

Применение ультразвука при сушке макаронных изделий с белковыми добавками

Елена И. Верболоз¹ elenaverboloz@mail.ru
Ольга И. Николук¹ nikicarrera78@gmail.com

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

Реферат. С целью научного и экономического обоснования процесса ускоренного производства макаронных изделий с повышенным содержанием животного белка и жизненно важных нутриентов для работников Заполярья, проведено исследование по модернизации технологического оборудования для их производства и разработан способ производства макаронных изделий повышенной пищевой ценности. В процессе исследования был выявлен ряд противоречий при реализации технологического процесса сушки высокобелковых макаронных изделий в известных конструкциях сушильных шкафов. Повышенное количество измельченного мяса и печени говядины (до 30%) в составе таких изделий, потребовало проведения сушки при высоких температурах в целях исключения повышения кислотности и микробиологической порчи, что неизбежно приводило к потере формы, прочности и растрескиванию. Нами разработано компактное техническое устройство на базе пароконвектомата Angelo Po со встроенным электронным ультразвуковым излучателем УЗАГС-0,3/22-О с интенсивностью около 140 дБ для ускоренной сушки макаронных изделий с высокобелковыми добавками. Предложенная технология позволяет ускорить процесс производства готовой продукции на 24–26%, при снижении энергетических затрат на 8–11%.

Ключевые слова: пароконвектомат, ультразвуковой излучатель, макароны с печенью, высокотемпературная сушка; интенсификация, повышение качества

The use of ultrasound in the process of drying pasta with protein supplements

Elena I. Verboloz¹ elenaverboloz@mail.ru
Olga I. Nikoluk¹ nikicarrera78@gmail.com

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

Summary. With the purpose of scientific and economic feasibility of the process of accelerated manufacturing of pasta with a high concentration of animal protein and vital nutrients for Arctic workers was conducted a study on the modernization of production equipment, and a method of the production of pasta with increased nutritional value was developed. During the study a number of inconsistencies in the implementation process of drying pasta in the prior art ovens was revealed. The increased amount of ground meat and beef liver (30%) in the composition of such products requires drying at elevated temperatures in order to eliminate acidity and microbial spoilage, which led to loss of shape, strength and cracking. We have developed a compact technical device based on Angelo Po combi steamer with integrated electronic ultrasonic transmitter UZAGS-0.3/22-D with an intensity of about 140 dB for accelerated drying of pasta with high-protein additives. The proposed technology allows to accelerate the production of finished products by 24–26%, while reducing energy consumption by 8–11%.

Keywords: combi steamer, ultrasonic emitter, pasta with liver, high-temperature drying, intensification, improvement of quality

Введение

Интенсивное освоение Крайнего Севера и островов Ледовитого океана предъявляет особые требования к организации питания полярников и обслуживающего персонала. В суровых климатических условиях возрастает потребность в разнообразии питания. Продукты питания должны быть с повышенным содержанием нутриентов и низкой приедаемостью. Макароны с говяжьей печенью и мясом телятины, отформованные и подвергнутые сушке в специально разработанном оборудовании, могут занять важное место в рационе жителей районов Крайнего Севера [1].

Для цитирования

Верболоз Е. И., Николук О. И. Применение ультразвука при сушке макаронных изделий с белковыми добавками // Вестник ВГУИТ. 2017. Т. 79. № 1. С. 50–54. doi:10.20914/2310-1202-2017-1-50-54

Нами проведены исследования с целью обосновать необходимость разработки макаронных изделий с повышенным содержанием витамина А и исследовать пути повышения эффективности процесса комбинированной сушки макаронных изделий с мясными добавками на оборудовании с ультразвуковыми устройствами.

В качестве объекта сушки были использованы отформованные в макаронном прессе макаронные изделия диаметром 6 мм с мелкоизмельченной говяжьей печенью [5, 6]. Изменение и отсчет подводимых характеристик ультразвука производилось на самом генераторе. Экспериментальные данные снимались в интервале

For citation

Verboloz E. I., Nikoluk O. I. The use of ultrasound in the process of drying pasta with protein supplements. *Vestnik VGUET* [Proceedings of VSUET]. 2017. Vol. 79. no. 1. pp. 50–54. (in Russian). doi:10.20914/2310-1202-2017-1-50-54

температур 95–60 °С и интенсивности ультразвука в сушильной камере от 100 до 140 дБ при скорости воздуха 1,0 м/с. Конечная влажность макаронных изделий для условий Севера должна быть не более 11% [2].

Особенностью производства макаронных изделий с белковыми добавками является необходимость проведения технологических операций на специальных макаронных прессах и сушилках, позволяющих получить прочные и качественные макаронные изделия с высоким содержанием витамина А [2]. В работах Г.А. Осиповой, Ю.Ф. Рослякова и других [3, 4] отмечено, что внесение тонкоизмельченного фарша мяса телятины допускается в количестве не более 6–7% и даже способствует некоторому укреплению реологических свойств макаронного теста, что связано, по мнению исследователей, с изменением структуры геля и полуфабриката. Большие по размерам частицы мясных продуктов как бы вмурованы в основную массу пшеничного теста и наблюдается процесс армирования структуры теста, но пористость его при прессовании в обычных прессах остается довольно высокой. Это сокращает сроки хранения продукта из-за хорошей доступности кислорода воздуха и паров влаги в межпоровый объем изделий. Кроме того, время сушки из-за повышенного количества животных белков, которые трудно отдают связанную воду, также увеличено.

В настоящее время успешно внедряются современные, инновационные методы прессования и сушки макаронных изделий в поле ультразвука [5, 6]. Изделия, прессованные под воздействием ультразвука, имеют удельную плотность на 10–15% выше и низкую пористость при пониженной активности бактериальной среды. Жидкость при прессовании в ультразвуке звукокапиллярным эффектом выдавливается на поверхность изделий, что ускоряет процесс сушки. В настоящее время в отечественной и зарубежной практике пищевой промышленности чаще применяют технологические процессы с использованием механических колебаний низкой частоты, которые получили определенное распространение при прессовании, сушке, дозировании и транспортировании муки в виброконвейерах, в вибрационном резании пищевых сред. Но эффекты действия ультразвуковых вибраций существенно отличаются от низкочастотных вибраций. Теоретические исследования показывают, что основными действующими факторами ускорения сушки, являются не только уменьшение вязкости жидкости под действием ультразвука, способствующее ускоренному перемещению влаги по капиллярам

из глубины тела на поверхность, но и колебания пузырьков газа, находящихся в макаронном тесте, которые выдавливают влагу из капилляров. Немаловажное значение придается исследователями и радиационному давлению, направленному в капиллярах в сторону воздушной среды, которое перемещает столбик жидкости в порах капилляров к поверхности макаронного изделия [9, 11].

Нами разработано автоматизированное техническое устройство на базе пароконвектомата Angelo Po со встроенным электронным ультразвуковым излучателем УЗАГС-0,3/22-О для интенсификации сушки макаронных изделий с высокобелковыми добавками в поле ультразвука [6]. Предложенная технология [7] позволяет ускорить процесс производства готовой продукции на 24–26%, при снижении энергетических затрат на 8–11%. При этом ультразвук снимает деформационные напряжения, исключает потерю формы без снижения прочности и растрескивания изделий. Выявлена особенность, что сушка при высокой температуре первые 2 минуты при 95 °С, а затем около 60 °С, практически исключает повышение кислотности и микробиологическую порчу мясосодержащего продукта, обеспечивая совместно со стерилизующим эффектом ультразвука низкую бактериальную обсемененность макаронных изделий с белковыми добавками перед упаковкой.

Проведенные теоретические и экспериментальные исследования по тепловой обработке макаронных изделий с высокобелковой добавкой в акустическом поле с инструментальным контролем процесса показали, что за счет акустических эффектов обеспечивается достаточно высокий коэффициент теплоотдачи, позволяющий снизить затраты электроэнергии на потери и сократить время сушки изделий. Из-за существенного снижения толщины пограничного слоя воздуха в поле ультразвука, происходит более быстрый прогрев поверхности макаронных изделий [8]. Предложенные нами способ и устройство [6], позволяют производить макаронные изделия с белковыми добавками повышенного качества, что заметно их отличает от обработанных традиционными способами.

Кроме того, существенно сокращается время производства готовой продукции за счет ультразвуковых эффектов [6]. Механизм влияния ультразвука при сушке макаронных изделий с белковыми добавками связан с появлением акустических завихряющих течений, обусловленных поглощением энергии в пограничном слое греющей среды у их поверхности, а также поглощением некоторой части энергии внутри

отформованных изделий. Снижение толщины этого слоя обычным аэродинамическим способом требует применения высоких скоростей воздуха, и как следствие, интенсивное подсушивание только поверхности даже при рекомендуемой влажности в шкафу [3, 8, 9]. 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, $\text{м}^2/\text{с}$; 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 [9].

Такое действие ультразвука на тепло-массообмен проявляется от некоторых пороговых значений интенсивности волны. Как показали проведенные эксперименты сушки макаронных изделий с белковыми добавками, уже в ультразвуке интенсивностью более 110 дБ в значительной степени разрушается пограничная пленка воздуха у изделия, играющая роль теплоизолятора, и соответственно, увеличивается коэффициент теплоотдачи в 1,6–2,1 раза. При этом экспериментально определено снижение времени сушки на 24–26%. Замеры интенсивности звука в объеме камеры показали, что за счет рассеяния и отражения ультразвуковых волн от изделий и стенок камеры происходит усреднение акустического поля с отклонением интенсивности не более 10–12%, что согласуется с обнаруженными источниками информации [7].

Особенностью ультразвука является способность его многократно отражаться от стен камеры и изделий, проникать во все неровности изделия, снижая термическое сопротивление тепло- и массопереносу. За счет периодического изменения местного давления внутренние структуры макаронного теста подвергаются автоколебаниям на всю глубину отформованных изделий, что способствует интенсивному проникновению тепла внутрь (звукокапиллярный эффект, локальный нагрев) [11]. Расчеты показывают, что при этом длиннопольмерные структуры макаронного теста получают ускорения до 3–4g, что также способствует снятию возникающих деформационных напряжений, исключаяющих растрескивание макаронных изделий.

Материалы и методы

Для проведения эксперимента был сформулирован принцип создания установок для тепловой ультразвуковой обработки пищевых продуктов с низким содержанием влаги, которую необходимо удалить до равновесного состояния. Ограниченный объем известных в литературе экспериментальных исследований по сушке в ультразвуке показывает отсутствие единого мнения об интенсивности ультразвукового воздействия в разные периоды сушки [3, 7, 9–12]. При этом обычно критическим звуковым давлением считают 130–140 дБ, когда происходят процессы кавитации, необходимые для возгонки жидкости и активного капиллярного эффекта, а также для срыва пограничной пленки у нагреваемого продукта.

Для осуществления процесса интенсивной комбинированной сушки была создана экспериментальная установка (рисунок 1), представляющая собой автоматизированную сушилку периодического действия, на базе пароконвектомата Angelo Po со встроенным электронным ультразвуковым излучателем УЗАГС-0,3/22-О.

На рисунке 2 показано, что обработка макаронных изделий производится на решетчатых поддонах живым сечением 50% в поле ультразвука от вибрирующего излучателя при температуре и влажности, задаваемых программируемым блоком управления [5].



Рисунок 1. Общий вид экспериментальной установки для ускоренной сушки макаронных изделий с белковыми добавками

Figure 1. General view of the experimental setup for the accelerated drying of pasta with protein supplements

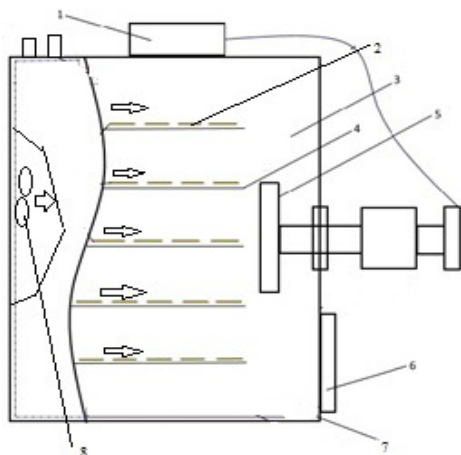


Рисунок 2. Схема экспериментальной установки для ускоренной сушки макаронных изделий с белковыми добавками: 1 – генератор ультразвука; 2 – материал для сушки; 3 – сушильная камера; 4 – сетчатые поддоны с материалом для сушки; 5 – ультразвуковой излучатель; 6 – программируемый блок управления; 7 – дверь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

Figure 2. 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 – the combi steamer door; 8 – fan with heating elements

Результаты и обсуждение

Для решения поставленных в работе задач, выполнены экспериментальные исследования зависимости изменения влагосодержания макаронных изделий при максимально допустимой интенсивности ультразвука 140 дБ, когда перекисные соединения в составе пищевого продукта не образуются. Такая мощность облучения недостаточна для деструкции белков, жиров, углеводов и других ингредиентов продукта, но достаточно эффективна для ускорения извлечения воды из межпорового объема влажных пищевых продуктов. В конструкции экспериментальной установки использована технология высокотемпературной сушки при воздействии ультразвуком постоянной интенсивности, когда первоначально нагрев сырых макаронных изделий с белковыми добавками осуществляется горячим потоком воздуха с высокой влажностью, а затем температура и влажность ступенчато снижаются. Ультразвуковая обработка выгодна тем, что его энергия в виде вибраций на всю глубину проникает в коллоидные вещества макаронного теста и снимает механические напряжения. Кроме того, ультразвук увеличивает интенсивность теплообмена за счет завихрений и создания в результате этого тончайшего слоя паровоздушной смеси на поверхности высушиваемого продукта, что резко снижает термическое сопротивление передаче теплоты от сушильного воздуха и способствует активной денатурации белков.

На основании статистической обработки экспериментальных данных, были получены математические зависимости параметров сушки.

Они показывают, что снижение влажности как в начальный период сушки (до 25 минут), так и во второй период сушки имеет большую скорость в присутствии ультразвука.

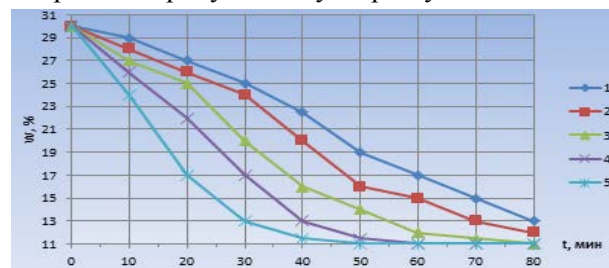


Рисунок 3. Кривые влажности макаронных изделий с мясными добавками от времени сушки при разных температурах и интенсивности ультразвука

Figure 3. Curves of moisture pasta with meat additives of drying time at different temperatures and ultrasound intense

Получены пять аппроксимационных зависимостей (рисунок 3), позволяющих определить влажность макаронных изделий в процессе сушки при постоянной скорости обдува 1 м/с.

1. Позволяющая определить влажность макаронных изделий от времени сушки при температуре 36 °С (без подогрева, тепло только от поглощения энергии ультразвука) при максимальной интенсивности 140 дБ (на графике кривая № 1)

$$W = 0,04t_{\text{эксп}}^2 - 1,86t_{\text{эксп}} + 32,52 \quad (2)$$

При этом повышается кислотность изделий до 6° и более, – что выше установленных норм (ГОСТ Р 52377-2005 «Изделия макаронные») и слишком велико время сушки.

2. При 60 °С без УЗВ (№ 2).

$$W = 0,06t_{\text{эксп}}^2 - 3,05t_{\text{эксп}} + 33,786 \quad (3)$$

3. Позволяющая определить влажность макаронных изделий от времени сушки при температуре 60° С (№ 3) при максимальной интенсивности 140 дБ.

$$W = 0,24t_{\text{эксп}}^2 - 4,99t_{\text{эксп}} + 35,81 \quad (4)$$

4. При 95 °С без УЗВ (№ 4)

$$W = 0,50t_{\text{эксп}}^2 - 7,65t_{\text{эксп}} + 39,72 \quad (5)$$

5. Сушка при ультразвуке интенсивностью (140 дБ) и комбинированном подводе тепла 2 минуты при $\phi = 95\%$ и температуре 90 °С, затем 60 °С при $\phi = 70\%$ – до влажности макаронных изделий 11% в конце сушки (кривая № 5).

$$W = 0,58t_{\text{эксп}}^2 - 7,90t_{\text{эксп}} + 36,79 \quad (6)$$

Выводы

Экспериментально определено сокращение времени производственного цикла сушки при одновременном повышении качества макаронных изделий с белковыми добавками (имеют низкие потери питательной ценности, не слипаются при варке, сохраняют правильную форму, имеют высокую прочность, существенно улучшены санитарно-гигиенические характеристики за счет пастеризации продукта и т. д.).

Наиболее рациональным способом сушки макаронных изделий с высокобелковыми добавками, является комбинированный энергоподвод при интенсивности ультразвука 140 дБ, который

ЛИТЕРАТУРА

- 1 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. МГУТУ им. К.Г. Разумовского Москва 2012.
- 2 ГОСТ 54656–2011 Изделия макаронные с обогащающими добавками 2012. М.: Стандартинформ, 6 с.
- 3 Романчиков С. А. Исследование структурно-механических свойств макаронных изделий повышенной пищевой ценности в поле ультразвука // Сборник научных статей Международной научно-практической конференции «Современные технологии продуктов питания». 2014. С. 180–183.
- 4 Пат. РФ № 2530999 Макароны пресс / Романчиков С. А., Антуфьев В. Т., Пахомов В. И., Кобыда Е. В. Оpubл. 20.10.2014. Бюл. № 29.
- 5 Пат. РФ № 2591458 Способ производства макаронных изделий / Романчиков С. А., Антуфьев В. Т. Оpubл. 20.07.2016. Бюл. № 20.
- 6 Хмелев В. Н., Голых Р. Н., Хмелев С. С., Шалун А. В. Режимы и условия эффективного ультразвукового воздействия на высоковязкие среды в технологических объемах Бийск: АГТУ, 2014. 6 с.
- 7 Хмелев В. Н., Галахов А. Н., Шалун А. В., Нестеров, Голых Р. Н. Контроль процесса ультразвуковой коагуляции дисперсных частиц нанометрового размера Бийск: АГТУ, 2014. 4 с.
- 8 Knorr D. Applications and potential of ultrasonics in food processing // Journal of Trends in Food Science & Technology. 2014. № 15. С. 261–266.
- 9 Казаков Ю. Р., Демченко В. А. Пути повышения точности работы дозаторов для сыпучих пищевых продуктов // Санкт-Петербург Процессы и аппараты пищевых производств. 2015. № 1. С. 161.
- 10 Akbari Mousavi, Feizi H., Madoliat R. Investigations on the effects of ultrasonic vibrations in the extrusion process // Journal of Materials Proc. Tech. -2014. – 137–139 p.

СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ

Елена И. Верболоз д. т. н., зав. кафедрой, 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
Ольга И. Николук 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, nikicarrera78@gmail.com.

КРИТЕРИЙ АВТОРСТВА

Елена И. Верболоз консультация в ходе исследования
Ольга И. Николук написала рукопись, корректировала её до подачи в редакцию и несёт ответственность за плагиат

КОНФЛИКТ ИНТЕРЕСОВ

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

ПОСТУПИЛА 18.11.2016

ПРИНЯТА В ПЕЧАТЬ 27.01.2017

позволяет интенсифицировать процесс высокотемпературной сушки на 24–26%, исключить микробиологическую порчу и дефекты изделий в виде трещин и потери формы.

REFERENCES

- 1 Mogil'nyi M.P. Teoreticheskie i prakticheskie aspekty sozdaniya innovatsionnykh tekhnolo-gii myasnykh produktov funktsional'nogo naznache-niya dlya obshche-stvennogo pitaniya. Thesis. Moscow. 2012 (in Russian)
- 2 GOST no. 54656–2011. Izdeliya makaronnye s obogashchayushchimi dobavkam [State standard no. 54656–2011. Macaroni products with enriching additives]. 2012. M.: Standartinform, pp. 6. (in Russian).
- 3 Romanchikov S. A. Study of structural-mechanical properties of macaroni products of high nutritional value in the ultrasound field. Sbornik nauchnykh statei Mezhdunarodnoi nauchno-prakticheskoi konferentsii «Sovremennye tekhnologii produktov pitaniya». 2014. pp. 180–183. (in Russian).
- 4 Romanchikov S.A., Antufev V.T., Pakhomov V.I., Kobya E. V. Makaronnyi press [Pasta press]. Patent RF, no. 2530999. Publ. 20.10.2014. (in Russian)
- 5 Romanchikov S. A., Antufev V. T. Sposob proizvodstva makaronnykh izdelii [Method of production of pasta]. Patent RF, no. 2591458. Publ. 20.07.2016. (in Russian)
- 6 Khmelev V. N., Golykh R. N., Khmelev S. S., Shalunov A. V. Rezhimy i usloviya effektivnogo ultrazvukovogo vozdeistviya na vysokovyazkie sredy v tekhnologicheskikh ob'emakh [Modes and conditions of efficient ultrasonic influence on high-viscosity medium in the process volume]. Biisk. AGTU 2014. 6 p. (in Russian).
- 7 Khmelev V. N., Galakhov A. N., Shalunov A. V., Nesterov, Golykh R. N. Kontrol' protsessu ultrazvukovoi koagulyatsii dispersnykh chastits nanometrovogo razmera [Control of the process of ultrasonic coagulation of dispersed nanoscale particles]. Biisk. AGTU 2014. 4 p. (in Russian).
- 8 Knorr D. Applications and potential of ultrasonics in food processing. Journal of Trends in Food Science & Technology. 2014. no. 15. pp. 261–266.
- 9 Kazakov Yu. R., Demchenko V. A. Ways to improve the accuracy of dispensers for bulk food products. Sankt-Peterburg Protsessy i apparaty pishchevykh proizvodstv [Saint Petersburg Processes and devices of food production]. 2015. no. 1. pp. 161. (in Russian).
- 10 Akbari M., Feizi H., Madoliat R. Investigations on the effects of ultrasonic vibrations in the extrusion process. Journal of Materials Proc. Tech. 2014. pp. 137–139

INFORMATION ABOUT AUTHORS

Elena I. Verboloz doctor of technical sciences, head of department, professor, production machines and equipment department, St. Petersburg National Research University of Information Technologies, Mechanics and Optics, Kronverksky av., 49, St. Petersburg, 197101, Russia, elenaverboloz@mail.ru
Olga I. Nikoluk graduate student, production machines and equipment department, St. Petersburg National Research University of Information Technologies, Mechanics and Optics, Kronverksky av., 49, St. Petersburg, 197101, Russia, nikicarrera78@gmail.com.

CONTRIBUTION

Elena I. Verboloz consultation during the study
Olga I. Nikoluk 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 11.18.2016

ACCEPTED 1.27.2017