

Разработка и создание ресурсо- и энергоэффективной технологии сушки структурированных рыбных изделий

Канд. техн. наук **В.А. Похольченко**, pokholchenkoVA@mstu.edu.ru

А.П. Смирнова, a.p.smirnova51@yandex.ru

Мурманский государственный технический университет

183010, Россия, Мурманск, ул. Спортивная, 13

Исследовали процессы конвективного обезвоживания формованных рыбных изделий из структурированного сырья с высоким, средним и низким содержанием влаги с целью разработки ресурсо- и энергоэффективных режимов и технологии изготовления рыбных снеков (чипсов). Кинетические зависимости изучались с учетом влияния каждого из определяющих параметров на характер процесса в отдельности. опыты группировали в серии, в каждой из них исследуемый параметр, влияющий на процесс, меняли в заданных пределах, остальные параметры поддерживали постоянными во времени. Исследовано влияние параметров, характеризующих видовой, размерно-массовый состав и режимные условия. Через заданные промежутки времени фиксировали влагопотери материала. Использована методика нахождения критических влажностей, включающая построение кривых сушки в полулогарифмических координатах. Установлено, что при сушке структурированных изделий из рыбных фаршей имеет место одна критическая точка, обусловленная соответствующей структурой тканей и водоудерживающей способностью рыбного измельченного сырья, как капиллярно-пористого коллоидного материала. Получено математическое выражение для нахождения критической влажности рыбного измельченного сырья при обезвоживании. Рекомендованы к внедрению режимы полугорячей сушки рыбного сырья различной жирности, обеспечивающие снижение затрат электроэнергии на процесс сравнительно с горячей сушкой. Предложен подход к дополнительному уменьшению энергозатрат на процесс включением в схему сушки теплового насоса. По результатам исследований разработана технология производства сушеных структурированных рыбных снеков (чипсов), включающая ресурсо- и энергоэффективные режимы обработки материала. Разработана нормативная документация на изготовление готовой продукции. Разработан опытно-промышленный образец теплонасосной установки для конвективной сушки. Предложена конструкция агрегата комплексной механической подготовки исходного сырья.

Ключевые слова: консервирование пищевых продуктов; технологии сушки; теплонасосная установка; ресурсо- и энергоэффективные режимы; структурированные продукты; рыбные снеки.

DOI: 10.17586/2310-1164-2020-10-3-36-45

Designing structured resource- and energy-efficient drying technology of fish products'

Ph. D. **Vyacheslav A. Pokholchenko**, pokholchenkoVA@mstu.edu.ru

Aleksandra P. Smirnova, a.p.smirnova51@yandex.ru

Murmansk State Technical University

9, Sportivnaya str., Murmansk, 183010, Russia

To develop resource and energy efficient modes and technologies for the fish snacks (chips) production, we studied the convective drying processes of fish structured raw materials with high, medium, and low moisture content. Kinetic dependences were studied taking into account the influence of every determining parameter on the process features separately. The experiments were grouped in a series, in each of which the studied parameter affecting the process changed within the specified limits, and the other parameters were kept constant over time. The influence of parameters characterizing the species, size-mass composition, and regime conditions was studied. The moisture losses from the material was registered at certain intervals. The method of determining critical humidity is used, which includes the construction of the drying curves in semi-logarithmic coordinates. It is discovered that there is one critical point when structured fish products drying, due to the corresponding structure of the tissues and the water-holding capacity of the fish minced raw materials, as a capillary-porous colloidal substance. A mathematical equation is obtained for finding the critical moisture content of minced fish raw materials during dehydration. It is recommended to use semi-hot drying modes for fish raw materials of various fat content, which reduce the cost of electricity for the process compared to hot drying. A solution is proposed for additional reduction of energy consumption for the technological process when the heat pump is included in the drying scheme. The research results allowed us to develop an innovative technology for dried structured fish snacks (chips) production, which includes resource – and energy-efficient modes of processing raw materials. We have developed regulatory

documentation for fish chips production. A heat pump prototype unit for convective drying has been developed. The design of equipment for complex mechanical processing of raw materials has been developed for the technological scheme.

Keywords: food preservation; drying technologies; heat pump installation; resource and energy efficient modes; structured products; fish snacks.

Введение

Разработке инновационных технологий высококачественных продуктов для здорового питания в настоящее время уделяется особое внимание. В условиях работы современному пищевому предприятию необходимо обеспечивать выпуск конкурентоспособной продукции с высокими потребительскими свойствами. Высокую популярность на российском рынке имеет снековая продукция, относящаяся к продукции закусочной, быстрого питания. При этом основная доля реализуемой снековой продукции не может быть отнесена к полезному и здоровому сбалансированному питанию, источнику полноценного белка.

Известны исследования, связанные с разработкой инновационной технологии рыбных чипсов из фарша прудовой рыбы с пищевыми добавками, играющими роль вкусовых и структурообразующих веществ. Разработки направлены на усиление продовольственной базы высококачественными продуктами питания относительно невысокой стоимости, в частности адаптированными для питания различных возрастных групп школьников, расширение ассортимента продукции с применением местного сырья и охраноспособных безотходных технологий. Рыбные чипсы содержат полноценные белковые вещества. Создание вкуса и аромата чипсов происходит при обработке сырья за счет изменений белковых, азотистых экстрактивных веществ, липидов. В технологии предусмотрено использование высокотемпературной тепловой обработки пищевого материала варкой острым паром и обжариванием во фритюре [1].

Известна инновационная технология структурированных рыборастворительных снеков функционального назначения на основе вторичного рыбного сырья и растительных компонентов из местных объектов, позволяющая восполнять дефицит белка недоиспользованными вторичными рыбными ресурсами, полезными для здоровья человека. Проблема дефицита белка, в том числе животного происхождения, а также расширения ассортимента рыбной продукции повышенной биологической ценности решается путем комбинирования съедобной части отходов от разделки лососевых рыб с топинамбуром, как источником углеводов, витаминов, макро- и микроэлементов. Готовая продукция обладает гастрономической привлекательностью и высокими пищевыми достоинствами. Процесс обезвоживания рыборастворительного сырья в технологической схеме ведется путем холодной сушки около [2].

В наших разработках особое внимание уделено созданию ресурсо- и энергоэффективной технологии пищевой продукции из натурального обезвоженного структурированного рыбного сырья в виде фасованных в индивидуальную упаковку порционных изделий (снеки, чипсы).

Консистенция снеков, приготовленных из порционированного натурального сырья, после сушки часто плотная, иногда жесткая для того, чтобы обеспечивать быстрое питание на ходу [3, 4]. Решением вопроса выпуска легко пережевываемой продукции выбрано изготовление снеков (чипсов) из измельченного структурированного рыбного сырья. Подход также способствует равномерному и быстрому распределению компонентов в объеме продукта, механизации механических процессов [5, 6].

Обезвоживание продукции проводилось в условиях конвективной полугорячей сушки в рекомендованных температурно-влажностных пределах в зависимости от начальной жирности рыбного сырья. Основной процесс тепловой обработки полугорячей сушкой обладает щадящим воздействием на пищевую и биологическую ценность продукции, в отличие от высокотемпературного обезвоживания, а также более высоким темпом обезвоживания по сравнению с холодной сушкой. Готовые рыбные чипсы могут быть реализованы, как полноценное и полезное быстрое питание с высокой биологической и пищевой ценностью. В технологической схеме для изготовления структурированной снековой продукции требуется минимум производственных площадей, так как нет необходимости компоновки отдельных помещений или рабочих мест для приготовления тузлука, масла, обжарки, охлаждения, утилизации отработанных компонентов и т.д., что позволяет снизить себестоимость продукции и повысить эффективность технологического оборудования в условиях конкурентоспособности современного рыбоперерабатывающего завода.

Целью работы является создание технологии производства высококачественной рыбной продукции на основе научно-обоснованных энергоэффективных режимов обезвоживания рыбного структурированного

сырья. Для ее достижения решались задачи, направленные на изучение закономерностей процесса сушки рыбных структурированных изделий из сырья различной влажности и жирности, изменяющего свои внутренние свойства под воздействием сушильного агента. Повышение эффективности проведения энергос затратного процесса обезвоживания достигается включением в схему щадящих режимов сушки, а также теплонасосной системы, работающей на местных источниках природного низкопотенциального тепла.

Объекты и методы исследования

Объектами исследования являются формованные рыбные изделия из структурированного сырья с высоким, средним и низким содержанием влаги, а также процессы его конвективного обезвоживания в технологической линии изготовления рыбных снеков (чипсов).

Исследования проводили в лабораторных и производственных условиях по следующей методике. Для отдельных рыбных структурированных заготовок определяли массу и удельную поверхность. Объекты размещали на носителях в экспериментальной установке для сушки пищевых материалов (рисунок 1).

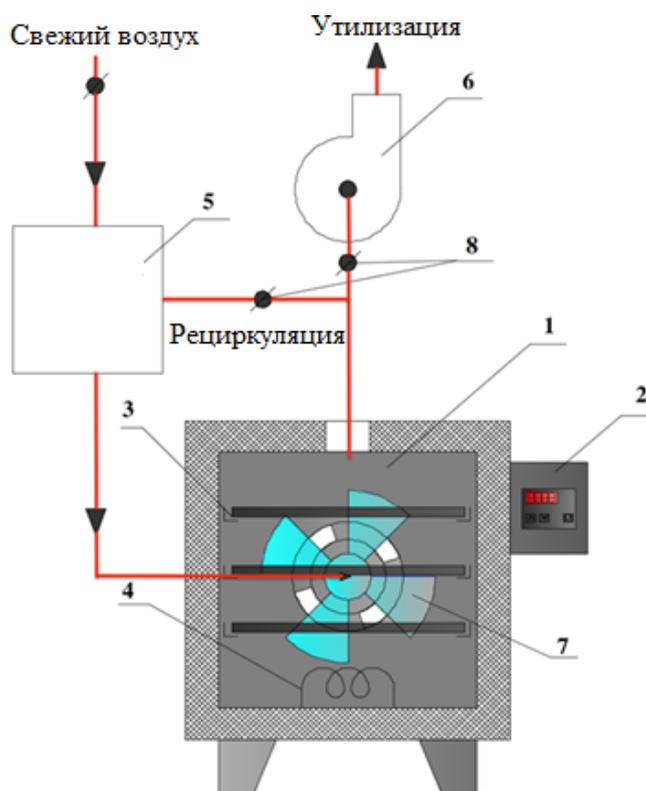


Рисунок 1 – Экспериментальная установка для сушки пищевых материалов

1 – камера сушки; 2 – контроллер; 3 – носители продукта; 4 – блок тэнов; 5 – камера смешения; 6 – вытяжной вентилятор; 7 – рециркуляционный вентилятор; 8 – газовые клапаны

Figure 1. Experimental unit for drying the food products

1 – drying chamber; 2 – controller; 3 – product trays; 4 – heating elements; 5 – mixing chamber; 6 – exhauster fan; 7 – recirculating fan; 8 – gas valves

Опыты группировали в серии. В каждой серии исследуемый параметр изменялся в заданных пределах. Остальные влияющие на процесс параметры сохраняли постоянными во времени. Через заданные временные интервалы определялись потери массы продукта.

$$\tau = f(\omega_0, S/m, t, \varphi, v),$$

где ω_0 – исходная влажность продукта, %;

S/m – удельная поверхность продукта, m^2/kg ;

t – температура теплоносителя, $^{\circ}C$;

φ – относительная влажность теплоносителя, %;

v – скорость движения теплоносителя, m/c [7].

Исходная влажность объектов обработки варьировалась в пределах 56–81% (скумбрия атлантическая, окунь морской, треска атлантическая), температура теплоносителя (воздуха) – 40–60°C, его относительная влажность – 35–44% и средняя скорость движения в камере – 3–5 м/с.

Режимные параметры – среднюю температуру (t) и среднюю относительную влажность в камере (φ) выражали через обобщенный показатель жесткости режима (X_p)

$$X_p = t(1 - 1/\varphi).$$

Кинетические зависимости использовали при разработке ресурсо- и энергоэффективных режимов полугорячей сушки структурированных рыбных изделий. Учитывалось влияние на характер протекания процесса каждого из параметров в отдельности.

Результаты и их обсуждение

Исследованы закономерности процесса обезвоживания структурированных рыбных изделий. В качестве примера приведены серии кривых кинетики сушки рыбного фаршевого сырья с высоким, низким и средним содержанием жира (рисунок 2).

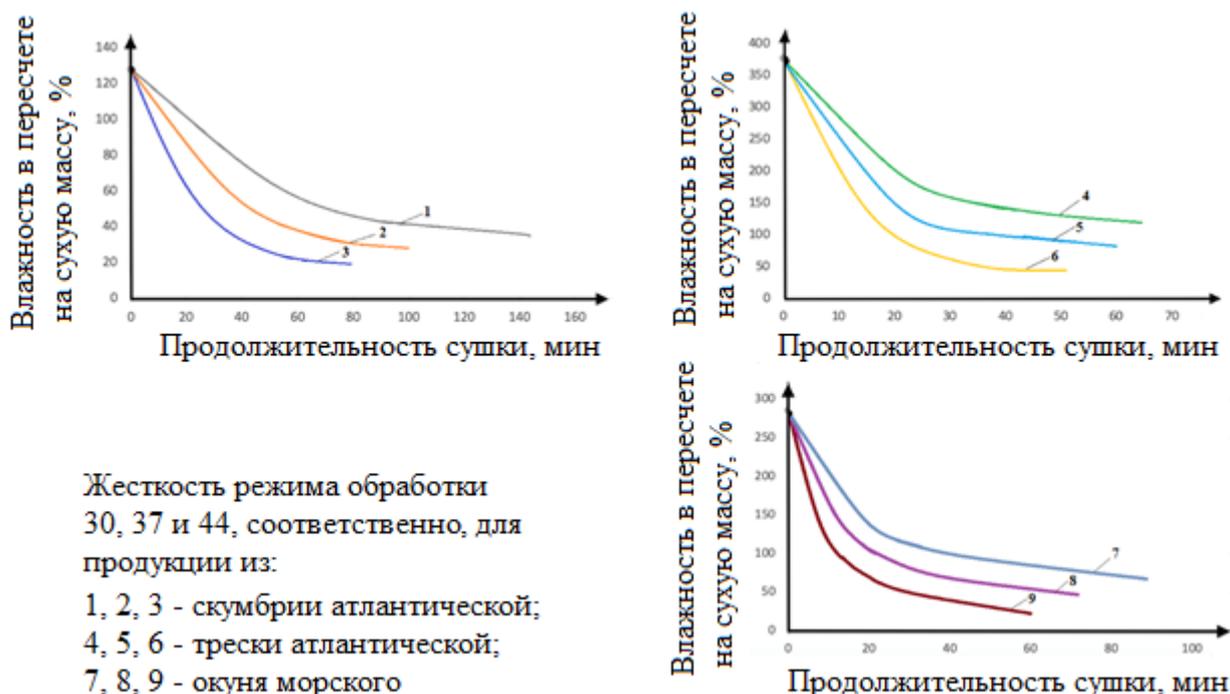


Рисунок 2 – Кривые сушки структурированных рыбных изделий
Figure 2. Drying curves of structured fish products

Кривые сушки, приведенные на рисунке 2, демонстрируют подобие протекания процессов тепловой обработки рыбного сырья разного химического и видового состава. Нами исследованы режимы полугорячей сушки материала, из которых необходимо было выбрать оптимальные для реализации в технологии рыбных чипсов. Такие режимы обладают щадящим воздействием по отношению к пищевой ценности готового продукта, а также значительно меньшим, до 25%, удельным расходом энергии по сравнению с режимами традиционной горячей сушки. Относительно процесса холодной сушки, продолжительность которого составляет от несколько часов и может достигать нескольких суток [8, 9], обезвоживание способом полугорячей сушки ведется не более 30–90 минут в зависимости от размерных и массовых характеристик материала и плотности загрузки установки [10].

При обезвоживании влажных материалов возникают одна и более критических точек, соответствующих последовательному переходу к влаге с более высокой энергией связи. На каждом таком этапе капилляры сжимаются, материал становится более плотным, его внутренняя структура и свойства меняются. Скорость обезвоживания падает. Критические точки при обезвоживании рыбы в основном зависят только от ее химического состава, в частности, начального влагосодержания [7].

При переводе кривых обезвоживания в полулогарифмические координаты $\lg \omega = f(\tau)$, представляющие собой ломаные линии из кривой и двух или реже трех прямых линий, можно определить критические влажности (рисунок 3).

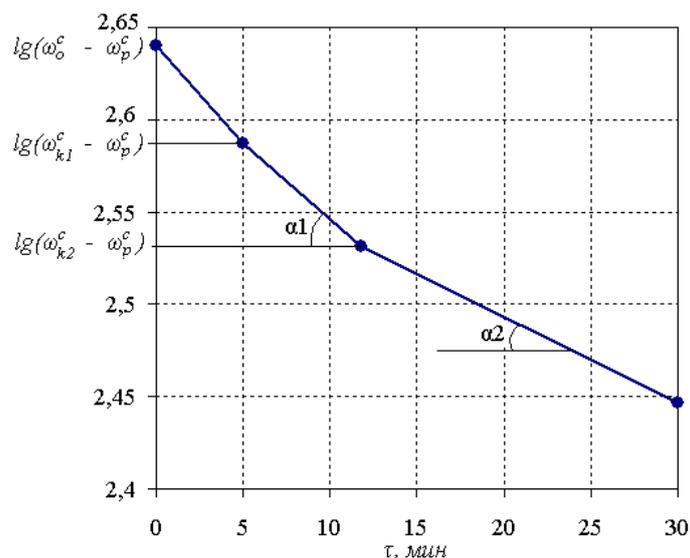


Рисунок 3 – Кривая сушки в полулогарифмических координатах
 Figure 3. Drying curve in semilogarithmic coordinates

На рисунке 3 показаны первый период обезвоживания – участок от $\lg(\omega_0 - \omega_p)$ до $\lg(\omega_{k1} - \omega_p)$ и второй период обезвоживания – участок $\lg(\omega_{k1} - \omega_{k2})$ до $\lg(\omega_{k2} - \omega_p)$ и ниже, состоящий из двух прямых линий.

Такая зависимость для обезвоживания рыбы в различных процессах (сушка, копчение, обжаривание) получена ранее академиком А.М. Ершовым и определяется следующими формулами [7]

$$\omega_{k1} = 1,069\omega_0^{0,969} ; \tag{1}$$

$$\omega_{k2} = 0,784\omega_0 + 2. \tag{2}$$

При сушке структурированных рыбных изделий с применением вышеуказанной методики нахождения критических влажностей нами была обнаружена только одна критическая точка. Данный факт связан с различием в структуре тканей рыбы и рыбных фаршей и, соответственно, разной водоудерживающей способностью капиллярно-пористых коллоидных материалов.

Математическая обработка зависимостей $\omega_k = f(\omega_{k0})$ проведена с использованием программы Datafit. Получено следующее уравнение для определения критической влажности рыбных фаршей при их обезвоживании

$$\omega_k = 8,104\omega_0^{0,48} . \tag{3}$$

Уравнения (1)–(3) показывают зависимость критических влажностей от начальной влажности материала.

Продолжительность достижения критической влажности в совокупности с последней являются координатой критической точки на кривой кинетики сушки [7, 11, 12]. Каждая критическая точка показывает влияние на интенсивность процесса режима тепловой обработки, удельной поверхности материала (степени измельчения, разделки), влагосодержания объекта и внутренних его свойств.

Обобщение процесса полугорячей сушки рыбных структурированных изделий проводили с применением симплексов вида

$$\frac{\omega}{\omega_{k1}} = \Psi\left(\frac{\tau}{\tau_k}\right).$$

Нами разработаны рациональные режимы производства рыбных структурированных изделий методом полугорячей сушки при поддержании требуемых значений жесткостей тепловой обработки в диапазоне $X_p = 30-44$ в зависимости от исходного влагосодержания и жирности сырья. По результатам апробации энергоэффективных режимов нами были изготовлены опытные партии рыбных чипсов (рисунок 4) на производственной площади с применением универсальной коптильно-сушильной установки [13]. При проектировании рекомендуемых к внедрению режимов учитывались результаты положительной оценки дегустационных комиссий.



Рисунок 4 – Готовая продукция чипсы рыбные «Заполярье»
 Figure 4. Finished fish product – Zapolyarye fish chips

Сушку рыбного сырья с низким содержанием жира для повышения эффективности тепло-массообменных процессов рекомендуется проводить при максимальных значениях указанного диапазона жесткости, а такового с высоким содержанием жира – при минимальных.

При несоблюдении рекомендованных режимов тепловой обработки появляются дефекты готовой продукции [10, 14]. Например, для жирного рыбного сырья, обработанного при жесткости выше рекомендованной, наблюдается пересушенная, спекшаяся поверхность. Обработка рыбных структурированных изделий в режимах ниже указанных пределов существенно замедляет диффузию влаги в тканях.

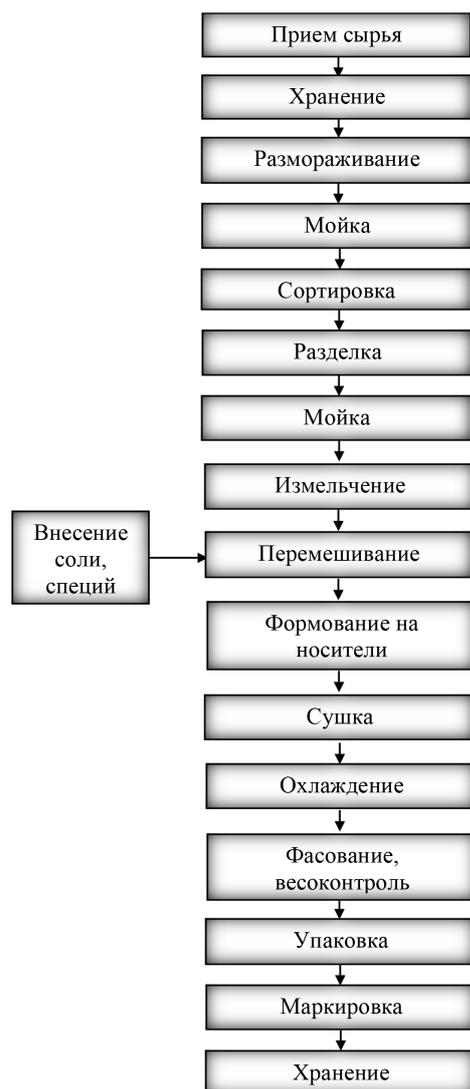


Рисунок 5 – Технологическая схема производства рыбных чипсов
 Figure 5. Technological scheme of fish chips' production

Разработаны нормативные документы на технологию производства чипсов рыбных «Заполярье» с применением ресурсо- и энергоэффективных режимов обезвоживания сырья. Технология рыбных чипсов (рисунок 5) апробирована и внедрена на производственном участке рыбоперерабатывающего предприятия ООО «ИНТРО» (Мурманск).

Исследователями процессов тепловой обработки влажных материалов отмечается, что более весомым в проведении процесса является снижение удельного расхода энергии [15–17]. Данный показатель наиболее важен в условиях конкурентоспособности, чем сокращение продолжительности обработки.

Результаты наших исследований процесса полугорячей сушки рыбных структурированных продуктов показали, что включение в схему теплового насоса дополнительно снижает энергопотребление. Географическое положение Кольского региона, где широко используются технологические процессы переработки водных биоресурсов, благоприятно для эффективного использования тепловых насосов. За счет поступления теплых атлантических вод в самый холодный период года температура воды Кольского залива не опускается ниже плюс 3°C. Летом поверхностный слой воды толщиной от 5 до 8 метров может прогреваться до плюс 12°C. Для модернизации сушильной установки нами был спроектирован и собран тепловой насос типа «вода–воздух» (рисунок 6).

Тепловой насос функционирует на спиральном холодильном компрессоре холодопроизводительностью 4,5 кВт. Температуры кипения 5°C, конденсации 50°C, перегрева 10°C и переохлаждения 0°C. Система работает на озонобезопасном хладагенте R407C. Проводится ее адаптация для работы в условиях, соответствующих использованию низкопотенциального тепла незамерзающего Кольского залива. Внедрение в технологические линии тепловых насосов необходимой мощности и оптимальных режимов сушки позволит существенно повысить энергоэффективность работы технологического оборудования береговых рыбоперерабатывающих предприятий.



Рисунок 6 – Тепловой насос для процесса конвективной сушки
 Figure 6. Heat pump for convective drying

Равномерное распределение компонентов в основном объеме продукта, как показал анализ конструкций имеющихся машин, требует относительно длительного перемешивания [5, 6]. Последнее способствует повышению температуры продукта, снижению качества (внешнего вида, консистенции). Кроме того, использование уже готовых измельченных компонентов, имеющих длительный срок хранения, вносит существенно меньше положительных органолептических эффектов, чем только что измельченные. Нами была решена задача снижения трудоемкости процесса механической обработки продукта и достижения однородного внесения натуральных сушеных растительных компонентов в рыбный фарш.

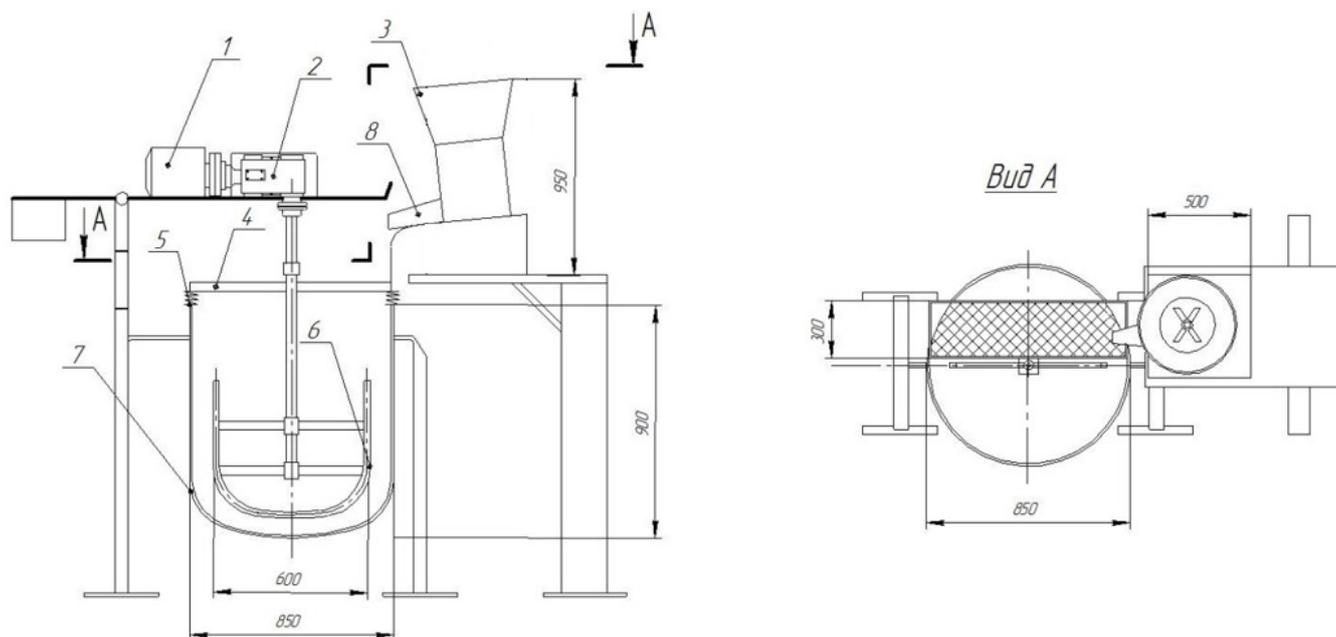


Рисунок 7 – Установка для комплексной обработки пищевых материалов

1 – двигатель; 2 – червячный редуктор; 3 – загрузочный бункер с измельчителем; 4 – вибросито; 5 – виброопоры; 6 – перемешиватель; 7 – бак с продуктом; 8 – лоток подающий

Figure 7. Unit for complex processing of food raw-materials

1 – engine; 2 – worm gear box; 3 – feeder with grinder; 4 – vibrosieve; 5 – vibratory bearings; 6 – agitator; 7 – product container; 8 – tray

Системный анализ конструктивных особенностей применяющегося оборудования для механических процессов измельчения и перемешивания способствовал разработке конструкции установки для комплексной обработки измельчением в порошок сухеных компонентов и однородного их распределения в массе рыбного фарша. Конструкция установки для комплексной механической обработки пищевых материалов приведена на рисунке 7.

В загрузочный бункер подается определенное количество сухеного компонента, где последний измельчается ножами в порошок, далее выходит на сито. Вибрация от измельчителя принимается виброситом на виброопорах. Дробленые компоненты поступают ровным слоем на поверхность фарша и однородно в нем распределяются перемешивающим устройством. По завершении механических процессов продукт выгружается из бака и направляется на следующие операции.

После эффективного проведения механического процесса происходит формирование рыбного фаршевого теста, загрузка носителей и сушка по приведенным выше энергоэффективным режимам. Далее по технологической схеме готовый продукт формуется, фасуется и отправляется потребителю. Таким образом получаем экологически безопасный натуральный рыбный продукт высокого качества.

Заключение

Рост стоимости энергетических ресурсов требует пересматривать традиционно применяемые устаревшие технологии с энергоемкими процессами. Их использование оказывается экономически нецелесообразным и технически затруднительным. В связи с этим, внедряемые новые технологические комплексы должны обеспечивать высокое качество и безопасность готового продукта при реализации ресурсо- и энергоэффективных процессов.

Предлагаемый подход состоит в оптимизации процесса по времени и затратам энергии на его осуществление. Проведены серии исследований по изучению закономерностей обезвоживания рыбных структурированных изделий. Изготовлены опытные партии продукции. Выявлены основные дефекты готовой продукции, образующиеся при отклонении от заданных режимных параметров. Определены рациональные режимы ведения технологического процесса тепловой обработки рыбного фаршевого сырья различной жирности. Рекомендованные мягкие режимы полугорячей сушки рыбного структурированного продукта из сырья различных видов обеспечивают снижение затрат электроэнергии на процесс до 25% по сравнению с традиционно применяемой горячей сушкой, а также позволяют дополнительно снижать расход энергии на процесс с помощью тепловых насосов до 50%.

Разработана технология производства сушеных структурированных рыбных снеков с применением ресурсо- и энергоэффективных режимов обезвоживания сырья. Подготовлены нормативно-технические документы для реализации производства рыбных чипсов «Заполярье» в промышленных условиях. Предложено машинно-аппаратурное обеспечение схемы производства сушеных структурированных изделий из рыбных фаршей со вкусом-ароматическими компонентами надежным ресурсо- и энергоэффективным оборудованием для тепло-массообменных и механических процессов. Разработана и изготовлена теплонасосная установка «вода–воздух» для использования в процессе конвективной сушки продуктов с адаптивной системой автоматизации управления технологическими параметрами. Разработана конструкция установки для комплексной механической обработки измельчением сушеных растительных компонентов и эффективного равномерного их перемешивания в объеме фарша.

Литература

1. Антипова Л.В., Калач Е.В., Горшков А.Г. Технология изготовления чипсов из прудовой рыбы // Вестник Воронежского гос. техн. ун-та. 2011. Т.7. №9. С. 142–144.
2. Потапова В.А., Мезенова О.Я. Биотехнология сушеных снеков повышенной биологической ценности на основе хребтов лососевых и топинамбура // Известия ТИНРО. 2014. Том 178. С. 246–252.
3. Калинина И.В., Руськина А.А. Современные подходы в технологии безопасной снековой продукции // Вестник ЮУрГУ. Серия «Пищевые и биотехнологии». 2014. Т. 2. № 3. С. 29–36.
4. Иванов И.В., Гуринович Г.В. Исследование вакуум-инфракрасной сушки чипсов из мяса птицы // Техника и технология пищевых производств. 2013. № 3. С. 22–26.
5. Николаев Б.Л., Денисенко А.Ф., Николаев Л.К. Конструктивные особенности емкостного оборудования при производстве вязких и маловязких пищевых продуктов // Процессы и аппараты пищевых производств. 2009. № 2.
6. Ананьев В.В., Пеленко В.В., Картузов Е.И. Оптимальное управление рабочими органами крыльчатого смесителя // Научный журнал НИУ ИТМО. Серия «Процессы и аппараты пищевых производств». 2014. № 3. С. 292–302.
7. Похольченко В.А., Ершов А.М., Ершов М.А. Кинетика процессов обезвоживания и нагрева рыбы при обжаривании, полугорячем и горячем копчении // Вестник Воронежского государственного университета инженерных технологий. 2014. № 1. С. 31–35.
8. Ozuna C., Cárcel J.A., Walde P.M., Garcia-Perez J.V. Low-temperature drying of salted cod (*Gadus morhua*) assisted by high power ultrasound: Kinetics and physical properties. *Innovative Food Science & Emerging Technologies*. 2014, V. 23, pp. 146–155.
9. Vega-Gálvez A., Miranda M., Clavería R., Quispe I., Vergara J., Uribe E., Paez H., Di Scala K. Effect of air temperature on drying kinetics and quality characteristics of osmo-treated jumbo squid (*Dosidicus gigas*). *LWT - Food Science and Technology*. 2011, V. 44, Is. 1, pp. 16–23.
10. Похольченко В.А., Ершов А.М. Предварительная тепловая обработка, как ресурсо- и энергоэффективный процесс при консервировании гидробионтов // Рыбное хозяйство. 2016. № 5. С.108–111.
11. Пеленко В.В., Дайнеко К.Э., Иваненко В.П. Учет сил поверхностного натяжения в математической модели теплопереноса при осушке поверхностной влаги сухофруктов // Процессы и аппараты пищевых производств. 2013. № 4. С. 23.
12. Martins M.G., Martins D.E.G, Pena R.S. Drying kinetics and hygroscopic behavior of pirarucu (*Arapaima gigas*) fillet with different salt contents. *LWT - Food Science and Technology*. 2015, V.62, pp. 144–151.
13. Ершов А.М., Ершов М.А., Похольченко В.А. Универсальная коптильно-сушильная установка: пат. 111985 У1 Российская Федерация. 2012. Бюл. № 1. 13 с.
14. Ortiz J., Lemus-Mondaca R., Vega-Gálvez A., Ah-Hen K., Puente-Diaz L., Zura-Bravo L. Influence of air-drying temperature on drying kinetics, colour, firmness and biochemical characteristics of Atlantic salmon (*Salmo salar* L.) fillets. *Food Chemistry*. 2013, V. 139, pp. 162–169.
15. Коновалов В.И., Романова Е.В., Гапанова Н.Ц. Сушка с тепловыми насосами в химической промышленности: возможности и экспериментальная техника // Вестник Тамбовского гос. техн. ун-та. 2011. Т. 17. № 1. С. 153–178.
16. Bantle M., Eikevik T.M. A study of the energy efficiency of convective drying systems assisted by ultrasound in the production of clipfish. *Journal of Cleaner Production*. 2014, V. 65, pp. 217–223.
17. Anikina I., Sergeev V. Use of heat pumps in turbogenerator hydrogen cooling systems at thermal power plant. *International Journal of Hydrogen Energy*. 2017. V. 42, Is. 1, pp. 636–642.

References

1. Antipova L.V., Kalach E.V., Gorshkov A.G. Technology for manufacturing chips, pond fish. *Herald Voronezh State Technical University*. 2011. V. 7, no. 9, pp. 142–144 (*In Russian*).
2. Potapova V.A., Mezenova O.Ya. Biotechnology of dried snacks with heightened nutritional value made from salmon backbones and jerusalem artichoke. *Izvestiya TINRO*. 2014, V. 178, pp. 246–252 (*In Russian*).

3. Kalinina I.V., Ruskina A.A. Modern approaches to the technology of safe snack products. *Bulletin of South Ural State University, Series "Food and Biotechnology"*. 2014, V. 2, no. 3, pp. 29–36 (In Russian).
4. Ivanov I.V., Gurinovich G.V. Research of vacuum-infrared drying of chips from poultry meat. *Food Processing: Technique and Technology*. 2013, no. 3, pp. 22–26 (In Russian).
5. Nikolaev B.L., Denisenko A.F., Nikolaev L.K. Design features of capacitive equipment in the production of viscous and low-viscosity food products. *Processes and Food Production Equipment*. 2009, no. 2. (In Russian).
6. Ananyev V.V., Pelenko V.V., Kartuzov E.I. Optimal control of the working bodies of the wing mixer. *Processes and Food Production Equipment*. 2014, no. 3, pp. 292–302 (In Russian).
7. Pokholchenko V.A., Ershov A.M., Ershov M.A. Kinetics of dehydration and heating of fish during roasting, semi-hot and hot Smoking. *Proceedings of the Voronezh State University of Engineering Technologies*. 2014, no. 1, pp. 31–35 (In Russian).
8. Ozuna C., Cárcel J.A., Walde P.M., Garcia-Perez J.V. Low-temperature drying of salted cod (*Gadus morhua*) assisted by high power ultrasound: Kinetics and physical properties. *Innovative Food Science & Emerging Technologies*. 2014, V. 23, pp. 146–155.
9. Vega-Gálvez A., Miranda M., Clavería R., Quispe I., Vergara J., Uribe E., Paez H., Di Scala K. Effect of air temperature on drying kinetics and quality characteristics of osmo-treated jumbo squid (*Dosidicus gigas*). *LWT - Food Science and Technology*. 2011, V. 44, Is. 1, pp. 16–23.
10. Pokholchenko V.A., Ershov A.M. Preliminary heat treatment as a resource-and energy-efficient process for preserving hydrobionts. *Fisheries*. 2016, no. 5, pp. 108–111 (In Russian).
11. Pelenko V.V., Daineko K.E., Ivanenko V.P. Accounting for surface tension forces in a mathematical model of heat and mass transfer during drying of surface moisture of dried fruits. *Processes and Food Production Equipment*. 2013, no. 4, P. 23. (In Russian).
12. Martins M.G., Martins D.E.G, Pena R.S. Drying kinetics, and hygroscopic behavior of pirarucu (*Arapaima gigas*) fillet with different salt contents. *LWT - Food Science and Technology*. 2015, V.62, pp. 144–151.
13. Ershov A.M., Ershov M.A., Pohlchenko V.A. Universal smoking and drying unit. *Patent RF*. no. 111985 U1. 2012.
14. Ortiz J., Lemus-Mondaca R., Vega-Gálvez A., Ah-Hen K., Puente-Díaz L., Zura-Bravo L. Influence of air-drying temperature on drying kinetics, colour, firmness and biochemical characteristics of Atlantic salmon (*Salmo salar* L.) fillets. *Food Chemistry*. 2013, V. 139, pp. 162–169.
15. Konovalov V.I., Romanova E.V., Gatapova N.Ts. Drying with heat pumps in the chemical industry: opportunities and experimental equipment. *Transaction of the Tambov State Technical University*. 2011. V. 17, no. 1, pp. 153–178 (In Russian).
16. Bantle M., Eikevik T.M. A study of the energy efficiency of convective drying systems assisted by ultrasound in the production of clipfish. *Journal of Cleaner Production*. 2014, V. 65, pp. 217–223.
17. Anikina I., Sergeev V. Use of heat pumps in turbogenerator hydrogen cooling systems at thermal power plant. *International Journal of Hydrogen Energy*. 2017. V. 42, Is. 1, pp. 636–642.

Статья поступила в редакцию 25.08.2020