Пищевые белково-жировые эмульсии, обработанные ультразвуком и пульсирующим магнитным полем

Елена И. Верболюз¹ elenaverboloz@mail.ru
Дмитрий С. Распопов¹ dimasraspopov@mail.ru
Евгений Л. Соковнин¹ evgeniyevg@mail.ru

¹ Санкт-Петербургский национальный исследовательский университет информационных технологий, механики и оптики, пр-т Кронверкский, 49, г Санкт-Петербург, 197101, Россия

Реферат. Для выпечки хлебобулочных изделий в целях экономии жиров применяются различные виды жира-водных и белково-жировых эмульсий, которые используются в качестве ингредиентов в изделия и для защиты металлических форм от пригорания. Обычно эмульсии приготавливают на хлебопекарных предприятиях по ГОСТ Р 51785-2001, предусматривающему механическое взбивание ингредиентов. Авторами предложен и исследован способ получения более стойких пищевых белково-жировых эмульсий с применением ультразвукового излучателя с жестко закрепленными неодимовыми магнитами на его концентраторе. В качестве ингредиентов применены разбавленная водой творожная сыворотка, нерафинированное подсолнечное масло и подсолнечные фосфатиды. Соотношение творожной сыворотки и воды 1:7. Физические эффекты ультразвука и пульсирующего с его частотой поля магнитов в контактирующем слое диспергируемых жидких ингредиентов повысили вязкость и дисперсность белково-жировых эмульсий. Экспериментально подтверждена гипотеза повышения устойчивости и стерильности белково-жировой эмульсии путем подбора параметров магнитного поля и мощности ультразвукового излучателя. Микроскопический анализ показывает высокую степень однородности эмульсии при времени обработки 3–4 минуты и интенсивности ультразвука 2 Вт/см², что энергетически выгодно. Обнаружен синергизм влияния физических воздействий ультразвука и магнитного поля на прочность и устойчивость эмульсии к механическим и температурным воздействиям, а также бактерицидный эффект, пролонгирующий сроки использования продукта. Изготовление эмульсий по заявленному способу с использованием ультразвука и магнитного поля постоянных неодимовых магнитов сокращает количество вводимых компонентов-эмульгаторов в 3–4 раза или вовсе исключает их применение. Существующие пьезоэлектрические ультразвуковые установки, как и неодимовые магниты имеют малые размеры и низкое энергопотребление, легко встраиваемые в линию непрерывного приготовления эмульсии для хлебопекарных производств. Такие эмульсии менее требовательны в хранении и транспортировке.

Ключевые слова: эмульсия, сыворотка, подсолнечные фосфатиды, ультразвуковой излучатель, неодимовые магниты, бактерицидный эффект, минимальные энергозатраты

Dietary protein and fat emulsions, processed by ultrasound and pulsed magnetic field

Elena I. Verboloz¹ elenaverboloz@mail.ru
Dmitry S. Raspopov¹ dimasraspopov@mail.ru
Eugene L. Sokovnin¹ evgeniyevg@mail.ru

¹ St. Petersburg national research university of information technologies, mechanics and optics, Kronverkskii av., 49, St. Petersburg, 197101, Russia

Summary. For the baking of baked goods in order to save fats, different types of endorsement and protein-fatty emulsions which are used as ingredients in goods and for the protection of metal moulds from burning. Usually emulsion is prepared on bakery enterprises by National State Standard P 51785–2001, involving mechanical beating up of ingredients. The authors suggested and studied the way of manufacturing of more stable food protein-fatty emulsions using ultrasonic transmitter with rigid neodymium magnets on its thickener. As ingredients, there were applied curd whey diluted with water, unpurified sunflower oil and sunflower phosphatides. Ratio of whey and water is 1:7. Physical effects of ultrasound and field of magnets in contact layer of liquid ingredients being dispersed have increased the viscosity and dispersion of protein-fatty emulsions. Hypothesis of increase of stability and sterility of protein-fatty emulsion by the selection of parameters of magnetic field and power of ultrasound transmitter is confirmed experimentally. Microscopic analysis shows high degree of homogeneity of emulsion under the time of processing 3-4 minutes and intensity of ultrasound 2 W/cm², that is energetically profitable. There was revealed synergism of influence of physical effects of ultrasound and magnetic field on the durability and steadiness of emulsion to mechanical and temperature effect and also cidal effect, prolonging terms of product using. Manufacture of emulsions by the declared way using the ultrasound and magnetic field of constant neodymium magnets decreases number of injected elements-emulsifiers by 3-4 times or excludes their use at all. Existing piezoelectric ultrasound units as well as neodymium magnets have small sizes and low energy consumption, easily built into the line of continuous manufacture of emulsion for the bread production. Such emulsions are less demanding to the storage and transportation.

Keywords: Research, ultrasound, wine, wine materials, titrable acidity

Для цитирования

Верболюз Е. И., Распопов Д. С., Соковнин Е. Л. Пищевые белково-жировые эмульсии, обработанные ультразвуком и пульсирующим магнитным полем. // Вестник ВГУИТ. 2017. Т. 79. № 1. С. 34–39. doi:10.20914/2310-1202-2017-1-34-39

For citation

Verboloz E. I., Raspopov D. S., Sokovnin E. L. Dietary protein and fat emulsions, processed by ultrasound. *Vestnik VGUET* [Proceedings of VSUET]. 2017. Vol. 79. no. 1. pp. 34–39. (in Russian). doi:10.20914/2310-1202-2017-1-34-39

Введение

Известно, что для выпечки хлеба в целях значительной экономии масла производятся различные виды жирно-водных и белково-жировых эмульсий, используемые как в качестве ингредиентов в изделия, так и для защиты металлических форм от пригорания при выпечке изделий. Обычная технология подготовки жироводной эмульсии по ГОСТ Р 51785-2001 предусматривает механическое взбивание ингредиентов в течение 10–15 минут взбивальными машинами [1, 2]. В ее состав входит 75% воды, 15–17% растительного масла, до 7–5% фосфатидного концентрата Е 322 (ГОСТ Р 53970-2010 «Добавки пищевые. Лецитины Е322. Общие технические условия») и специальные добавки. Благодаря эмульсии повышается пищевая ценность хлебобулочных изделий, улучшается качество и удлиняются сроки начала черствения хлеба. В хлебопекарной промышленности России в массовые сорта хлеба эмульсию добавляют от 1,5 до 8% к массе муки. Правильно подготовленные эмульсии могут не расслаиваться в течение суток и имеют различную консистенцию в зависимости от интенсивности взбивания и диаметра образовавшихся жировых шариков. Поэтому эффект их применения может существенно отличаться на разных хлебозаводах.

На основании полученных результатов исследований ультразвуковой и магнитной восприимчивости эмульсий показана возможность управления реологическими и структурными свойствами таких систем [2, 7, 8]. Практическая ценность работы состоит в том, что снятые характеристики открывают возможности для теоретического построения моделей комбинированных устройств. Необходимо доказать, что эмульсии являются особой средой, подверженной управляемому синергетическому воздействию ультразвука и синфазного с ним магнитного поля. Поставлена задача экспериментально установить закономерности и описать уравнения зависимостей устойчивости модельных белково-жировых эмульсий с концентрацией подсолнечного масла 8–15% в зависимости от параметров обработки; определить температуру и длительность процесса; эксплуатационные свойства полученного продукта, например, в хлебопекарной промышленности.

Обязательное использование эмульгаторов (фосфатидного концентрата или зарубежного лецитина) в значительных количествах, удорожает производство и не всегда полезно для организма. В таком большом количестве фосфатиды могут придавать посторонние привкусы хлебобулочным изделиям.

Современные малогабаритные пьезоэлектрические ультразвуковые установки, по нашему мнению, дают более широкие возможности для получения качественных эмульсий при снижении расхода растительных жиров и эмульгаторов. Кроме того, легко дозируется и автоматизируется ввод энергии в диспергируемую среду, как и комбинируется с другими физическими воздействиями.

Изготовление эмульсий по заявленному способу (Заявка № 2016117454/13 (027502 авторы Распопов Д.С. и др.) с использованием ультразвука и синфазного магнитного поля значительно сокращает количество вводимых компонентов-эмульгаторов [7, 8]. Способ характеризуется высокой устойчивостью эмульсии к расслоению и коалесценции за счет исключительного мелкого диспергирования растительного жира в жидкой фазе, по диаметру жировых шариков, приближенных к молочным [8]. Для создания таких эмульсий содержание лецитина может быть снижено в 3–4 раза или вовсе исключено. Новые пьезоэлектрические ультразвуковые установки с неодимовыми магнитами отличаются не только малыми размерами, но и низким энергопотреблением при высокой производительности [5, 7]. Они пригодны для осуществления приготовления эмульсий в условиях хлебопекарных производств. Эмульсия не требует специальных условий хранения, и может быть использована немедленно или впоследствии. Мелкодисперсные эмульсии высоко ценятся не только как малопригораемые смазки для хлебопекарных форм, но и как высокоэффективные ингредиенты для добавок в мучные изделия. Таким образом, при использовании предложенных эмульсий исключаются проблемы, связанные с их расслоением и созданием особых температурных условий при хранении.

Материалы и методы

Целью исследования физических и динамических процессов при одновременном воздействии ультразвукового и подвижного магнитного полей было определение степени диспергирования и стойкости в хранении пищевых белково-жировых эмульсий.

Для выполнения поставленной цели необходимо:

- разработать экспериментальную установку непрерывного действия и методику снятия параметров процесса, а также оптимизировать состав диспергируемых ингредиентов;
- систему показателей качества создаваемых белково-жировых эмульсий и соответствующих методов их определения;

- предложить рациональные технологические режимы магнитной и ультразвуковой обработки образцов эмульсий в результате оценки их показателей качества и стабильности при использовании и хранении;

- разработать технологию обработки эмульсий в потоке;

- определить возможности и объемы применения подсолнечных фосфатидов в качестве стабилизаторов эмульсий;

- разработать технические условия на оборудование и определить экономическую эффективность использования эмульсий, полученных ультразвуковым методом с применением магнитного поля.

Объектом исследования стали полученные эмульсии из подсолнечных нерафинированных масел, вырабатываемых на российских предприятиях южных районов и творожной сыворотки (ГОСТ Р 53438-2009), полученной в производстве зерненного творога – из Ленинградской области. Для определения влияния на стойкость эмульсий в некоторые добавляли подсолнечные фосфатидные концентраты марки ПП-1 (погоны дезодорации) в значительно меньшем количестве, чем по ГОСТ Р 51785-2001 (до 3%). Высокоолеиновое подсолнечное масло является важным компонентом эмульсии. В нем присутствуют важные для человека каротиноиды и токоферолы. Еще больше их в продуктах дезодорации подсолнечного масла – фосфатидах. Поэтому их успешно применяют в качестве физиологически ценной добавки и хорошего эмульгатора при производстве эмульсий.

Добавка фосфатидов к растительным маслам ориентирована на выпуск низкокалорийной продукции с повышенным содержанием воды или сыворотки. Они позволяют решить проблему стабильности эмульсий, которые не расслаиваются в процессе производства и хранения, что довольно актуально. Эмульгаторы, применяемые в производстве хлебопекарных эмульсий с использованием сыворотки должны соответствовать определенным требованиям:

- обладать пищевыми свойствами;
- быть физиологически безвредными;
- повышать устойчивость эмульсий;
- удерживать влагу в масле при производстве хлеба;
- обеспечивать стойкость масла при хранении.

Этим требованиям соответствуют растительные фосфолипиды, вырабатываемые путем гидратации растительных масел, например, подсолнечные фосфатидные концентраты марки ПП-1 [1].

При определении физико-химических параметров полученной эмульсии, их органолептической оценки применялись общепринятые и стандартные методы [4].

Экспериментальное исследование процесса диспергирования ингредиентов (разбавленной молочной сыворотки 84%, нерафинированного подсолнечного масла 15% и подсолнечных фосфатидов 1%) проводилось на ультразвуковом аппарате марки УЗТА-1/22-Орв, в излучателе которого на концентраторе жестко закреплены магнитные вставки из редкоземельных металлов (рисунок 1 и 2).

Рисунок 1. Экспериментальная установка: 1 – генератор ультразвука; 2 – вольтметр; 3 – амперметр; 4 – ультразвуковой излучатель; 5 – нерафинированное подсолнечное масло; 6 – творожная сыворотка; 7 – реактор периодического действия

Figure1. Experimental Setup: 1 – ultrasound generator; 2 – voltmeter; 3 – ammeter; 4 – ultrasound probe; 5 – unrefined sunflower oil; 6 – cheesewhey; 7 – reactor batch operation.

Рисунок 2. Концентратор излучателя ультразвука с закрепленными неодимовыми магнитами

Figure2. Hub ultrasound transducer with neodymium magnets

В дальнейшем процесс обработки планируется проводить в специально изготовленном реакторе непрерывного действия с перемешивающим устройством, что допускает применить высокую удельную интенсивность обработки по ультразвуку (до 10 Вт/см²) и исключает перегрев ингредиентов и их деструкцию [8]. В настоящее время технология эмульгирования отработана в виде дискретных операций взвешивания ингредиентов, обработки смеси ультразвуком интенсивностью 2 Вт/см² при температуре 50–54 °С и ручном перемешивании, охлаждения до +6 °С и хранения при заданных условиях. Закрепленные на концентраторе 4 неодимовых магнита с коэрцитивной силой 1,2 Тл приводились в движение с амплитудой 30 мкм частотой $22 \pm 1,65$ кГц. Физические эффекты ультразвука и пульсирующего с его частотой магнитного поля от прямоугольных четырех магнитов в контактирующем слое жидких ингредиентов повысило вязкость такой хлебопекарной эмульсии до густоты плотной сметаны при дисперсности жировых шариков 3–4 мкм (рисунок 3).

Рисунок 3. Внешний вид белково-жировой эмульсии на сыворотке

Figure 3. Appearance of fat emulsion on protein and whey

Обработка результатов экспериментов проведена с применением стандартных приложений Microsoft Excel, Statistica 10.0.

Для определения мощности ультразвукового излучения, которая передается установкой ультразвукового диспергирования в жидкую среду использовалась следующая методика. В сосуд из стекла или пластика наливалось дозированное количество масла, фосфатидов и разбавленной сыворотки комнатной температуры, и в него погружался излучатель ультразвука. Расстояние от излучающей поверхности до дна сосуда равно половине длины волны. Объем жидкости подбирался в предварительных экспериментах так, чтобы жидкость нагревалась на $\Delta T \sim 10$ °С за несколько минут ($\Delta t \sim 5$ –10 минут), что позволяет достаточно точно измерить температуру нагретой жидкости при условии ее тщательного перемешивания в течение ультразвуковой обработки и по ее окончании. В связи с тем, что ультразвуковой излучатель не обеспечивает хорошего турбулентного перемещения жидкости, ее дополнительно

перемешивали для одинакового нагрева по объему. Предварительные эксперименты показали, что кривая зависимости температуры жидкости от времени при ультразвуковой обработке с выбранными значениями исходной температуры и объема жидкости близка к линейной.

Мощность ультразвуковой энергии, передаваемая жидкости, рассчитывалась по формуле (1):

$$W_{\text{уэв}} = \frac{V_{\text{ж}} c_{\text{ж}} \Delta T}{\Delta t}, \quad (1)$$

где $W_{\text{уэв}}$ – мощность ультразвуковой энергии, Вт, передаваемая ультразвуковым излучателем в жидкую среду; $V_{\text{ж}}$ – объем жидкости, дм³; $c_{\text{ж}}$ – теплоемкость жидкости, Дж/(дм³·°С); ΔT – увеличение температуры жидкости в °С за Δt – время ультразвуковой обработки, с.

В расчетах переданной мощности можно пренебречь теплоемкостью реактора и тепловыми потерями во внешнюю среду. Теплоемкость жидкости смеси $c_{\text{ж}} = 3,88$ кДж/(дм³·°С). В результате этих приближений расчетное значение поглощенной мощности будет незначительно занижено в сравнении с действительным значением. Таким образом, измеряя мощность, поступающую в эмульсию и мощность, поступающую в ультразвуковой генератор от сети, можно откалибровать шкалу мощности генератора.

Результаты и обсуждение

Известно, что физико-химические свойства эмульсий связаны с размером частиц и степенью их дисперсности. Чем они мельче и равномернее по размерам, тем долговечность их больше. Широко распространен процесс механического разбивания объема жидкости на капли малых размеров с помощью гидродинамических и кавитационных процессов. В ультразвуке капли жира более равномерные [3, 8].

Экспериментально было определено распределение капель по размерам путем обработки фотографий полученной эмульсии через оптический микроскоп Биомед-5 с выходом на экран компьютера. Определение размера капель производилось микроскопической сеткой окуляра.

В каждом расчёте обрабатывалось около 85 капель. Результаты были сгруппированы по интервалам размеров. Согласно общепринятым рекомендациям [1], число интервалов, рассчитывалось по формуле (2).

$$N_{\text{инт}} = \sqrt{N_{\text{к}}}, \quad (2)$$

где $N_{\text{инт}}$ – число интервалов, на которые разбивается отрезок между максимальным и минимальными значениями диаметров капель; $N_{\text{к}}$ – общее число капель с измеренным диаметром.

В качестве числового значения $N_{\text{инт}}$ принималось ближайшее целое к рассчитанному по формуле (2).

Построенная таким образом гистограмма для серии из 85 капель представлена на рисунке 4.

Рисунок 4. Распределение капель жира по размерам в белково-жировой эмульсии на сыворотке, обработанной ультразвуком и пульсирующим магнитным полем
Figure 4. Distribution of fat droplets size protein-fatty emulsion for serum treated with ultrasound and pulsed magnetic field

ЛИТЕРАТУРА

- 1 Корнен Н. Н., Першакова Т. В., Лисовая Е. В. Применение растительных фосфолипидов (лецитинов) в производстве хлебобулочных изделий // Политематический сетевой электронный научный журнал Кубанского государственного аграрного университета. 2016. №. 116.
- 2 Берестова А. В., Зинюхин Г. Б., Межуева Л. В. Особенности технологии пищевых масложировых эмульсий функционального назначения // Вестник Оренбургского государственного университета. 2014. №. 1 (162). С. 150-155
- 3 Фаткуллин Р. И., Попова Н. В. Использование ультразвукового воздействия как фактора интенсификации процесса диспергирования в пищевых производствах // Вестник Южно-Уральского государственного университета. Серия: Пищевые и биотехнологии. 2015. Т. 3. №. 4 С. 41-47
- 4 Ботвинникова В. В. и др. Влияние акустического воздействия ультразвука на биосинтез экзополисахаридов и реологические свойства кисломолочных продуктов, полученных на основе кефирного грибка // Вестник Южно-Уральского государственного университета. Серия: пищевые и биотехнологии. 2016. Т. 4. №. 4. С. 14-25
- 5 Burchanova A. G. Et al. Simulation the recipe of the meat emulsion for semi-prepared meat // Международный научно-исследовательский журнал. 2016.
- 6 McClements D. J. Food emulsions: principles, practices, and techniques. Crc press, 2015.
- 7 O'sullivan J. et al. The effect of ultrasound treatment on the structural, physical and emulsifying properties of animal and vegetable proteins // Food hydrocolloids. 2016. Т. 53. С. 141-154.
- 8 Krasulya O. et al. Impact of acoustic cavitation on food emulsions // Ultrasonics sonochemistry. 2016. Т. 30. С. 98-102.

Эмульсия после обработки ультразвуком без магнитов в таком же режиме имела пониженное качество, как по стойкости, так и по величине жировых шариков.

Заключение

В дальнейшем будет изучено влияние предложенных эмульгаторов на смазывающие свойства форм и структурообразующие свойства хлеба, их влияние дозировки на качественные показатели хлебопродуктов. Добавление эмульсий увеличивает их стойкость к окислительным процессам, обеспечивая более длительное сохранение качества готовой продукции.

REFERENCES

- 1 Kornen N. N., Pershakova T. V., E. V Lisovaya. Use of vegetable phospholipids (letsitin) in production of bakery products. *Politematicheskii setevoy elektronnyi nauchnyi zhurnal Kubanskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta* [Polythematic network online scientific magazine of the Kuban state agricultural university]. 2016. No. 116.(in Russia)
- 2 Berestova A. V., Zinyukhin G. B., Mezhu-eyev L. V. Features of technology of food oil and fat emulsions of functional purpose. *Vestnik Orenburgskogo gosudarstvennogo univer-siteta* [Bulletin of the Orenburg state university]. 2014. No. 1 (162). pp. 150-155 (in Russia)
- 3 Fatkullin R. I., Popova N. V. Use of ultrasonic influence as factor of an intensification of process of dispersing in food productions. *Vestnik Yuzhno-Ural'skogo gosudarstvennogo universiteta. Seriya: Pishchevye i biotekhnologii* [Bulletin of the Southern Ural State University. Series: Food and biotechnologies]. 2015. T. 3. No. 4. pp. 14-25 (in Russia)
- 4 Botvinnikova V. V., et al. Influence of acoustic influence of ultrasound on biosynthesis ekzopolisakharidov and rheological properties of the fermented milk products received on the basis of the kefiric fungus. *Vestnik Yuzhno-Ural'skogo gosudarstvennogo universiteta. Seriya: Pishchevye i biotekhnologii* [Bulletin of the Southern Ural State University. Series: Food and biotechnologies]. 2016. T. 4. No. 4. pp. 41-47 (in Russia)
- 5 Burchanova A. G. et al. Simulation the recipe of the meat emulsion for semi-prepared meat. *Mezhdunarodnyi nauchno-issledovatel'skii zhurnal* [International research magazine]. 2016.
- 6 McClements D. J. Food emulsions: principles, practices, and techniques. CRC press, 2015.
- 7 O'Sullivan J. et al. The effect of ultrasound treatment on the structural, physical and emulsifying properties of animal and vegetable proteins. *Food Hydrocolloids*. 2016. vol. 53. pp. 141-154.
- 8 Krasulya O. et al. Impact of acoustic cavitation on food emulsions. *Ultrasonics sonochemistry*. 2016. vol. 30. pp. 98-102.

СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ

Елена И. Верболюз д. т. н., профессор, кафедра Технологические машины и оборудование, Санкт-Петербургский национальный исследовательский университет информационных технологий, механики и оптики, пр-т Кронверкский, 49, г Санкт-Петербург, 197101, Россия, elenaverboloz@mail.ru

Дмитрий С. Распопов аспирант, кафедра Технологические машины и оборудование, Санкт-Петербургский национальный исследовательский университет информационных технологий, механики и оптики, пр-т Кронверкский, 49, г Санкт-Петербург, 197101, Россия, dimasraspopov@mail.ru

Евгений Л. Соковнин магистр, кафедра Технологические машины и оборудование, Санкт-Петербургский национальный исследовательский университет информационных технологий, механики и оптики, пр-т Кронверкский, 49, г Санкт-Петербург, 197101, Россия, evgeniyevg@mail.ru

КРИТЕРИЙ АВТОРСТВА

Елена И. Верболюз консультация в ходе исследования, корректировала её до подачи в редакцию и несёт ответственность за плагиат

Дмитрий С. Распопов написал рукопись, обзор литературных источников по исследуемой проблеме, провёл эксперимент, выполнил расчёты

Евгений Л. Соковнин провёл эксперимент, выполнил расчёты

КОНФЛИКТ ИНТЕРЕСОВ

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

ПОСТУПИЛА 20.12.2016

ПРИНЯТА В ПЕЧАТЬ 02.02.2017

INFORMATION ABOUT AUTHORS

Elena I. Verboloz doctor of engineering sciences, professor, production machines and equipment department, St. Petersburg national research university of information technologies, mechanics and optic, Kronversky av., 49, St Petersburg, 197101, Russia, elenaverboloz@mail.ru

Dmitry S. Raspopov graduate student, production machines and equipment department, St. Petersburg national research university of information technologies, mechanics and optic, Kronversky av., 49, St Petersburg, 197101, Russia, dimasraspopov@mail.ru

Eugene L. Sokovnin master student, production machines and equipment department, St. Petersburg national research university of information technologies, mechanics and optic, Kronversky av., 49, St Petersburg, 197101, Russia, evgeniyevg@mail.ru

CONTRIBUTION

Elena I. Verboloz consultation during the study, correct it before filing in editing and is responsible for plagiarism

Dmitry S. Raspopov review of the literature on an investigated problem, conducted an experiment, performed computations, wrote the manuscript

Eugene L. Sokovnin conducted an experiment, performed computations, wrote the manuscript

CONFLICT OF INTEREST

The authors declare no conflict of interest.

RECEIVED 12.20.2016

ACCEPTED 2.2.2017