Влияние ультразвука на продолжительность процесса выработки кондитерских изделий с белково-жировыми эмульсиями при непрерывном цикле производства

Елена И. Верболюз	¹	elenaverboloz@mail.ru
Дмитрий С. Распопов	¹	dimasraspopov@mail.ru
Роман Н. Савченко	¹	m80@m.ru

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

Реферат. Применение белково-жировых эмульсий, обработанных ультразвуком и пульсирующим магнитным полем для производства кондитерских изделий в поле ультразвука ведет к существенному росту их качества, экономии растительных жиров, повышению антипригарных свойств и производительности печей. Известно, что на хлебопекарных предприятиях эмульсии приготавливают по ГОСТ Р 51785-2001 путем механического взбивания ингредиентов. Нами ранее предложен и исследован способ производства пищевых белково-жировых эмульсий повышенной дисперсности и стойкости с применением ультразвукового излучателя и неодимовых магнитов, жестко закрепленных на его концентраторе. Их применение оказало существенное влияние на повышение качественных показателей кондитерских изделий, в частности галет для Арктики. Для этого использовались эмульсии из творожной сыворотки, разбавленной водой 1:7, нерафинированного подсолнечного масла и подсолнечных фосфатидов, составляющая до 17% замешанного теста. Совместное, совпадающее по амплитуде, наложение ультразвука и пульсирующего с его частотой поля магнитов в контактирующем слое диспергируемых жидких ингредиентов заметно увеличивают вязкость и дисперсность получаемых белково-жировых эмульсий по сравнению с чисто ультразвуковым воздействием. При этом выявлен синергизм воздействия ультразвука и магнитного поля на повышение однородности, прочности и устойчивости эмульсии к механическим и температурным воздействиям, ее бактерицидного эффекта, пролонгирующих сроки безопасного использования продукта. Полученные эмульсии менее требовательны к режимам хранения и транспортировки. Уровень производства пьезоэлектрических ультразвуковых установок, как и неодимовых магнитов, их малые размеры и низкое энергопотребление позволяют использовать линии непрерывного приготовления эмульсии для снижения стоимости и повышения качества изделий хлебопекарных производств.

Ключевые слова: производство в одном аппарате, качество кондитерских изделий, эмульсия, сыворотка, подсолнечные фосфатиды, ультразвуковой излучатель, неодимовые магниты, бактерицидный эффект, минимальные энергозатраты

Influence of ultrasound on duration of producing of confectionery with proteinaceous and fatty emulsions at a continuous cycle of production

Elena I. Verboloz	¹	elenaverboloz@mail.ru
Dmitry S. Raspopov	¹	dimasraspopov@mail.ru
Roman N. Savchenko	¹	m80@m.ru

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

Summary. Application of protein-oil emulsions processed by the ultrasound and pulsating magnetic field for the production of pastry in the ultrasound field leads to the significant growth of its quality, economy of vegetable fats, increase of antiadhesivity and efficiency of the ovens. It's known that emulsions are cooked at the baking enterprises according to GOST P 51785-2001 by the way of mechanical beating of ingredients. Earlier we have suggested and studied the way of production of alimentary protein-oil emulsions of increased dispersion and stability with application of ultrasound radiator and neodymium magnets, stiffly fixed on its thickener(1). Their application had significant influence on the increase of quality indices of the pastry, hard tack for Arctic. For this, there were used emulsion of curd whey, diluted with water 1:7, unrefined sunflower oil and sunflower phosphatides amounting up to 17% of kneaded dough. Combined, coinciding by amplitude, imposition of the ultrasound and magnet field pulsing with its frequency in the contact layer of the dispersed liquid ingredients, notably increase viscosity and dispersity of the obtained protein-oil emulsions in comparison to just ultrasound influence. At the same time, there was revealed synergism of influence of the ultrasound and magnetic field on the increase of homogeneity, strength and resistance of emulsion to the mechanical and temperature impacts, its bactericidal effect, prolonging the terms of safe use of the product. Obtained emulsions are less demanding to the modes of storage and transportation. The level of production of piezoelectric ultrasound installations as well as neodymium magnets, their small sizes and low power consumption allow using of continuous preparation of emulsion in the line for the decrease of cost and increase of quality of the items of baking enterprises. Of special note is that we have proved experimentally an additional influence of ultrasound in the volume of oven on the twofold reduction of time spent on the proofing, baking and cooling of pastry with developed emulsion that is economically proved for the combining and automation of all processes in one device. The main attention in the experiment is paid to the maintaining of equal temperature and humidity conditions for production processes of pastry preparation with continuous imposition of ultrasound and without it. At the same time, it was revealed that necessary temperature in the center of hard tacks "Arktika" with use of protein-oil emulsions in all processes was achieved 25-30% earlier under the influence of ultrasound. The items are characterized by the increased yield and even, darker color of refined crust.

Keywords: production in one device, quality of pastry, emulsion, whey, sunflower phosphatides, ultrasound radiator, neodymium magnets, bactericidal effect, minimal power inputs

Для цитирования

Верболюз Е.И., Распопов Д.С., Савченко Р.Н. Влияние ультразвука на продолжительность процесса выработки кондитерских изделий с белково-жировыми эмульсиями при непрерывном цикле производства // Вестник ВГУИТ. 2018. Т. 80. № 1. С. 55–61. doi:10.20914/2310-1202-2018-1-55-61

For citation

Verboloz E.I., Raspopov D.S., Savchenko R.N. Influence of ultrasound on duration of producing of confectionery with proteinaceous and fatty emulsions at a continuous cycle of production. *Vestnik VGUIT* [Proceedings of VSUET]. 2018. vol. 80. no. 1. pp. 55–61. (in Russian). doi:10.20914/2310-1202-2018-1-55-61

Введение

В технологиях продуктов питания, в частности выпечки, применение ультразвука привлекает все возрастающее внимание их производителей и число публикаций в патентной и научной литературе ежегодно растет [1–3]. В Вологодской области применена технология ускоренного получения жироводных эмульсий акустокавитационным методом для хлебопекарного производства [8]. При этом обнаружены преимущества от использования таких эмульсий при выпечке хлеба, а именно возросли длительность их хранения, увеличен срок нечерствения, улучшен мякиш. Обнаружена экономия до 90% растительного масла при смазывании форм. Применение эмульсий в качестве составной части рецептуры хлеба позволяет экономить более 10% растительного масла при обеспечении сбалансированной пищевой ценности продукта [3, 5]. Использование этой технологии также официально разрешено Росстандартом, Институтом питания РАМН и НИИ хлебопекарной промышленности [6, 9, 10]. Показано, что соединения, обуславливающие вкус, аромат и пищевую ценность выпечки практически не разрушаются в процессе термообработки, вследствие приобретения ими гидратных оболочек, защищающих их от термической денатурации. Известно, что мучные кондитерские изделия, например, галеты с добавлением жиров, не стойкие к окислению кислородом воздуха, особенно при воздействии светом, и требуют особых условий хранения. Применение их в полевых условиях накладывает дополнительные ограничения производства таких изделий с добавлением исключительно более стойких белково-жировых эмульсий вместо жироводных. Проведенные в данной работе эксперименты по использованию таких эмульсий для мучных кондитерских изделий, но выпеченных в присутствии ультразвука, показали еще более высокие результаты по сохранению стабильности их свойств в течение нескольких месяцев даже при снижении потребления эмульгаторов. Улучшились также их качественные показатели: вкус и объем. При этом обнаружено, что патентуемый нами магнитно-ультразвуковой способ эмульгирования позволяет получить высококачественную, устойчивую, практически монодисперсную наноэмульсию (100 и менее нанометров), резко повышающую качество выпеченных мучных кондитерских изделий.

При выполнении исследований применялись методы сравнительного эксперимента. Для обработки экспериментальных данных были применены методы математической статистики. Экспериментальные исследования проводились в 3–5-кратной повторности. Известно, что синфазная обработка эмульсии изменяющимся

магнитным и ультразвуковым полем в режиме кавитации с возникновением пульсирующих газовых пузырьков ведет к синергическому эффекту. По данным [5, 9] под действием магнитного поля и ультразвука изменяются некоторые свойства жидкостей и теста: поверхностное натяжение, вязкость, электропроводимость, смачивающая способность, интенсифицируются ионообменные процессы и другие. Эти изменения относительно невелики и тем больше, чем выше жесткость и содержание солей в предложенной эмульсии теста. Изменение свойств сохраняется в течение нескольких часов или дней, что вполне достаточно для процесса брожения и расстойки, причём повышение температуры уменьшает этот срок. Замечено, что эффективность обработки его в колеблющемся магнитном поле с частотой ультразвука возрастает по сравнению с неподвижным.

Синфазное с подвижным магнитным полем ультразвуковое воздействие распространяется в тесте импульсы давления, которые вытесняют микроскопические кавитационные пузырьки газов, причем это происходит практически без нагревания, спиртов и кислот, но с частичным разрушением собственной структуры и изменением растворяющей способности. Указанный технический результат получен при использовании нашей заявки на изобретение № 2016117454/13 и достигается за счет того, что в способе приготовления теста используется эмульгированный жировой компонент растительного масла с водным раствором молочной сыворотки и незначительным количеством фосфатидов ультразвуковым методом с применением пульсирующего магнитного поля [18].

Приготовление кондитерского теста на активированной кавитационно-магнитным способом белково-жировой эмульсии, сопровождающееся гидратационной структуризацией белков, позволяет существенно увеличить удельный объем изделий, повысить их эластичность, замедлить черствение и сократить использование хлебопекарных улучшителей [11–15]. Под воздействием магнитного поля и ультразвука водородные связи между молекулами воды заметно нарушаются, и образуется молекулярная вода, обладающая сильными проникающими свойствами и растворяющей способностью питательных веществ. Таким образом, достаточно длительный процесс дрожжевания существенно ускоряется, стимулируя рост и развитие клеток дрожжей ультразвуком. Ультразвуковое воздействие повышает интенсивность брожения, улучшает качество готового продукта, снижает расход дрожжей. В тоже время, разрушенные мощным ультразвуком часть клеток сами по себе являются хорошим стимулятором развития дрожжей. Этот эффект связывают с так называемым «мортальным фактором», возникающим при разрушении клеток, стимулирующим рост

и развитие остальных, оставшихся целыми клеток. Основываясь на этих представлениях, для ускорения процессов дрожжевания практически определено, что до четвертой части израсходованной суспензии, особенно находящейся в поверхностном слое теста, можно подвергать более мощному ультразвуковому воздействию, приводящему к разрушению клеток, и усиливающих процесс питания и размножения оставшихся трех четвертей дрожжей в суспензии внутри теста [10, 16].

Отмечено, что частицы жиров в ультразвуковых эмульсиях, раздробленные до весьма малых и практически одинаковых размеров, приобретают новые качества в тесте, например снижение специфического запаха и вкуса, исключительное равномерное их распределение в тесте и сниженное тормозящее действие на дрожжи.

При этом стойкость эмульсии, полученной ультразвуком в «разжиженной» магнитным полем жидкости, значительно превышает стойкость систем, полученных механическим перемешиванием и сохраняют свою стабильность в выпечке в течение нескольких месяцев.

Кстати, обработка сахарно-солевых растворов в кавитационном реакторе перед смешиванием их с тестом также позволяет снизить содержание в галетах соли и сахара без изменения вкуса и пищевой ценности продукта [16]. Кроме того, нами доказано, что выработка эмульсии путем взбивания в магнитном и ультразвуковом поле, усиливающих действие друг друга и позволяющих управлять реологическими и структурными свойствами таких систем, достаточно эффективно влияет на скорость производства и качество готовых мучных изделий, особенно в пароконвектомате [17, 19].

Известно, что пароконвектомат – это многофункциональный кухонный аппарат, совмещающий в себе технологию духового шкафа, пароварки и использования режима

увлажнения для придания изделиям сочности, колера и аппетитной хрустящей корочки. Все режимы могут быть использованы как сами по себе, один за другим, так и в комбинации, без перерыва на остановки. Нами экспериментально подтверждено дополнительное воздействие ультразвука в объеме печи на двукратное сокращение времени, затраченного при непрерывном цикле производства на расстойку, выпечку и охлаждение кондитерских изделий с разработанной эмульсией, что экономически оправдывает объединение и автоматизацию всех процессов в одном аппарате (рисунок 1). Главное внимание при этом обращено на поддержание принятых температурных и влажностных условий проведения процессов производства мучных кондитерских изделий с непрерывным наложением ультразвукового поля без него. Выявлено, что необходимая температура в центре галет «Арктика» с применением белково-жировых эмульсий всегда достигалась на 25–30% раньше под воздействием ультразвука (рисунок 2), причем практически без окисления мелко диспергированных и покрытых защитной пленкой жиров. Поэтому изделия характеризуются повышенным выходом и равномерной, более темной окраской утонченной корочки, приятным ароматом.

Рисунок 1. Модернизированный ультразвуковым генератором пароконвектомат и выпеченные ускоренным способом галеты.

Figure 1. Upgraded by the ultrasonic oscillator and baked by the accelerated ship's biscuit method

Рисунок 2. Процесс расстойки, выпечки и охлаждения галет «Арктика» в модернизированном ультразвуковым генератором пароконвектомате при постоянном его включении и без него

Figure 2. Process of a pastries and cooling of “Arktika” biscuit sin the combi steamer upgraded by the ultrasonic oscillator in case of its constant switching on and without it

При этом модернизированные таким образом пароконвектоматы легко автоматизируются, сокращая трудозатраты, позволяют за счет конвекции и ультразвука поддерживать высокую производительность, тем самым существенно сокращая время получения готовой продукции, затраты на упек, электроэнергию, воду и даже экономить рабочее пространство. Экспериментально доказано, что по предложенной нами технологии (рисунок 3) с применением ультразвука (затраты электроэнергии всего 3% от мощности пароконвектомата) сокращается расход воды на увлажнение до 40%, потребление электроэнергии на 50–60% на единицу продукции. Несмотря на то, что процессы расстойки, выпечки и охлаждения идут последовательно, с *плавным* подъемом и падением температуры без временных перерывов, но при постоянном воздействии ультразвуком, все они интенсифицируются не только на поверхности галет, но и в объеме изделий. Также обнаружено, что пароконвектомат за счет интенсификации прогрева

и охлаждения изделий ультразвуком значительно меньше выделяет тепла в помещении, а его выход на рабочий режим расстойки занимает максимум 5 минут. Обращено внимание, что пароконвектомат, занимающий 0,80 м² и рассчитанный на 6 противней (гастроемкостей), может заменить плиту с площадью нагреваемой поверхности 1,2 м² и объемом жарочного шкафа 0,6 м³. Закончив выпечку и охлаждение изделий, аппарат автоматически отключается или уже готов к установке новых противней для расстойки мучных кондитерских изделий, тем самым существенно сокращая потребление электроэнергии. Непрерывность процесса с интенсификацией ультразвуком позволяет почти в два раза снизить затраты времени и уменьшить затраты на персонал.

Экспериментальная часть

Цель работы – повышение производительности пароконвектомата при воздействии ультразвука на процессы брожения, выпечки и охлаждения мучных кондитерских изделий.

Рисунок 3. Предлагаемая технология производства мучных кондитерских изделий (галет «Арктика») в модернизированном УЗВ генератором пароконвектомате.

Figure 3. The offered production technology of flour confectionery (“Arktika” biscuits) in the modernized US the generator a combi steamer

Рассчитаны аппроксимирующие зависимости времени процесса расстойки (мин.) без применения ультразвука (1) и с применением (2) ультразвука с интенсивностью 0,5 Вт/см², время которой снизилось на 25–30%:

$$y = -0,0076x^2 + 0,617x + 26,40 \text{ при } R^2 = 0,936(1)$$

$$y = -0,0117x^2 + 0,743x + 28,58 \text{ при } R^2 = 0,891(2)$$

Время расстойки и прогрева теста при выпечке за счет дополнительной турбулизации

ультразвуком пограничной пленки воздуха у поверхности изделий существенно снизилось (расстойка с 60 до 45 минут, выпечка с 16 до 10 минут), что показывает высокую эффективность способа, недостижимую обычной конвекцией.

На основании статистической обработки экспериментальных данных были получены аппроксимирующие математические зависимости параметров выпечки (рисунок 4).

Рисунок 4. График изменения температуры центральных слоев галет Арктика при выпечке в пароконвектомате: $t = 32,668 \tau^{0,1325}$ – кривая изменения температуры мякиша изделия при выпекании с ультразвуком до $+96^\circ\text{C}$; (1) $t = 7,0748 \tau^{0,137}$ – кривая изменения температуры мякиша изделия при выпекании без ультразвука до $+96^\circ\text{C}$; (2)

Figure4. Graph of the temperature change of the central layers of the biscuits Arctic during baking in the combi steamer: $t = 32,668 \tau^{0,1325}$ – curve of the temperature change of the crumb of the product when baking with ultrasound to $+96^\circ\text{C}$; (1) $t = 7,0748 \tau^{0,137}$ – curve of the temperature change of the product crumb when baking without ultrasound to $+96^\circ\text{C}$; (2)

Экспериментальные кривые на рисунке 4. позволяют определить временные показатели выпечки галет типа «Арктика» до начала процесса охлаждения. Результаты экспериментальных исследований показали большое влияние воздействия ультразвука на время прогрева при выпечке кондитерских изделий в центре (рисунок 4, кривая 1). Кривая 2 на рисунке 4 показывает значительно более низкую скорость выпекания изделий без ультразвука (на 50–55%), где требуется на процесс до 16 минут вместо 8–10 минут с применением УЗВ.

Рисунок 5. График изменения температуры центральных слоев галет Арктика при охлаждении в пароконвектомате: 1 – Температура воздуха в пекарной камере при охлаждении вентилятором (1 м/с); 2 – Температура мякиша без УЗВ; 3 – Температура мякиша с УЗВ (с интенсивностью $0,5 \text{ Вт/см}^2$); 4 – Температура корки с УЗВ (с интенсивностью $0,5 \text{ Вт/см}^2$)

Figure5. Graph of the temperature change of the central layers of the biscuits Arctic during cooling in the combi steamer: 1 – Air temperature in the baking chamber with cooling by the fan (1 m/s); 2 – Cinder temperature without USV; 3 – The temperature of the crumb from the RAS (with an intensity of 0.5 W/cm^2); 4 – The temperature of the crust with USV (with an intensity of 0.5 W/cm^2)

Специфические свойства ультразвука позволяют акцентировать внимание на новые значимые свойства, которые повышаются при выпечке мучных кондитерских изделий ультразвуком – это повышение их пищевой ценности и вкусовых свойств, возрастание сохраняемости продукта.

Выводы

1. Следует особо отметить, что контрольные образцы после 2 месяцев хранения имели уже привкус окисленных жиров, а галеты, приготовленные с использованием жироводных эмульсий при воздействии ультразвуковыми колебаниями высокой интенсивности не потеряли своих потребительских свойств и после 4 месяцев хранения.

2. Показано, что ультразвуковая обработка кондитерских изделий увеличивает содержание ароматизирующих веществ, повышает равномерность цвета и увеличивает дегустационную оценку. Повышенная скорость расстойки и выпечки снижают кислотность кондитерских изделий более чем на 0,5 рН, что является предпочтительным аспектом в технологии.

3. На основании проведенных экспериментальных исследований получены эмпирические зависимости параметров процесса от интенсивности ультразвука, улучшены органолептические характеристики и повышены дегустационные оценки продукта.

4. Опытным путём выявлено, что применение ультразвука при интенсивности до 0,5 Вт/см² достаточно эффективно, так как сокращено время расстойки на 25%, выпечки на 50% и охлаждения в 2,5 раза.

5. Предложены математические зависимости, позволяющие уточнить время производства изделий и производительность пароконвектомата.

ЛИТЕРАТУРА

1. Антуфьев В.Т., Иванова М.А. Воздействие ультразвука на выпечку мелкоштучных хлебобулочных изделий // Журнал Хлебопродукты. 2011. № 5. С. 50–51.

2. Бодрова О.Ю., Кречетникова А.Н. Активирующий и дезинтегрирующий эффекты ультразвуковой обработки микроорганизмов // История науки и техники. 2006. С. 51.

3. Шестаков С.Д. Энергетическое состояние воды и ее связываемость биополимерами пищевого сырья // Хранение и переработка сельхозсырья. 2003. № 4.

4. ГОСТ 24557–89. Изделия хлебобулочные сдобные. Технические условия.

5. Шестаков С.Д. Эмульсии в хлебопекарном производстве: виды, применение, теоретические аспекты и современное оборудование // Хлебопечение России. 1996. № 2. С. 20–22.

6. Шестаков С.Д. Получение и свойства олеофильных эмульсий на основе подсолнечного масла и их применение для смазки хлебопекарного инвентаря // Хлебопечение России. 1999. № 4. С. 20–22.

7. Инструкция по приготовлению жироводных эмульсий на установке "Ультрамикс" и их применению в хлебопекарном производстве. Утв. директором ГосНИИХП, проф. А.П. Косованом и согл. зам. директора НИИ Питания РАМН, акад. В.А. Тутельяном. М., 1996.

8. Патент РФ № 2422198, C02F 1/36, BOU 19/10. от 27.06.2011. Способ сонохимической обработки водных растворов для гидратации биополимеров / Богуш В.И., Красуля О.Н., Шестаков С.Д. 2010.

9. Лоза А.В. Новое оборудование в системе судового питания (ООО «Север трейд») // Судостроение. 2003. № 2.

10. Патент РФ 249631 Способ и устройство для интенсификации выпечки хлебобулочных изделий / Антуфьев В.Т., Горшков Ю.Г., Иванова М.А.

11. Верболов 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.

12. Антуфьев В.Т., Андреев А.Н., Горшков Ю.Г., Русакевич О.Н. Инновационные аспекты разработки ресурсосберегающего процесса выпечки хлебобулочных изделий в поле действия ультразвука // Научный журнал НИУ ИТМО. Серия: Процессы и аппараты пищевых производств. 2009. № 1(7). С. 5–7.

6. Определена экономическая эффективность предложенного способа производства кондитерских изделий.

7. Разработана техническая документация и проведена апробация технологии производства кондитерских изделий на экспериментальной установке. Представлена технологическая инструкция на производство галет с применением ультразвука.

Исходя из анализа непрерывного технологического процесса расстойки, выпечки и охлаждения кондитерских изделий в пароконвектомате в поле ультразвука и без него можно сделать заключение о высокой эффективности разработанной и апробированной технологии.

13 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. V. 53. P. 141–154.

14 McClements D. J. Food emulsions: principles, practices, and techniques // CRC press. 2015.

15 Awad T. S. et al. Applications of ultrasound in analysis, processing and quality control of food: A review // Food research international. 2012. V. 48. № 2. P. 410–427.

16 Juliano P. et al. Enhanced creaming of milk fat globules in milk emulsions by the application of ultrasound and detection by means of optical methods // Ultrasonics Sonochemistry. 2011. V. 18. № 5. P. 963–973.

17 Soria A. C., Villamiel M. Effect of ultrasound on the technological properties and bioactivity of food: a review // Trends in Food Science & Technology. 2010. V. 21. № 7. P. 323–331.

REFERENCES

1 Antufyev V.T., Ivanova M.A. Impact of ultrasound on pastries melkoshtuchnykh of bakery products. *Kleboprodukty* [Bakery products] 2011. no. 5. pp. 50–51. (in Russian)

2 Bodrova O.Yu., Krechetnikova A.N. Aktiviruyushchy and desintegrating effects of ultrasonic processing of microorganisms. *Istoriya nauki I tekhniki* [History of science and technology] 2006. pp. 51. (in Russian)

3 Shestakov S.D. Power condition of water and its svyazyvayemostbiopolymers of food raw materials. *Khraneniye I pererabotka sel'khozsyrya* [Storage and agricultural raw materials processing] 2003, no. 4 (in Russian).

4 GOST 24557–89. Izdeliya khlebobulochnye [State standard 24557–89. Products are bakery rich. Technical specifications] (in Russian)

5 Shestakov S.D. Emulsions in baking production: types, application, theoretical aspects and the modern inventory. *Khlebopecheniye v Rossii* [Bread baking of Russia] 1996. no. 2. pp. 20–22 (in Russian).

6 Shestakov S.D. Receiving and properties of oleophilic emulsions on the basis of sunflower-seed oil and their application for lubricant of baking stock. *Khlebopecheniye v Rossii* [Bread baking of Russia] 1999. no. 4. pp. 20–22. (in Russian)

7 Instruksiya po prigotovleniyu zhirovodnykh emul'sii [The instruction for preparation the zhirovodnykh of emulsions on the Ultramiks installation and to their application in baking production] Moscow, 1996. (in Russian)

8 Bogush V.I., Krasulya O.N., Shestakov S.D. Sposob sonokhimicheskoi obrabotki [Way of sonokhimicheskoy processing of aqueous solutions for hydration of biopolymers] Patent RF, no. 2422198, 2010 (in Russian)

9 Loza A.V. A new inventory in the system of a ship delivery ("North traid"). *Sudostroenie* [Shipbuilding] 2003. no. 2 (in Russian).

10 Antufeyev V.T., Gorshkov Yu.G., Ivanova M.A. Sposob i ustroystvo dlya intensivatsii [Way and the device for an intensification of pastries bakery a product] Patent RF, no. 249631. (in Russian)

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

12 Antufeyev V.T., Andreyev A.N., Gorshkov Yu., Rusakevich O.N. Innovative aspects of development of resource-saving process of pastries. *Nauchnyi zhurnal NIU*

ITMO [NIU ITMO Scientific magazine. Series: Processes and devices of food productions] 2009. no.1(7). pp. 5–7. (in Russian)

13 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.

14 McClements D. J. Food emulsions: principles, practices, and techniques. CRC press. 2015.

15 Awad T. S. et al. Applications of ultrasound in analysis, processing and quality control of food: A review. *Food research international*. 2012. vol. 48. no. 2. pp. 410-427.

16 Juliano P. et al. Enhanced creaming of milk fat globules in milk emulsions by the application of ultrasound and detection by means of optical methods. *Ultra sonic sonochemistry*. 2011. vol. 18. no. 5. pp. 963-973.

17 Soria A. C., Villamiel M. Effect of ultrasound on the technological properties and bioactivity of food: a review. *Trends in Food Science & Technology*. 2010. vol. 21. no. 7. pp. 323-331.

СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ

Елена И. Верболос д.т.н., профессор, кафедра процессов и аппаратов пищевых производств, 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 процессов и аппаратов пищевых производств, Санкт-Петербургский национальный исследовательский университет информационных технологий, механики и оптики, пр-т Кронверкский, 49, г Санкт-Петербург, 197101, Россия, dimasraspopov@mail.ru

Роман Н. Савченко аспирант, кафедра процессов и аппаратов пищевых производств, Санкт-Петербургский национальный исследовательский университет информационных технологий, механики и оптики, пр-т Кронверкский, 49, г Санкт-Петербург, 197101, Россия, m80@m.ru

КРИТЕРИЙ АВТОРСТВА

Елена И. Верболос консультация в ходе исследования несёт ответственность за плагиат

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

Роман Н. Савченко провёл эксперимент, выполнил расчёты

КОНФЛИКТ ИНТЕРЕСОВ

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

ПОСТУПИЛА 20.01.2018

ПРИНЯТА В ПЕЧАТЬ 19.02.2018

INFORMATION ABOUT AUTHORS

Elena I. Verboloz Dr. Sci. (Engin.), professor, processes and devices of food productions 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, processes and devices of food productions department, St. Petersburg national research university of information technologies, mechanics and optic, Kronversky av., 49, St Petersburg, 197101, Russia, dimasraspopov@mail.ru

Roman N. Savchenko graduate student, processes and devices of food productions department, St. Petersburg national research university of information technologies, mechanics and optic, Kronversky av., 49, St Petersburg, 197101, Russia, m80@m.ru

CONTRIBUTION

Elena I. Verboloz consultation during the study is responsible for plagiarism

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

Roman N. Savchenko conducted an experiment, performed computations

CONFLICT OF INTEREST

The authors declare no conflict of interest.

RECEIVED 1.20.2018

ACCEPTED 2.19.2018