

УДК 66.083.2

## Совершенствование технологии и оборудования для интенсификации производства мучных кондитерских изделий

*Д-р техн. наук* **Е.И. Верболоз**, elenaverboloz@mail.ru  
*Канд. техн. наук* **В.Т. Антуфьев**, antufjew2010@yandex.ru  
**Р.Н. Савченко**, rn80@mail.ru

*Университет ИТМО*  
191002, Россия, Санкт-Петербург, ул. Ломоносова, 9

*Нами предложена и запатентована комплексная технология и оборудование для производства экологически чистых мучных кондитерских изделий в пароконвектоматах. Экспериментально подтверждено, что, несмотря на интенсифицированный ультразвук способ обработки тестовых заготовок, он оказался энергетически более выгоден. Трудозатраты снизились в 1,6 раза при высоком качестве изделий. Особо следует отметить увеличение органолептических показателей за счет повышения пористости и исключительно гладкой поверхности продукта, усиления аромата и вкуса выпечки. Все стадии непрерывной расстойки, выпечки и охлаждения кондитерских изделий осуществляются в одном аппарате без вмешательства оператора. Особенностью данной технологии является интенсификация всех процессов дозированным ультразвуком.*

*Ранее была описана конструкция опытно-промышленного теплового аппарата со встроенным ультразвуковым устройством на базе пароконвектомата Angelo Po (Италия). Пароконвектомат позволяет выполнять все операции от расстойки до охлаждения готовых изделий в автоматическом режиме по заранее заданной программе, то есть на нем имеется возможность программировать весь процесс производства баранок, печенья и др. изделий с дозированной обработкой ультразвуком. Особенностью технологии является снижение температурного режима на 30–40°C, что уменьшает образование канцерогенных веществ и повышает выход изделий.*

**Ключевые слова:** ультразвук, интенсификация производства, автоматизация, мучные кондитерские изделия, снижение энергозатрат.

---

## Improvement of technology and equipment for an intensification of production of flour confectionery

*D.Sc.* **E.I. Verbolo**, elenaverboloz@mail.ru  
*Ph.D.* **V.T. Antufyev**, antufjew2010@yandex.ru  
**R.N. Savchenko**, rn80@mail.ru

*ITMO University*  
191002, Russia, St. Petersburg, Lomonosov str., 9

*We proposed and patented by complex technology and equipment for production of ecologically pure pastry in Combi steamers. Experimentally confirmed that despite intensified ultrasound technique for handling dough, it turned out to be energetically more favorable. Labor costs fell at 1.6 times with high quality products. Of particular note is the increase in the organoleptic indicators by increasing porosity and exceptionally smooth surface of the product, strengthen the aroma and taste of baking. All stages of continuous fermentation, baking and cooling confectionery products are implemented in one device without operator intervention. The peculiarity of this technology is the intensification of all processes metered ultrasound.*

*The previously described construction of experimental-industrial heat apparatus with integrated ultrasonic device based on the steamer Angelo Po (Italy). Convection allows you to perform all operations from proofing to cooling the finished product in the automatic mode on the predetermined programme, i.e. it has the possibility to program the entire production process of bagels, biscuits, etc. products with dosage*

*ultrasonic processing. The peculiarity of the technology is to reduce the temperature to 30–40°C, that reduces the formation of carcinogenic substances and increases the output of products.*

**Keywords:** ultrasound, intensification of production, automation, pastry, reducing energy costs.

### **Введение**

На базе пароконвектомата Angelo Po (Италия) разработан опытно-промышленный тепловой аппарат для последовательной непрерывной расстойки, выпечки и охлаждения кондитерских изделий с интенсификацией всех процессов в поле ультразвука [1]. Данная технология, не применяемая ранее, позволяет ускорить процесс получения готовой продукции в одном аппарате примерно на 25–30% , снизить трудоемкость выработки изделий в 1,6 раза, существенно сократить площадь цехов. Для оптимизации производства кондитерских изделий необходимо научное и экономическое обоснование процессов обработки их в пароконвектомате.

В последние годы развитие новых технологий выпечки потребовало применения более совершенных тепловых аппаратов. Существует обширный ряд работ отечественных и зарубежных ученых Шестакова С.Д., Рогова И.А., Горбатова А.В., Заяс Ю.Ф., где изложены перспективы технологий производства пищевых продуктов с применением новых физических воздействий, в частности ультразвука [2–5].

Целью работы является исследование опытно-промышленного теплового аппарата на базе пароконвектомата Angelo Po для последовательной непрерывной расстойки (отлежки), выпечки и охлаждения кондитерских изделий с интенсификацией всех процессов в поле ультразвука.

Задачи исследования:

- систематизация знаний по использованию ультразвука для интенсификации технологических процессов в хлебопекарной и кондитерской промышленности;
- теоретические и экспериментальные исследования воздействия дозированного ультразвука на качественные показатели изделий;
- получение теоретических математических моделей и расчетных зависимостей процессов обработки кондитерских изделий в поле ультразвука.

### **Актуальность темы**

Актуальность темы «Интенсификация выработки кондитерских изделий в пароконвектомате с использованием ультразвука» состоит в том, что в настоящее время в нашей стране практически отсутствуют отечественные работы в этом направлении за исключением диссертации Ивановой М.А. [6]. Поэтому необходимость дальнейшей разработки и научного исследования влияния физических воздействий ультразвука – очевидно.

Несомненным достоинством и научной новизной работы может быть использование оригинальных подходов к достижению повышения качества изделий, снижение трудоемкости и себестоимости продукции. Автоматизация процессов и создание управляющей программы будет иметь практическую направленность.

Использование ультразвука во всех стадиях производства кондитерских изделий позволяет внедрить новую технологию и более эффективное оборудование, запатентованное кафедрой ТИиО НИУ ИТМО.

### **Объекты и методы**

Так, задача интенсификации процессов расстойки, выпечки и охлаждения нами решена с помощью установки в камере пароконвектомата излучателя ультразвука [7]. Значительные акустические течения, воздействуя на среду камеры, порождают специфические физические, химические, биологические и медицинские эффекты. Это кавитация, звукокапиллярный эффект,

равномерное распределение пор, разжижение поверхностной пленки теста, повышенная растворимость малорастворимых ингредиентов теста, эмульгирование, дегазация, обеззараживание, локальный нагрев и многие другие [8].

Исследования показывают, что даже при малой затрачиваемой мощности ( $0,1-0,2 \text{ Вт/см}^2$ ) частично разрушается пограничная пленка воздуха у поверхности кондитерских изделий, и соответственно, увеличивается коэффициент теплоотдачи примерно в два раза [6]. Малые возмущения от ультразвукового генератора в воздухе приводят к изменению турбулентности пограничного слоя и автоколебаниям поверхности изделий, т.е. к интенсификации теплообмена с воздухом камеры пароконвектомата. Соответственно, тесто при этом будет прогреваться быстрее и равномернее, даже при пониженной температуре в камере. Важную роль играет в создании структуры мякиша звукокапиллярный эффект, увеличивая массообмен с паровой средой аппарата. Микроколебания на глубину до нескольких сантиметров способствуют улучшению питания дрожжей и интенсивному проникновению тепла внутрь кондитерских изделий. Ранее в работе Ивановой М.А. экспериментально доказана достаточно высокая эффективность выпечки тестовых заготовок хлеба в поле ультразвука при мощности  $0,5 \text{ Вт/см}^2$  [6].

Теоретически, ультразвук позволяет интенсифицировать тепловые процессы в изделиях во время расстойки, выпечки и охлаждения. В этом и заключается суть новой технологии и использования пароконвектомата по новому назначению.

На кафедре ТМиО был закуплен пароконвектомат [13] и заказан оригинальный ультразвуковой генератор серии «Соловей» с охлаждающей рубашкой и программным обеспечением, излучатель которого был установлен в дверь пароконвектомата (рисунок 1).



**Рисунок 1 – Опытно-промышленная установка на базе пароконвектомата Angelo Po и ультразвукового генератора «Соловей» во время эксперимента**

Пароконвектомат позволяет выполнять все операции от расстойки до охлаждения готовых изделий в автоматическом режиме по заранее заданной программе, то есть на нем имеется возможность программировать весь процесс производства баранок, печенья и др. изделий с дозированной обработкой ультразвуком. Особенностью технологии является снижение температурного режима на 30–40<sup>0</sup>С, что уменьшает образование канцерогенных веществ и повышает выход изделий [9].

При охлаждении изделий до 40–50<sup>0</sup>С, пароконвектомат подаст сигнал о завершении процесса. Данная технология позволяет ускорить процесс от начала расстойки до конца охлаждения примерно на 25–30%. Это, во-первых, повышает производительность, во-вторых, снижает энергозатраты, в-третьих, повышает качество готового изделия, теперь уже мало зависящее от искусства оператора. Кондитерские изделия после расстойки с ультразвуком получаются более пористые, с исключительно блестящей поверхностью, равномерным цветом и имеют повышенные вкусовые качества. При воздействии ультразвуковых колебаний на суспензию, содержащую дрожжи, происходит стимулирование жизнедеятельности дрожжевых бактерий за счет механического разделения их скоплений с образованием отдельных жизнеспособных клеток, дающих начало новым колониям. Сонохимия как нельзя лучше отвечает современным тенденциям применения энергосберегающих технологий, рационального использования сырья и повышения безопасности пищевых продуктов. Сонохимическая обработка пищевых сред становится безальтернативным способом подготовки входящей в их состав воды к гидратации биополимеров пищевого сырья [10, 11].

А в процессах, где нагрев пищевой среды предусмотрен технологией, надтепловой механизм передачи энергии в сонохимических процессах делает их более чем на порядок экономичнее термических. Известно деполимеризирующее действие ультразвуковой кавитации, в том числе на полисахариды, приводящее к возникновению более простых сахаров (амилодекстринов, мальтозы). Вода под действием кавитации диссоциирует на ионы Н<sup>+</sup> и ОН<sup>-</sup> с последующим образованием Н<sub>3</sub>О<sup>-</sup>, Н<sub>2</sub>О<sub>2</sub> и О<sub>2</sub>, что способствует гидролизу сахаров крахмала и создает условия для активной жизнедеятельности дрожжей, в том числе по кислотности среды [11]. Кроме того, ультразвук деструктурирует воду, разрывая в ней водородные связи между молекулами, то есть, делает молекулы воды более активными при гидратации биополимеров муки.

Ранее было установлено, что хотя полностью деструктурировать воду до мономолекулярного состояния надтепловым воздействием практически невозможно, но из всех известных методов химии высоких энергий лишь сонохимический метод позволяет осуществлять деструкцию больших объемов воды почти изотермически и не требует для этого больших затрат энергии [4].

Таким образом, энергия акустической кавитации дробит зерна крахмала у мучной суспензии, осуществляет частичную изотермическую клейстеризацию крахмала, а также гидролизует амилозу и амилопектин крахмала с образованием растворимых сахаров [12]. А полученные при гидратации термопротекторные свойства приблизили осуществление мечты биотехнологов — сохранение полезных свойств сырья биологического происхождения после его термообработки.

Ультразвуковая обработка мучной суспензии дает еще один положительный эффект, заключающийся в повышении белизны теста, приготовленного с использованием этой суспензии [6]. Дело в том, что при постепенном разложении перекиси водорода, образующейся при ультразвуковой обработке, выделяется кислород, который, как известно, обладает отбеливающими свойствами, в том числе при взаимодействии с пигментами муки.

Таким образом, основными действующими факторами являются:

1. Уменьшение вязкости жидкости в тесте под действием ультразвука, способствующее ускоренному перемещению влаги по капиллярам из глубины теста на поверхность.

2. Колебания пузырьков газа, находящихся в приповерхностной жидкости тестовой заготовки, которые, выдавливают влагу из капилляров и быстрее образуют эластичную, очень тонкую пленку-корочку для удержания газов в заготовке.

3. Радиационное давление, направленное в капиллярах из жидкости в газ, которое перемещает столбик жидкости капилляра, перемещая его к поверхности.

Этот способ по скорости прогрева заготовки отличается от обычных методов на 30–40%, что существенно ускоряет расстойку, а затем и выпечку.

Ультразвук неслышим и не создает дискомфорта обслуживающему персоналу, исключительно просто изолируется от окружающей среды стенками аппарата.

### Заключение

Таким образом, указанная выше цель достигается тем, что в способе тепловой обработки изделий (расстойка, выпечка и охлаждение), предусматривается подвод (отвод) тепла к обрабатываемому изделию не только нагретым воздухом, но и интенсифицируется, согласно изобретению, скорость прогрева изделия за счет снижения термического сопротивления тепло- и массопереносу. Только благодаря использованию ультразвукового генератора с присущими ему и описанной выше совокупностью общих существенных признаков, обеспечивается выпечка качественной продукции. Таким изделиям присущи равномерная пористость теста с одновременным образованием тонкой корки с хорошим колерным цветом. Предполагаемая производительность пароконвектомата по изделиям существенно повысится.

### Литература

1. Ультразвук и его применение в технологических процессах мясной промышленности // Пищевая промышленность. 1970.
2. *Шестаков С.Д.* Управление гидратацией биополимеров пищевых сред // Теоретические основы пищевых технологий. М: КолосС, 2009.
3. *Бодрова О.Ю., Кречетникова А.Н.* Исследование влияния ультразвуковой обработки на спиртовые дрожжи *S. cerevisiae* // Тезисы докладов молодых ученых МГУПП. М, 2004. С. 158–160.
4. *Антуфьев В.Т., Иванова М.А.* Воздействие ультразвука на выпечку мелкоштучных хлебобулочных изделий // Журнал Хлебопродукты. 2011. №5. С. 50-51
5. *Антуфьев В.Т., Иванова М.А.* Способ и устройство для интенсификации выпечки хлебобулочных изделий: пат. 2496319 Российская Федерация. 2011.
6. *Антуфьев В.Т., Иванова М.А.* Устройство для производства хлебобулочных изделий в пароконвектомате: пат. 20151008384 Российская Федерация.
7. Основы взаимодействия ультразвука с биологическими объектами. М.: Высшая школа, 2006. 237с.
8. 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
9. *Рогов И.А., Шестаков С.Д.* Надтепловое изменение термодинамического равновесия воды и водных растворов: Заблуждения и реальность // Хранение и переработка сельхозсырья, 2004. № 4.
10. *Русанова Т.В., Дмитриев В.В., Мачихин С.А.* и др. Интенсификация процесса брожения дрожжей в хлебопечении с помощью ультразвука // Хлебопек и кондит. пром-сть, 1974. № 5. С. 28.
11. *Шестако С.Д.* Технология и оборудование для обработки пищевых сред с использованием кавитационной дезинтеграции / С.Д. Шестаков, О.Н. Красуля, В.И. Богуш [и др.]. СПб.: ГИОРД, 2013. 152 с.
12. Servizio Clienti ANGELO PO Spa 1 Инструкция ANGELO PO, Италия, 2011.

### References

1. Yu.F. Ul'trazvuk i ego primeneniye v tekhnologicheskikh protsessakh myasnoi promyshlennosti. Pishchevaya promyshlennost'. 1970.
2. Shestakov S. D. Upravleniye gidratatsiei biopolimerov pishchevykh sred. *Teoreticheskie osnovy pishchevykh tekhnologii*. Moscow, KolosS, 2009.
3. Bodrova O.Yu., Krechetnikova A.N. Issledovaniye vliyaniya ul'trazvukovoi obrabotki na spirtovye drozhzhi *S. cerevisiae*. *Tezisy dokladov molodykh uchennykh MGUPP*. Moscow, 2004, pp. 158–160.
4. Antuf'ev V.T., Ivanova M.A. Vozdeistviye ul'trazvuka na vypechku melkoshtuchnykh khlebobulochnykh izdelii. *Zhurnal Khleboprodukty*. 2011, no. 5, pp. 50–51.
5. Antuf'ev V.T., Ivanova M.A. *Sposob i ustroystvo dlya intensivatsii vypechki khlebobulochnykh izdelii*. Patent RF no. 2496319. 2011.
6. Antuf'ev V.T., Ivanova M.A. *Ustroystvo dlya proizvodstva khlebobulochnykh izdelii v parokonvektomate*. Patent RF no. 20151008384.
7. *Osnovy vzaimodeystviya ul'trazvuka s biologicheskimi ob"ektami*. M, Vysshaya shkola, 2006, 237 p.
8. Protokol ispytaniya № 6/177 ot 11.05.2010 g. NII ECh i GOS im. A.N. Sysina RAMN / Attestat akkreditatsii Departamenta gossanepidnadzora MZ RF GSEN.RU.TsOA.234 № ROSS RU.0001.511603
9. Rogov I. A., Shestakov S. D. Nadteplovoe izmeneniye termodinamicheskogo ravnovesiya vody i vodnykh rastvorov: Zabluzhdeniya i real'nost'. *Khraneniye i pererabotka sel'khozsyrya*. 2004, no. 4.
10. Rusanova T.V., Dmitriev V.V., Machikhin S.A. i dr. Intensi-fikatsiya protsessa brozheniya drozhzhei v khlebopechenii s pomoshch'yu ul'trazvuka. *Khlebopek i kondit. prom-st'*. 1974, no. 5, p. 28.
11. Shestakov S.D., Krasulya O.N., Bogush V.I. *Tekhnologiya i oborudovaniye dlya obrabotki pishchevykh sred s ispol'zovaniem kavitatsionnoi dezintegratsii*. St. Petersburg, GIORD, 2013, 152 p.
12. Servizio Clienti ANGELO PO Spa 1 Istruktsiya ANGELO PO, Italiya, 2011.

Статья поступила в редакцию 23.06.2015г.