

Особенности низкотемпературной тепловой обработки мясопродуктов в пароконвектомате с наложением ультразвуковых колебаний

Елена И. Верболоз¹ elenaverboloz@mail.ru
Сергей А. Романчиков² romanchkovspb@mail.ru

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

² Военная академия материально-технического обеспечения, наб. Макарова д. 8, г. Санкт-Петербург, 199034, Россия

Реферат. При низкотемпературной тепловой обработке мясных полуфабрикатов (не выше 85 °С) удастся получить достаточно нежный продукт и сохранить в нем больше соков, которые и придают им их неповторимый вкус. Но при этом общая длительность обработки достигает нескольких часов, что и обеспечивает размягчающее воздействие на коллаген мышц. Обработка кулинарной продукции в таком режиме даже в пароконвектомате ведет к повышенным потерям массы готовых продуктов, в особенности при запекании. В статье представлено техническое решение задачи интенсификации низкотемпературной тепловой обработки в пароконвектомате с помощью ультразвука. Высокая адаптивность к существующим технологиям, легкость управления процессом обработки и особые физические эффекты позволяют применять ультразвук разной интенсивности и частоты. Ультразвуковые технологии позволяют резко интенсифицировать технологический процесс и повысить качество готовых изделий. На базе пароконвектомата Angelo Po (Италия) создан универсальный тепловой аппарат, в том числе и для запекания мясных полуфабрикатов с интенсификацией процессов теплообмена и приготовления в поле ультразвука. Данная технология, не применяемая ранее, позволяет ускорить процесс получения готовой продукции примерно на 29–30%, снизить потери на 8–11% и энергетические затраты. Исследования проводятся с целью научного и экономического обоснования процесса и модернизации оборудования для ускоренного производства высококачественных мясных изделий при обработке их в пароконвектомате.

Ключевые слова: пароконвектомат, ультразвуковой излучатель, запекание мяса, интенсификация, снижение потерь, повышение сочности

Features of the low-temperature heat treatment of meat products in a combi steamer with the imposition of ultrasonic vibrations

Elena I. Verboloz¹ elenaverboloz@mail.ru
Sergei A. Romanchikov² romanchkovspb@mail.ru

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

² Military academy of logistics, Makarova emb., 8, St. Petersburg, 199034, Russia

Summary. In the process of low-temperature heat treatment of meat semi-finished products (not higher than 85 °C) it is possible to get a fairly delicate product and keep more juices in it, which give them their unique taste. But at the same time the total processing time reaches several hours, which provides a softening effect on the collagen muscles. Processing of culinary products in this mode, even in a combi steamer, leads to increased loss of weight of finished products, especially when it baked. The paper presents a technical solution to the problem of intensification of low-temperature heat treatment in a combi steamer using the ultrasound. High adaptability to existing technologies, ease of control of the processing process and special physical effects allow using ultrasound of varying intensity and frequency. Ultrasound technologies allow you to highly intensify the technological process and improve the quality of finished products. Based on the Angelo Po's combi steamer (Italy) a universal thermal device was created, including meat semi-finished products baking with intensification of heat exchange processes and preparation in the ultrasound field. This technology not used previously and allows speeding up the process of obtaining finished products by approximately 29–30%, and reducing losses in energy costs by 8–11%. The research is conducted with the purpose of scientific and economic justification of the process and modernization of equipment for accelerated production of high-quality meat products when processing them in a combi steamer.

Keywords: combi steamer, ultrasonic emitter, intensification, loss reduction, increase of juiciness

Введение

При большом разнообразии тепловых аппаратов для приготовления пищи следует обратить особое внимание на пароконвектоматы, позволяющие выбрать рациональный режим обработки продуктов [1, 25]. Несмотря на наличие сложной системы пароувлажнения, вентиляции

и терморегуляции, выход и качество порций при запекании иногда не соответствуют желаемым результатам. Частично эта задача решается снижением температуры в шкафу на 30–50 °С и более, то есть переходом на так называемый низкотемпературный режим тепловой обработки, особенно мясных и рыбных кусковых блюд

Для цитирования

Верболоз Е.И., Романчиков С.А. Особенности низкотемпературной тепловой обработки мясопродуктов в пароконвектомате с наложением ультразвуковых колебаний // Вестник ВГУИТ. 2017. Т. 79. № 3. С. 35–41. doi:10.20914/2310-1202-2017-3-35-41

For citation

Verboloz E.I., Romanchikov S.A. Features of the low-temperature heat treatment of meat products in a combi steamer with the imposition of ultrasonic vibrations. *Vestnik VGUIT* [Proceedings of VSUET]. 2017. vol. 79. no. 3. pp. 35–41. (in Russian). doi:10.20914/2310-1202-2017-3-35-41

[8, 11, 16]. При таком понижении температуры удается сохранить в продуктах те соки, которые и придают им их неповторимый вкус. В более горячей или более сухой среде эти соки быстро перемещаются к нагретой поверхности продукта, чтобы выровнять его температуру, а затем вытекают в противень. Их можно использовать как основу для приготовления хорошего соуса, но только за счет ухудшения качества и вкуса блюда. Долгое запекание «проблемного» мяса с большим процентом «жиловки» при температуре около 63–70 °С позволяет размягчать жесткие взаимосвязи тканей и делать мясо очень мягким [11]. Но существенное увеличение времени приготовления пищи не всегда соответствуют требованиям посетителей ресторанов и не прибавляет имиджа заведению. Современные достижения науки позволяют легко и не дорого решить проблему внедрения такой технологии на кухне без увеличения времени обработки, и даже с повышением вкусовых качеств пищи. Ранее нами предложена и запатентована технология интенсивной тепловой обработки мучных изделий с наложением ультразвуковых колебаний в хлебопекарной печи и в пароконвектомате [1–3, 6, 7]. Известна высокая адаптивность и эффективность ультразвука к существующим технологиям, позволяющая применять их комплексно [5, 19, 20].

При этом за счет акустических эффектов обеспечивается достаточно высокий коэффициент теплоотдачи, позволяющий снизить затраты электроэнергии и температуру запекания шкафу. Возможное уменьшение скорости обдува и времени обработки повышает выход изделий. Из-за существенного снижения толщины пограничного слоя воздуха в ультразвуке происходит более быстрый прогрев верхней корочки полуфабрикатов и закупоривание наружных капилляров за счет поверхностной денатурации белка, тем самым предотвращая выдавливание сока на противень [11, 21]. Нами проведены теоретические и экспериментальные исследования тепловой обработки кусковых порций мяса свинины и охлажденной рыбы трески в акустическом поле с инструментальным контролем процесса. Основной целью данного способа запекания было предотвращение указанных выше недостатков и повышение качества изделий за счет использования ультразвуковых эффектов нагрева с присущими ему особенностями теплопередачи. Наш способ и пароконвектомат со встроенным ультразвуковым излучателем позволяют получать продукты с повышенной сочностью и массой, что заметно их отличает от обработанных традиционными способами.

Кроме того, существенно сокращается время приготовления запекаемой продукции за счет ультразвуковых эффектов. Известно, что ультразвук уменьшает толщину ламинарного (прилипшего) слоя к изделию за счет изменения характера обтекания потока даже в докавитационных режимах [3, 6]. Анализ исследований показывает, что ультразвуковые волны в воздухе приводят к турбулизации пограничного слоя, периодически создают разрежение у поверхности, что приводит к подосу новых порций воздуха – теплоносителя. Механизм влияния ультразвука при запекании изделий связан с появлением акустических завихряющих течений, обусловленных поглощением энергии в пограничном слое греющей среды у их поверхности, а также поглощением некоторой части энергии внутри кусковых изделий. Снижение толщины этого слоя обычным аэродинамическим способом требует применения высоких скоростей воздуха, следствием чего является интенсивное подсушивание поверхности даже при рекомендуемой влажности в шкафу [10]. Преимущество акустических потоков в исключительно малой толщине их пограничного слоя:

$$\delta = \sqrt{\nu / \pi f}, \quad (1)$$

где δ – толщина пограничного слоя, м; ν – коэффициент кинематической вязкости воздуха, м²/с; f – частота колебаний, Гц.

Увеличение частоты колебаний уменьшает толщину температурного (концентрационного) пограничного слоя и увеличивает тем самым градиент температуры, определяющий скорость переноса массы и тепла. Появляется возможность снижения температуры в камере до величины, обеспечивающей передачу необходимого количества энергии через тонкий слой воздуха [3].

Такое действие ультразвука на теплообмен проявляется от некоторых пороговых значений интенсивности волны. Как показали исследования по выпечке хлеба с наложением ультразвука малой интенсивности (0,2–0,5 Вт/см²), он в значительной степени разрушает пограничную пленку воздуха у запекаемого изделия, играющую роль теплоизолятора, и, соответственно, увеличивает коэффициент теплоотдачи в 1,6–2,1 раза [3, 9]. При этом экспериментально доказано, что ультразвук уменьшает время выпечки на 20–28%. Замеры интенсивности звука в объеме камеры показали, что за счет рассеяния и отражения ультразвуковых волн от изделий и стенок камеры приводит к усреднению акустического поля, что согласуется с обнаруженными источниками информации [4].

Особенностью ультразвука является способность его многократно отражаться от стен камеры и запекаемых изделий, проникать во все неровности изделия, снижая термическое сопротивление тепло- и массопереносу [19]. Кроме того, за счет периодического изменения местного давления внутренние мышцы мяса подвергается автоколебаниям на глубину от миллиметров до нескольких сантиметров, что способствует интенсивному проникновению тепла внутрь изделия (звукокапиллярный эффект, локальный нагрев) [11]. Расчеты показывают, что при этом наружные части волокон получают ускорения до $3-4g$ при мощности около $0,5-0,7 \text{ Вт/см}^2$, что также способствует размягчению мышц мяса.

Для проведения эксперимента нами был сформулирован принцип создания установок для тепловой ультразвуковой обработки пищевых продуктов с высоким содержанием влаги, которую необходимо сохранить в целях повышения вкусовых качеств готовых изделий. Ограниченный объем известных из литературы экспериментальных исследований показывает отсутствие единого мнения об интенсивности ультразвукового воздействия при тепловой обработке мясных и рыбных полуфабрикатов [11, 12, 14, 17]. В отличие от процессов сушки, где обычно критическим звуковым давлением считают $130-140 \text{ дБ}$, когда происходят процессы кавитации, необходимые для возгонки жидкости и активного капиллярного эффекта, нам для срыва пограничной пленки у нагреваемого продукта достаточно $90-100 \text{ дБ}$. Это показывают исследования М.А. Ивановой по выпечке мелкоштучных булочных изделий при воздействии слабых ультразвуковых колебаний [6].

Для решения поставленных в работе задач выполнены экспериментальные исследования зависимости времени готовности мяса от интенсивности ультразвука.

Материалы и методы

При экспериментальной проверке изложенных теоретических положений в качестве образцов использовалась охлажденная свинина без жировых прослоек, нарезанная поперек волокон кусками кубической формы массой по 210 г .

Принято решение использовать ультразвуковой электронный излучатель с максимальной потребляемой мощностью до 300 ватт , позволяющий более равномерно рассеять ее в объеме жарочного шкафа аппарата и создать достаточную интенсивность волны для срыва пограничной пленки воздуха у запекаемых изделий. Для этой цели был изготовлен в Бийске ультразвуковой аппарат с водяным охлаждением пьезоэлектрического излучателя УЗАГС-0,3/22-Ов и рабочей частотой колебаний 22 кГц (рисунок 1). Излучатель

этого аппарата был установлен в двери пароконвектомата типа Angelo Po с объемом $0,6 \text{ м}^3$ и максимальной потребляемой мощностью $9,6 \text{ кВт}$ (рисунок 2). Интенсивность ультразвука на изделиях можно было изменять в пределах $0,2-2,0 \text{ Вт/см}^2$.



Рисунок 1. УЗАГС-0,3/22-Ов

Figure 1. UZAGS-0,3/22-Ov

В боковой части жарочного шкафа находится система регулирования температурно-влажностного режима в пароконвектомате, включающая в себя вентилятор, парогенератор, ТЭНы и другое оборудование. Излучатель ультразвука за счет водяного охлаждения устойчиво работает при высоких температурах в печи и управляется программой через компьютер.

Прогоняемый вентилятором воздух внутри камеры нагревается до расчетной технологической температуры ТЭНами, причем существенно более низкой с учетом эффектов ультразвукового поля. Поэтому в начальный период обработки, как показывают экспериментальные данные, процесс прогрева изделия внутрь и образование корочки происходит более эффективно, что важно с целью снижения потерь сока. Конструктивно устройство для производства запеченных мясных изделий может быть выполнено, как показано на рисунке 2 и 3.



Рисунок 2. Общий вид экспериментальной установки

Figure 2. General view of the experimental facility

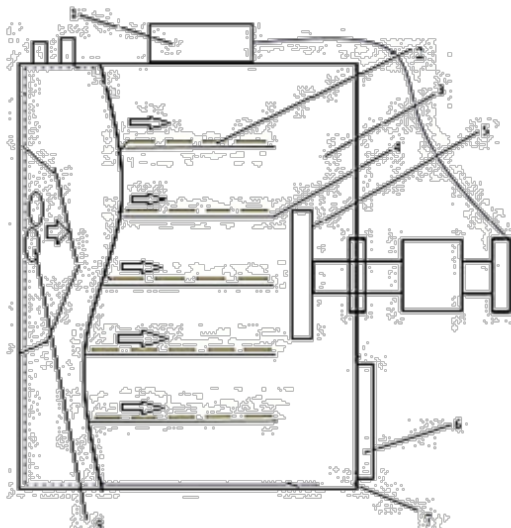


Рисунок 3. Схема экспериментальной установки для ускоренной сушки макаронных изделий с белковыми добавками: 1 – генератор ультразвука; 2 – материал для сушки; 3 – сушильная камера; 4 – сетчатые поддоны с материалом для сушки; 5 – ультразвуковой излучатель; 6 – программируемый блок управления; 7 – дверь пароконвектомата; 8 – вентилятор с ТЭНами

Figure 3. Schematic of the experimental setup for the accelerated drying of pasta with protein supplements: 1 – ultrasonic generator; 2 – material for drying; 3 – drying chamber; 4 – mesh trays for drying material; 5 – an ultrasonic emitter; 6 – a programmable control unit; 7 –combi steamer’s door; 8 – fan with heating elements.

Для решения поставленных в работе задач, Ультразвуковой излучатель, учитывая характер распространения ультразвука, может быть закреплен в дверце камеры примерно в среднем положении по ее высоте. Генератор ультразвукового аппарата и сам пароконвектомат управляются по заданной программе. Признаком достоверности принятой концепции является известный опыт применения ультразвуковых колебаний в отдельности, как для изменения капиллярного эффекта пористых тел, так и для получения высоких коэффициентов теплоотдачи [2, 5, 7]. Устройство для производства запеченных мясных изделий работает следующим образом: изделия, предназначенные для запекания, помещают на сетчатый поддон под камеры пароконвектомата. Запускают программу обработки данного вида изделия, которая не требует вмешательства повара до выемки готового продукта. При этом автоматически устанавливается заданная температура обработки и необходимая влажность, включается ультразвуковой излучатель. По достижении в центре куска температуры готовности изделия, оборудование отключается.

Ультразвук, благодаря эффекту снижения на порядок толщины пограничного слоя воздуха даже при механическом обдуве, позволяет

значительно ускорить процесс коагуляции белков в поверхностных тканях мяса, предотвращая вытекание сока, а цвет изделий приобретает равномерную розово-коричневую окраску, в том числе и в углублениях (неровностях) кускового продукта (особенность обработки ультразвуком).

Результаты и обсуждение

Под действием ультразвука малой интенсивности улучшаются специфические и вкусовые качества мяса, и значительно сокращается продолжительность тепловой обработки. Ранее нами экспериментально определена рациональная интенсивность излучения ультразвука при запекании: $I=0,7 \text{ Вт/м}^2$. Тепловая денатурация мышечных белков начинается при 34–38 °С. При 65 °С денатурирует около 90% всех мышечных белков, но даже при 100 °С часть их остается растворимыми [11]. Нами принята температура готовности запеченной свинины 76–79 °С [4].

По результатам экспериментальных исследований можно судить о большом влиянии тепловой обработки мясных полуфабрикатов при воздействии ультразвука на увеличение скорости готовности мышечной ткани мяса (рисунок 4 Верхняя кривая).

Получены аппроксимационные зависимости изменения температуры в центре мясных кусковых изделий от продолжительности процесса низкотемпературного запекания в пароконвектомате, с ультразвуком:

$$t = -0,0063\tau^2 + 1,2849\tau + 11,191 \quad (2)$$

без ультразвука:

$$t = -0,0013\tau^2 + 0,3955\tau + 12,758 \quad (3)$$

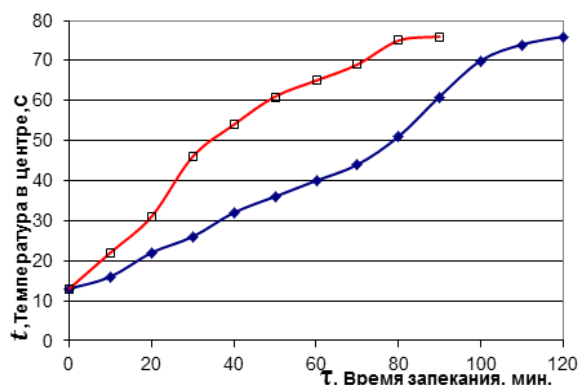


Рисунок 4. Продолжительность низкотемпературного запекания мясных кусковых изделий при скорости обдува вентилятором $v=0,3 \text{ м/с}$, температуре воздуха в камере $t=85 \text{ °С}$, влажности $\phi=40\%$; верхняя кривая при интенсивности ультразвука $0,7 \text{ Вт/м}^2$, 20 кГц , нижняя кривая – без ультразвука

Figure 4. The duration of the low-temperature baking of meat pieces at a blowing speed of the fan $v = 0,3 \text{ м/с}$, air temperature in the chamber $t = 85 \text{ °С}$, humidity $\phi = 40\%$; the upper curve at ultrasound intensity is 0.7 Вт/м^2 , 20 кГц , the lower curve is without ultrasound

При 45–50 °С в центре изделия (тепловая обработка без ультразвука) начал интенсивно вытекать сок, который испаряясь, охлаждал куски мяса, что заметно на нижней кривой графика. Из рисунка 4 видно, что имеется возможность сокращения продолжительности теплового воздействия при запекании свинины кусковой, по 210 г.каждый, примерно на 29%.

Выявлено, что наиболее эффективным методом снижения потерь при запекании мяса является использование переменного присутствующего избыточного давления и вакуума, создаваемого ультразвуковыми колебаниями для ускорения поверхностной денатурации белка. В процессе денатурации белки теряют гидратную оболочку, что облегчает не только их усвоение, но и дает возможность использовать этот эффект для закупорки пор на поверхности мяса.

При этом происходит агрегирование белковых молекул, соединение их между собой в более крупные частицы. Начинается процесс свертывания белков, расслоения коллоидной системы, образования хлопьев белка, закупоривающих наружные поры поверхности мяса и удерживающих мясной сок. На поверхности обрабатываемых ультразвуком и низкотемпературным теплом порций образуется структурированная прочная белковая система. Важно, что низкотемпературная обработка в ультразвуке практически исключает образование гетероциклических ароматических аминов, представляющих собой сильные канцерогены [4].

Таким образом, ультразвук за счет существенного снижения толщины пристенного к мясу ламинарного слоя воздуха, позволяет быстрее прогреть поверхность кусков и закрыть поры, снизив потери мясного сока. При тепловой обработке без ультразвука потери достигают 32–41%. При существенном

снижении времени обработки в ультразвуке, уменьшаются и потери сока на 8–11%, что влияет на сочность и нежность мяса, его размягчение. Объясняется это тем, что при прохождении ультразвука даже небольшой интенсивности (до 1 Вт/см², частотой 22 кГц) в тканях животного происходят в результате колебаний значительные ускорения волокон, возникает ряд механических и физико-химических явлений, в первую очередь разрыв фибрилл ткани (при поперечном движении ультразвуковой волны), вследствие чего образуются пустоты. Происходит частичный механический сдвиг волокон мышечной и соединительной тканей, при этом создаются благоприятные условия для действия ферментов мяса и ускорения химических процессов в тканях [5, 16, 22]. Обработка при температурах 70–85 °С мяса, позволяет повысить пищевую и биологическую ценность мяса, улучшить цвет и аромат, снизить канцерогенность запеченных продуктов [18].

Выводы

Результаты проведенных в работе теоретических и экспериментальных исследований позволяют сделать следующие выводы:

1. Применение ультразвукового метода в комплексе с низкотемпературной тепловой обработкой кусковых порций мяса позволяет увеличить скорость приготовления на 29–30% и снизить потери на 8–11%.

2. Рекомендована интенсивность ультразвука на поверхности изделий 0,7–0,8 Вт/м² С. Дальнейшее увеличение силы ультразвуковых колебаний может привести к кавитационным процессам и разрушению скоагулированного поверхностного слоя с вытеканием части влаги из обрабатываемых кусковых порций мяса, снижению их сочности.

5 Заяс Ю.Ф. Ультразвук и его применение в технологических процессах мясной промышленности // Пищевая промышленность. 1970.

6 Иванова М.А. Разработка ресурсосберегающего процесса выпечки мелкоштучных булочных изделий с наложением поля ультразвука. Автореферат диссертации на соискание ученой степени кандидата технических наук. СПб.: Санкт-Петербургский государственный университет низкотемпературных и пищевых технологий, 2012.

7 Иванова М.А., Антуфьев В.Т. Влияние ультразвука на показатели готового мелкоштучного хлебобулочного изделия // Электронный научный журнал «Процессы и аппараты пищевых производств». 2011. № 1.

8 Красуля О.Н. и др. Процессы и аппараты пищевой сонотехнологии для мясной промышленности // Мясная индустрия. 2009. № 7.

ЛИТЕРАТУРА

1 Пат. № 158128. Устройство для производства хлебобулочных изделий / Романчиков С.А., Антуфьев В.Т. Заявл. № 2015100836/10; опубл. 20.12.2015, Бюлл. № 36

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

3 Пат. № 2496319 Способ и устройство для интенсификации выпечки хлебобулочных изделий / Антуфьев В.Т., Иванова М.А. Заявл. № 2011125204/13; опубл. 27.10.2013, Бюлл. № 30.

4 Большаков О.В. Кавитационный реактор как средство сонохимических исследований и технологий в пищевой промышленности // Хранение и переработка сельхозсырья. 2010. № 2.

9 Кутателадзе С.С. Пристенная турбулентность. Новосибирск: Наука.

10 Лойцянский Л.Г. Механика жидкости и газа: учеб. для вузов. М.: Дрофа, 2003. 840 с.

11 Могильный М.П. Теоретические и практические аспекты создания инновационных технологий мясных продуктов функционального назначения для общественного питания. Автореферат диссертации на соискание ученой степени доктора технических наук. М.: МГУТУ им. К.Г. Разумовского, 2012.

12 Молчанов Г.И. Ультразвук в фармации. М.: Медицина, 1980.

13 Николаев С.В. Метод ультразвукового контроля процесса пропитки пористых материалов гидрофобизирующим раствором. Автореферат ЛР 020308 от 14.02.97

14 Основы взаимодействия ультразвука с биологическими объектами. М.: Высшая школа, 2006. 237 с.

15 Остриков А.Н., Абрамов О.В. Расчёт и конструирование машин и аппаратов пищевых производств. СПб.: ГИОРД, 2003. 352 с.

16 Рогов И.А., Горбатов А.В. Физические методы обработки пищевых продуктов. М.: Пищевая промышленность, 1974.

17 Русанова Т.В., Дмитриев В.В., Мачихин С.А. и др. Интенсификация процесса брожения дрожжей в хлебопечении с помощью ультразвука // – Хлебопекарная и кондитерская промышленность. 1974. № 5. С. 28.

18 Протокол испытаний № 6/177 от 11.05.2010 г. НИИ ЭЧ и ГОС им. А.Н. Сысина РАМН / Аттестат аккредитации Департамента госсанэпиднадзора МЗ РФ ГСЭН.RU.ЦОА.234 № РОСС RU.0001.511603

19 Хмелев В.Н., Шалунов А.В., Барсуков Р.В., Цыганок С.Н. и др. Исследование эффективности ультразвуковой сушки // Технологическая акустика. 2009. № 6.

20 Хмелев В.Н. Ультразвуковые многофункциональные и специализированные аппараты для интенсификации технологических процессов в промышленности. Барнаул: АлтГТУ, 2007. 416 с.

21 Цветков О.Б., Лаптев Ю.А. Термодинамика. Теплопередача: Справочное пособие. СПб.: СПбГУНиПТ, 2008. 41 с.

22 Шерстюк В.М., Беляев В.М. Физические методы обработки рыбы // Пищевая промышленность. 1971. 148 с.

23 Шестаков С.Д. Управление гидратацией биополимеров пищевых сред. В книге Теоретические основы пищевых технологий. М: КолосС, 2009.

24 Шестаков С.Д., Красуля О.Н., Богуш В.И. и др. Технология и оборудование для обработки пищевых сред с использованием кавитационной дезинтеграции. СПб.: ГИОРД, 2013. 152 с.

25 Русский проект. URL: http://www.rproject.ru/pdf/AngeloPo/Angelo_PO_Rus_2011_.pdf

REFERENCES

1 Romanchikov S.A., Antuf'ev V.T. Device for the production of bakery products [Ustrojstvo dlya proizvodstva hlebobulochnyh izdelij] Patent RF, no. 158128, 2015. (in Russian)

2 Antuf'ev V.T., Ivanova M.A. The influence of ultrasound on the baking of small-baked bakery products. *Zhurnal Hleboprodukty*. [Journal of Bread Products] 2011. no. 5. pp. 50–51 (in Russian)

3 Antuf'ev V.T., Ivanova M.A. Sposob i ustrojstvo dlya intensivatsii vypechki hlebobulochnyh izdelij [Method and device for intensification of baking of bakery products] Patent RF, no. 2496319, 2013 (in Russian)

4 Bol'shakov O.V. Cavitation reactor as a means of sonochemical research and technology in the food industry. *Hranenie i pererabotka sel'hozyr'ya* [Storage and processing of agricultural raw materials] 2010. no. 2. (in Russian)

5 Zayas Yu.F. Ultrasound and its application in the technological processes of the meat industry. *Pishchevaya promyshlennost'* [Food industry] 1970. (in Russian)

6 Ivanova M.A. Razrabotka re-sursosberegayushchego processa vypechki mel-koshtuchnyh bulochnyh izdelij s nalozheniempolya ul'trazvuka. Avtoreferat dissertatsii na soiskanie uchenoj stepeni kandidata tekhnicheskikh nauk [Development of a resource-saving baking process for small-batch bakeries with superposition of the ultrasound field] Saint-Petersburg, Sankt-Peterburgskij gosudarstvennyj universitet nizkotemperaturnyh i pishchevyh tekhnologij, 2012. (in Russian)

7 Ivanova M.A., Antuf'ev V.T. Influence of ultrasound on the parameters of finished small-baked bakery products. *Processy i apparaty pishchevyh proizvodstv* [Processes and Apparatuses of Food Production] 2011. no. 1. (in Russian)

8 Krasulya O.N. et al. Processes and devices of food sonotechnology for the meat industry. *Myasnaya industriya* [Meat industry] 2009. no. 7. (in Russian)

9 Kutateladze S.S. Pristennaya turbulentsnost'. [Wall turbulence] Novosibirsk, Nauka. (in Russian)

10 Lojcyanskij L.G. Mekhanika zhidkosti i gaza. [Mechanics of liquid and gas] Moscow, Drofa, 2003, 840 p. (in Russian)

11 Mogil'nyj M. P. Teoreticheskie i prakticheskie aspekty sozdaniya innovacionnyh tekhnologij myasnyh produktov funkcional'nogo naznacheniya dlya obshchestvennogo pitaniya Avtoreferat dissertatsii na soiskanie uchenoj stepeni doktora tekhnicheskikh nauk [Theoretical and practical aspects of creation of innovative technologies of meat products of a functional purpose for public catering. The dissertation author's abstract on competition of a scientific degree of the Doctor of Technical Sciences] Moscow, MGUTU im. K.G.Razumovskogo Moskva, 2012. (in Russian)

12 Molchanov G.I. Ul'trazvuk v farmacii [Ultrasound in Pharmacy] Moscow, Medicina, 1980. (in Russian)

13 Nikolaev S.V. Metod ul'trazvukovogo kontrolya processa propitki poristykh materialov gidrofobiziruyushchim rastvorom [The method of ultrasonic inspection of the process of impregnation of porous materials with a hydrophobizing solution] (in Russian)

14 Osnovy vzaimodejstviya ul'trazvuka s biologicheskimi ob'ektami [Fundamentals of interaction of ultrasound with biological objects] Moscow, Vysshaya shkola, 2006, 237 p. (in Russian)

15 Ostrikov A.N., Abramov O.V. Raschyot i konstruirovaniye mashin i apparatov pishchevyykh proizvodstv [Calculation and design of food machines and devices] Saint-Petersburg, GIOR, 2003. 352 p. (in Russian)

16 Rogov I.A., Gorbato A.V. Fizicheskie metody obrabotki pishchevyykh produktov [Physical methods of food processing] Moscow, Pishchevaya promyshlennost'. 1974. (in Russian)

17 Rusanova T.V., Dmitriev V.V., Machihin S.A. et al. Intensification of yeast fermentation in baking with ultrasound. *Hlebopek, i kondit. prom-st'* [Bakery and confectionery industry] 1974. no. 5. pp. 28. (in Russian)

18 [The test report № 6/177 from 11.05.2010. Research Institute of EC and GOS. A.N. Sysoy RAMS] Protokol ispytaniy № 6/177 ot 11.05.2010 g. NII EHCH i GOS im. A.N.Syina RAMN / Attestat akkreditatsii Departamenta gossanehpindadzora MZ RF GSEHN.RU.COА. 234 № ROSS RU.0001.511603 (in Russian)

19 Hmelev V.N., Shalunov A.V., Barsukov R.V., Cyganok S.N. et al. Research of the efficiency of ultrasonic drying. *Tekhnologicheskaya akustika* [Technological acoustics] 2009. no. 6. (in Russian)

СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ

Елена И. Верболюз д.т.н., зав. кафедрой, 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

Сергей А. Романчиков к.т.н., докторант, Военная академия материально-технического обеспечения, наб. Макарова д. 8, г. Санкт-Петербург, 199034, Россия, romanchkovspb@mail.ru

КРИТЕРИЙ АВТОРСТВА

Елена И. Верболюз предложила методику проведения эксперимента

Сергей А. Романчиков написал рукопись, корректировал её до подачи в редакцию и несёт ответственность за плагиат

КОНФЛИКТ ИНТЕРЕСОВ

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

ПОСТУПИЛА 13.09.2017

ПРИНЯТА В ПЕЧАТЬ 20.09.2017

20 Hmelev V.N. Ul'trazvukovyye mnogo-funktsional'nye i spetsializirovannyye apparaty dlya intensifikatsii tekhnologicheskikh processov v promyshlennosti [Ultrasonic multifunctional and specialized devices for the intensification of technological processes in industry] Barnaul, AltGTU, 2007. 416 p. (in Russian)

21 Cvetkov O.B. Termodinamika. Teploperedacha: Spravochnoe posobie [Thermodynamics. Heat transfer] Saint-Petersburg, SPbGUNIPT, 2008. 41 p. (in Russian)

22 Sherstyuk V.M. Belyaev V.M. Physical methods of processing fish. *Pishchevaya promyshlennost'*. [Food industry] 1971. 148 p. (in Russian)

23 Shestakov S.D. Upravlenie gidratsiej biopolimerov pishchevyykh sred [Management of hydration of food biopolymers] Moscow, KolosS, 2009. (in Russian)

24 Shestakov S.D., Krasulya O.N., Bogush V.I. et al. Tekhnologiya i oborudovanie dlya obrabotki pishchevyykh sred s ispol'zovaniem kavitatsionnoy dezintegratsii [Technology and equipment for processing food environments using cavitation disintegration] Saint-Petersburg, GIOR, 2013. 152 p. (in Russian)

25 Russkiy proekt [Russian project] Available at: http://www.rproject.ru/pdf/AngeloPo/Angelo_PO_Rus_2011_.pdf (in Russian)

INFORMATION ABOUT AUTHORS

Elena I. Verboloz doctor of technical sciences, head of department, Process and equipment in food production department, St. Petersburg national research university of information technologies, mechanics and optics, Kronverksky av., 49, St. Petersburg, 197101, Russia, elenaverboloz@mail.ru

Sergei A. Romanchikov candidate of chemical sciences, doctoral, department, Military academy of logistics, Makarova emb., 8, St. Petersburg, 199034, Russia, romanchkovspb@mail.ru

CONTRIBUTION

Elena I. Verboloz proposed a scheme of the experiment

Sergei A. Romanchikov wrote the manuscript, correct it before filing in editing and is responsible for plagiarism

CONFLICT OF INTEREST

The authors declare no conflict of interest.

RECEIVED 9.13.2017

ACCEPTED 9.20.2017