное диспергирование многокомпонентных пищевых систем и его аппаратная реализация: автореф. диссертации д-ра техн. наук. М., 50.

10. Innings F., Trägårdh C. 2005. Visualization of the Drop Deformation and Break-Up Process in a High Pressure Homogenizer. *Chemical Engineering & Technology*. Volume 28, Issue 8, 882–891.
11. Самойчук К.О. 2008. Обоснование параметров и режимов работы противоточно-струйного гомогенизатора молока. Автореферат канд. техн. наук, Донецк, 20.
12. Шестаков С. Д. 2001. Методика оптимизации процесса кавитационной дезинтеграции для обработки жидких пищевых сред Журнал Хранение и переработка сельхозсырья. №10, 31 – 35.
13. Самойчук К.О., Івженко А.О. 2013. Механизмы диспергирования жировой фазы в пульсационном аппарате с вибрирующим ротором Сборник научных трудов ТГАТУ.: Мелитополь. Вип.13, Т.7, 11-20.
14. Дейниченко Г.В. Самойчук К.О. 2015. Повышение эффективности процесса гомогенизации молока в пульсационном гомогенизаторе с вибрирующим ротором. Тезисы докладов Международной научно-практической конференции «Инновационные аспекты развития оборудования пищевой и гостиничной индустрии в условиях современности». Мелитополь-Кирилловка, 384 - 386.
15. Абишев Р. 2000. Резонансная аппаратура для процессов в жидкофазных системах: автореф. диссертации д-ра техн. наук СПб, 32.
16. Kowalski K., Zloto T. 2014. An Analysis of Pressure Distribution in Water and Water Emulsion In a Front Gap of a Hydrostatic Bearing. *TEKA. Commission of motorization and energetics in agriculture*. Lublin – Rzeszów. Vol 14. No 4, 45–52.
17. Sheptilevskiy A., Selezov I., Kosenkov V. 2011. Построение и тестирование математической модели динамической системы пузырёк-жидкость-сферическая оболочка в трёхмерной постановке. *Motrol. Motoryzacja i energetyka rolnictwa*. Lublin. Vol. 13 B, 67 – 75.
18. Нигматулин Р.И. 1987. Динамика многофазных сред. Ч. 1. М.: Наука, 464.
19. Колмогоров А.Н. 1949. О дроблении капель в турбулентном потоке. Доклады АН СССР. - 1949. Т.66, № 5, 825 - 828.
20. Абрамзон А.А. 1972. Эмульсии. Под ред. Ф. Шермана. Пер. с англ. под ред. А.А. Абрамзона. Л.: Химия, 448.
21. Левич В.Г. 1959. Физико-химическая гидродинамика. М.: Физматгиз, 699.
22. Stone H.A. 1994. Dynamics of drop deformation and breakup in viscous fluids. *Annual Review of Fluid Mechanics*. V.26, 65 – 102.
23. Дитякин Ю.Ф., Клячко Л.А., Новиков Б.В., Ягодкин В.И. 1977. Распыливание жидкостей. М.: Машиностроение, 208.
24. Протодяконов И. О., Ульянов С.В. 1986. Гидродинамика и массообмен в дисперсных системах жидкость-жидкость. Л.: Наука, 272.
25. Стретт Дж.В. (Лорд Рэлей). 1955. Теория звука. Т. II. – М.: ГИТТЛ, 475.
26. Соу С. 1971. Гидродинамика многофазных систем. М.: Мир, 536.
27. Лонцин М., Мерсон Р. 1983. Основные процессы пищевых производств. Под ред. И. А. Рогова; пер. с англ. Ф. Н. Евтеевой. М.: Лёгкая и пищевая пром-сть, – 279 с.
28. Паляничка Н.О., Гвоздев О. В. 2013. Определение степени гомогенизации при импульсной гомогенизации молока. Труды ТГАТУ.: Мелитополь. Вип.13, Т.7, 102-107.
29. Самойчук К.О., Ковальов О. О. 2013. Механизм разрушения жировых шариков в струйном гомогенизаторе с отдельной подачей сливок. Сборник научных трудов. ДонНУЕТ. Донецк. Вып. 30, 148 - 155.

CALCULATION METHODOLOGY OF EMULSIONS DISPERSION DEGREE

Summary. The work describes calculation methodology of emulsions dispersion, based on determination of Veber's criterion for dispersators - homogenizers of fat emulsions, applied in agriculture, processing and food industries.

A short analysis of existing devices for dispersating and homogenization of emulsions is given. The conclusion is drawn that the highest rates of emulsion dispersion are achieved in the devices that create a high velocity disparity of the disperse emulsion particles relative to the dispersion medium.

Experimental data are described on the visual observation of the destruction process of disperse particles of fat emulsions and drops of liquid.

Basic theories and mechanisms of dispersating are described, on the basis of which the summarizing factor of destruction process of disperse particles of emulsion is distinguished – the emulsion flowrate, which is crucial for the destruction criterion of liquid particles - Veber's criterion.

The destruction modes of dispersible particles are analysed according to Y.F. Dityatkin and their applicability to the fat viscous emulsions. Possibility of dispersating of milk emulsion fat globules is calculated under the action of oscillation mode. Character of destruction of emulsion particles is grounded, concordant with researches of Y.F. Dityatkin, homogenization theories of M. N. Oreshina, P. O. Rebinder and G. Witting and visual observations of F. Innings.

Equalizations are given, allowing to calculate medium emulsion dispersibility, particle sliding velocity necessary for dispersating, critical value of Veber's criterion and time, necessary for complete particle destruction after processing in valvular stream and pulsation dispersators and homogenizers for fat emulsions processing. The algorithm of calculation is based on determination of criteria of Veber, Laplace and timing, necessary for destruction of particle of emulsion.

Key words: dispersating, emulsion, homogenization, calculation, criterion of Veber, theory, dispersion.