
ТЕХНОЛОГИЯ И УПРАВЛЕНИЕ КАЧЕСТВОМ ПИЩЕВЫХ ПРОДУКТОВ

УДК 534.222

С.А. Бахарев¹, А.В. Карасев², В.В. Карасев²

¹ЦНИИ «Курс», 105187, г. Москва, Кирпичная ул., 34а

²Дальневосточный государственный технических рыбохозяйственный университет,
690087, г. Владивосток, ул. Луговая, 52б

К ВОПРОСУ СУШКИ РЫБЫ В АКУСТИЧЕСКИХ ПОЛЯХ

Обсуждается проблема удаления влаги из рыбы в естественных условиях (под навесом) и в конвективно-тепловых сушильных камерах (КТСК). Показано, что процесс естественной сушки протекает с большими временными затратами, а процесс тепловой сушки в КТСК идет неравномерно и сопровождается значительным расходом тепловой энергии. Кроме того, в последнем случае теряется часть полезных компонентов, и ухудшаются вкусовые качества продукта.

Предлагается для интенсификации процесса удаления влаги из рыбы в естественных условиях при полном сохранении ее вкусовых качеств, а также для обеспечения равномерности удаления влаги при существенном сокращении расхода тепловой энергии в низкотемпературных акустических сушильных камерах (НАСК) использовать акустические волны различной интенсивности.

Предлагается также дополнительно использовать низкочастотные электромагнитные волны для обеззараживания рыбы, а акустические волны специальной формы – для противодействия насекомым и грызунам.

Приводятся результаты удаления влаги из рыбы, полученные в процессе промышленных испытаний разработанного метода в Республике Корея (2006–2008 гг.) и Вьетнаме (в 2009–2013 гг.).

Ключевые слова: рыба, продукция из рыбы, сушка, конвективно-тепловая сушка, акустика, нелинейная акустика, акустические волны, электромагнитные волны, акустическая сушильная камера.

S.A. Baharev, A.V. Karasev, V.V. Karasev

TO A QUESTION OF DRYING OF FISH IN ACOUSTIC FIELDS

It is discussed problems of removal of moisture from fish under natural conditions (under a canopy) and in the convective and thermal drying cameras (CTDC). It is shown that process of natural drying proceeds big time expenditure, and process of thermal drying goes to KTSK unevenly and is followed by a considerable expense of thermal energy. Besides, in the latter case, the part of useful components is lost and product tastes worsen.

It is offered, for an intensification of process of removal of moisture of fish under natural conditions at full preservation of her tastes, and also for ensuring uniformity of removal of moisture at essential reduction of an expense of thermal energy in the low-temperature acoustic drying cameras (LTADC) to use acoustic waves of various intensity.

It is offered to use also in addition low-frequency electromagnetic waves for disinfecting of fish, and acoustic waves of a special form – for counteraction to insects and rodents.

The results of removal of moisture from fish received in the course of industrial tests of the developed method in the Republic of Korea (2006-2008) and Vietnam are given (in 2009–2013).

Key words: fish, production from fish, drying, convective and thermal drying, acoustics, nonlinear acoustics, acoustic waves, electromagnetic waves, the acoustic drying camera.

Еще с древних времен известны способы удаления влаги (сушки) из сырья (например, тушек рыбы, мяса животных и др.) в естественных условиях, когда практически полностью сохраняются все ценные компоненты (белок, витамины и др.) в них и вкусовые качества готового продукта. Однако при этом продолжительность процесса сушки продуктов иногда занимает от нескольких месяцев (например, вяление рыбы) до двух лет (например, вяление мяса) и т.д. [1–3, 7–9].

Современный человек, в интересах получения сверхприбыли за счет существенного сокращения продолжительности технологического процесса удаления влаги, использует в качестве сушильного агента нагретый (до 60 °С и более) воздух (пар и т.д.). При этом совершенно не принимает во внимание существенное ухудшение качества (например, за счет разрушения белка) получаемого продукта. Кроме того, из-за неравномерности тепловой сушки одна часть продукта пересушивается (например, поверхность и хвостовая часть рыбы), а другая – не досушивается (например, толстые слои мяса и головная часть рыбы).

Для примера на рис. 1 (фото) иллюстрируется процесс сушки (вяления) рыбы в естественных условиях (рис. 1, а) и в конвективно-тепловой сушильной (КТСК) камере (рис. 1, б), поставляемой в Россию и в другие страны, на базовом (при проведении тестирования разработанной технологии акустической сушки) предприятии во Вьетнаме, находящимся в провинции Борея-Вунгтау.



Рис. 1. Существующие способы удаления влаги из рыбы:

а – сушка рыбы в естественных условиях; б – сушка рыбы в конвективно-тепловой камере

Fig. 1. Existing methods of moisture removal fish:

а – drying fish in natural conditions; б – drying fish in convective-heat chamber

С другой стороны, в ряде случаев (например, сезон дождей в странах Юго-Восточной Азии и т.д.) сушка продуктов в естественных условиях просто невозможна. При этом также не следует забывать тот факт, что в процессе удаления влаги в естественных условиях (например, под навесом) не обеспечивается сохранность полуфабриката от насекомых (например, мух и т.д.) и грызунов (например, мышей и др.).

Тем не менее даже при этих противоречивых требованиях оказалось возможным найти альтернативу энергозатратному и недостаточно качественному (в первую очередь, из-за частичного разрушения белка и неравномерности сушки) конвективно-тепловому способу удаления влаги.

В работах [3, 5, 6] разработана методология удаления влаги из продуктов (рыбы, мяса и др.) в акустических полях при относительно низких (менее 35 °С) температурах сушильного агента. При этом оказались возможными четыре варианта технологического процесса удаления влаги:

- удаление свободной (находящейся в тканях) и связанной (находящейся в клетке) влаги из сырья (полуфабриката) в естественных условиях (под навесом) до конечной влажности продукта (например, до влажности 10–15 %);

- удаление свободной влаги из сырья в естественных условиях до «транспортной» (например, 20–25 %) влажности продукта с последующим удалением связанной влаги в КТСК или в низкотемпературной акустической сушильной камере (НАСК);

- ускоренное удаление свободной влаги из сырья в НАСК до «транспортной» влажности продукта с последующим удалением связанной влаги в КТСК;

- ускоренное удаление свободной влаги и связанной влаги из сырья в НАСК.

В процессе низкотемпературного удаления влаги в акустических волнах различной интенсивности имеет место целый спектр гидродинамических, механических и тепловых явлений. В частности [2–6]:

1. Гидродинамические явления в процессе акустического удаления влаги:

- разрушение и/или снижение толщины приповерхностного диффузного слоя (ППДС);

- перепады давления над поверхностью;

- акустические потоки вдоль поверхности;

- акустические завихрения вблизи препятствия (вблизи неровностей на поверхности);

- пульсации пара в освобожденных от влаги капиллярах и т.д.

2. Механические явления в процессе акустического удаления влаги:

- снижение вязкости жидкости;

- выдавливание влаги из капилляров;

- образование и схлопывание газовых пузырьков в капиллярах;

- распыление влаги в капиллярах и т.д.

3. Тепловые явления в процессе акустического удаления влаги:

- интенсификация движения молекул влаги;

- нагрев тканей на молекулярном уровне и т.д.

При этом для реализации линейных акустических механизмов удаления влаги требуется излучать акустические волны с амплитудой звукового давления выше 135 дБ относительно порогового уровня на расстоянии 1 м от излучателя, а при реализации нелинейных акустических механизмов – выше 175 дБ.

В общем случае вяление рыбы – это медленное обезвоживание соленой рыбы в естественных или искусственных условиях при температуре воздуха ниже точки начала свертывания белка – не выше 35 °С [1, 7–9]. При вялении рыбы происходят сложные биохимические процессы, связанные с обезвоживанием и уплотнением продукта, изменением белков и жира под влиянием температуры, света и воздуха, а также с перераспределением жира в тканях. Мясо рыбы теряет сырой вкус (т.е. созревает), приобретая специфический вкус и аромат, становится пригодной для использования в пищу без дополнительной кулинарной обработки.

Созревание вяленой рыбы связано с воздействием на белки и жиры мяса рыбы клеточных и тканевых ферментов. Жир освобождается из клеток, пропитывает всю мышечную ткань рыбы, в результате чего она приобретает янтарный цвет и особые вкусовые качества. Для хорошего созревания рыбы необходимы дневной свет, умеренная положительная температура воздуха. При этом важно вовремя прекратить процесс, так как даже небольшая передержка существенно ухудшает качество получаемого продукта.

Обычно в промышленном рыболовстве используются жирные и полужирные рыбы: корюшка, мойва, сельдь, камбала, минтай, голец и др. Сырье поставляют в свежем, охлажденном, мороженом или соленом виде. При этом готовую продукцию выпускают в виде: неразделанной, потрошеной с головой или без головы рыбы, а также в виде спинки – балыка, боковины и др.

Разновидностью вяленой продукции является провесная рыба, которую изготавливают из жирного (не менее 12 % от массы тела) сырья путем непродолжительного провяливания

до содержания влаги в готовом продукте 55–60 %. Такая рыба имеет нежную консистенцию, невысокое содержание соли и относится к деликатесной продукции [1, 7–9].

Сушка рыбы (холодная или горячая) также (как и вяление) не рассматривается только как механическое удаление влаги из рыбы.

В общем случае продолжительность сушки зависит [1–9]:

- от температуры сушильного агента (прямо пропорционально). Однако чрезмерное увеличение температуры может вызвать нежелательные изменения в продукте, связанные с денатурацией белков и окислением жира. Поэтому тощую рыбу сушат при более высокой температуре, чем жирную. Крупная рыба, разделанная на тушку или на балык, не выдерживает повышенной температуры сушки и скисает. Это вызвано длительным нахождением внутренних, медленно высыхающих слоев мяса в нагретом состоянии, что способствует повышению активности ферментов мышечной ткани рыбы и развитию микробиальной порчи;

- относительной влажности воздуха (наиболее целесообразно 40...60 % в зависимости от сырья). Установлено, что при относительной влажности более 65 % сушка рыбы резко замедляется, а при 80 % начинается обратный процесс;

- скорости движения воздуха (интенсивности испарения воды с поверхности рыбы не была слишком высокой). В противном случае поверхность очень быстро высыхает, а образующаяся корочка замедляет (а иногда и приостанавливает) процесс сушки. При слишком малой скорости процесс протекает очень медленно, что приводит к порче продукта – он покрывается плесенью и слизью;

- характеристик (размеры, жирность и др.) и химического состава сырья;

- способа разделки сырья и т.д.

Обычно в промышленном рыболовстве в качестве сырья используют рыбу: треску, минтай, лосось, сельдь, камбалу, корюшку и др., а также морепродукты: кальмар, гребешок, морскую капусту и др.

Возвращаясь к процессу сушки (холодной или горячей), следует отметить, что над поверхностью высушиваемого субстрата (сырца, полуфабриката и т.д.) всегда присутствует приповерхностный диффузный слой (ППДС), который существенно препятствует удалению влаги (массопереносу) с поверхности. Поэтому одна из основных задач – ликвидация или уменьшение толщины ППДС.

Для примера на рис. 2 представлен внешний вид (рис. 2, *a* – спереди, рис. 2, *б* – сбоку) тушки рыбы в процессе типовой конвективно-тепловой сушки.

Как видно из рис. 2, над всей высушиваемой поверхностью полуфабриката (тушки рыбы) присутствует ППДС (пунктирная линия). При этом внутри тушки рыбы: температура – минимальная T_{\min} , а влажность – максимальная W_{\max} , в то время как на поверхности тушки рыбы: температура – максимальная T_{\max} , а влажность – минимальная W_{\min} . Благодаря подводимому теплу интенсифицируется колебательное движение молекул влаги, и она (влажность) по кратчайшему расстоянию выходит на поверхность. Однако наличие больших градиентов температуры и влажности является причиной деформации тканей рыбы в процессе ее конвективно-тепловой сушки.

На рис. 3 иллюстрируются, в виде линий, изменения влажности W внутри (индекс 1) и на поверхности (индекс 2) тушки рыбы в процесс высокотемпературной (температура сушильного агента выше 35 °С) тепловой сушки (рис. 3, *a*) и низкотемпературной (температура сушильного агента ниже 35 °С) акустической сушки (рис. 3, *б*).

Как видно из рис. 3, в процессе высокотемпературной сушки (рис. 3, *a*) влажность внутри и на поверхности тушки рыбы уменьшается по линейному закону, но с разной скоростью, в то время как в процессе низкотемпературной акустической сушки (рис. 3, *б*) процессы удаления влаги подчиняются другим закономерностям. В частности:

- в начальный период сушки за счет выдавливания свободной влаги (под действием, в первую очередь, постоянной составляющей акустического поля) из центра тушки рыбы на

периферию влажность на поверхности даже увеличивается. При этом влажность внутри тушки уменьшается более интенсивно по сравнению с высокотемпературной сушкой;

- в процессе сушки градиенты температуры и влажности гораздо ниже, чем при высокотемпературной сушке;

- на завершающем этапе удаление влаги изнутри и снаружи идет более плавно по сравнению с высокотемпературной сушкой.

Для примера на рис. 4 (фото) иллюстрируется внешний вид тушек рыб до начала (рис. 4, а) удаления влаги (начальная влажность 87 %) и в процессе (через 18 ч) удаления влаги (рис. 4, б) конвективно-тепловым способом (три ближние тушки рыб на рис. 4, б) и акустическим способом (четыре дальние тушки рыб на рис. 4, б).

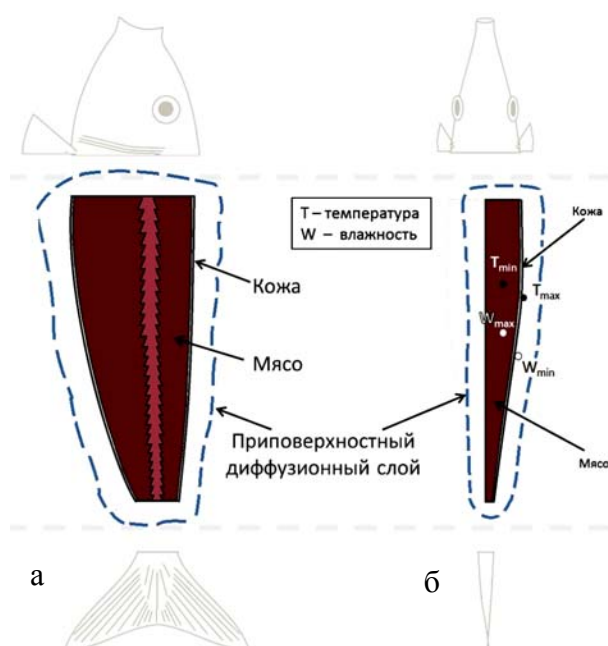


Рис. 2. Внешний вид тушки рыбы в процессе типовой конвективно-тепловой сушки:

а – вид на тушку рыбы спереди; б – вид на тушку рыбы сбоку

Fig. 2. The appearance of the fish carcass in the process model convective-heat drying:

а – view of the carcass of the fish in front; б – view of the fish carcass on the side

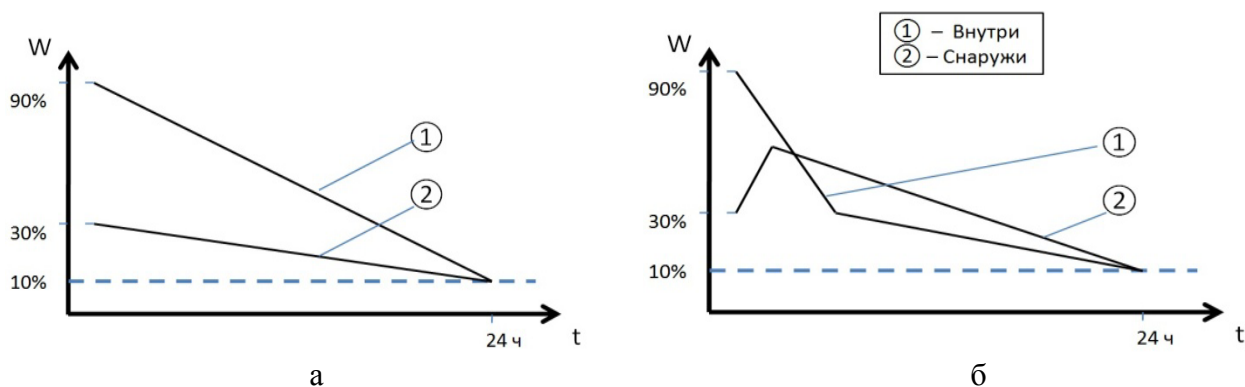


Рис. 3. Изменения влажности тушек рыб в процессе тепловой и акустической сушки

Fig. 3. Changes in the moisture content of the carcasses of fish in the process thermal and acoustic dryers



Рис. 4. Внешний вид тушек рыб в процессе тепловой и акустической сушки рыбы:
 а – до начала удаления влаги; б – в процессе удаления влаги
 Fig. 4. The appearance of the carcasses of fish in the course of thermal and acoustic fish drying:
 а – prior to the removal of moisture; б – in the process of moisture removal

Как видно из рис. 4, б, тушки рыб после акустического удаления влаги в течение 18 ч имеют более темный (внутренняя влажность 34 %) вид, чем при традиционной конвективно-тепловой сушке (внутренняя влажность 52 %).

На рис. 5 иллюстрируется структурная схема мобильной (на базе 20-футового контейнера, способного к перемещению абсолютно всеми видами транспорта) НАСК, предназначенной для низкотемпературного удаления влаги из тушек рыб.

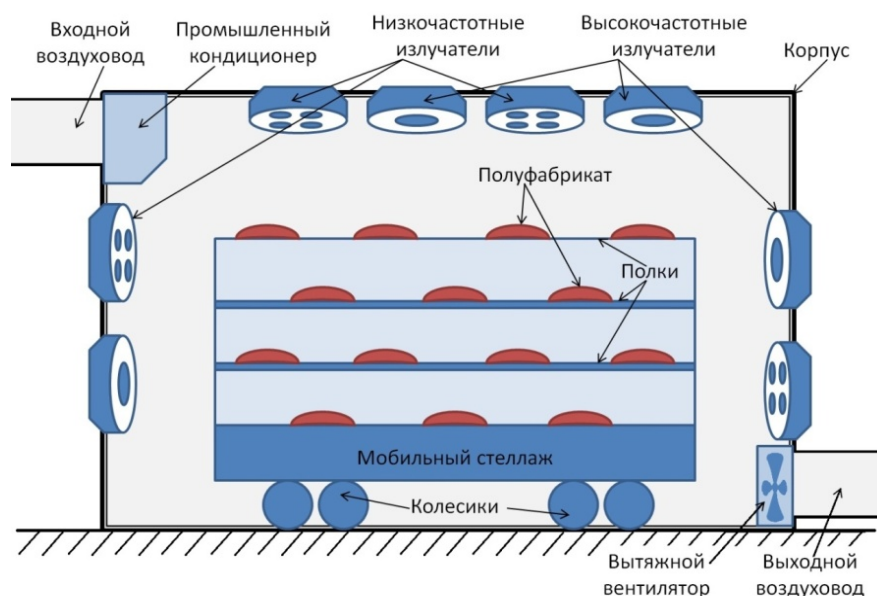


Рис. 5. Структурная схема мобильной низкотемпературной акустической сушильной камеры
 Fig. 5. Structural diagram of a mobile low-temperature acoustic drying chamber

Как видно из рис. 5, в состав НАСК входят следующие модули:

- модуль подготовки, подведения и отведения сушильного агента (далее МСА) на базе: входного воздуховода и промышленного кондиционера, установленных в верхней части НАСК, вытяжного вентилятора и выходного воздуховода, установленных с противоположной стороны в нижней части НАСК;

- модуль раскладки полуфабриката (далее МПФ) на базе нескольких (в зависимости от длины НАСК) мобильных (на колесиках) стеллажей с полками для тушек рыб;

- акустический модуль (далее АКМ) на базе нескольких (в зависимости от геометрических размеров НАСК) низкочастотных (НЧ) – ниже 12 кГц и высокочастотных (ВЧ) – выше 12 кГц акустических излучателей, установленных сверху и сбоку по отношению к полкам МРФ. При этом в качестве излучателей могут использоваться пьезоэлектрические или газоструйные акустические излучатели.

При этом следует отметить, что в состав НАСК входит электронный модуль (далее ЭЛМ) на базе компьютера и нескольких (в зависимости от числа электроакустических излучателей) многоканальных усилителей мощности, который может быть размещен как внутри, так и снаружи НАСК. При использовании газоструйных акустических излучателей применяют компрессор.

Кроме того, в состав НАСК входит модуль управления (далее МУП) на базе компьютера и распределенных внутри НАСК датчиков: температуры, относительной влажности и скорости движения сушильного агента, который размещен внутри.

Для примера на рис. 6 (фото) представлен внешний вид электроакустических излучателей (рис. 6, а) и усилителей мощности (рис. 6, б), серийно выпускаемых в Италии и Германии, соответственно, применяемых (после модернизации) для акустического удаления влаги с использованием только линейных акустических механизмов.

Как видно из рис. 6, используемое оборудование (акустическое и электронное) отличается незначительными весогабаритными характеристиками.

В данной работе предлагается одновременно с акустическим удалением влаги из тушек рыб осуществлять акустическое отпугивание паразитов, насекомых и грызунов, а также электромагнитное уничтожение паразитов.



Рис. 6. Внешний вид электроакустических излучателей и усилителей мощности
Fig. 6. The appearance of electroacoustic transducers and amplifiers

Кратко опишем вариант многоэтапного удаления влаги из рыбы (вяление рыбы) в промышленных условиях – с одновременной защитой полуфабриката от паразитов, насекомых и грызунов.

На предварительном этапе, после обескровливания рыбы (путем перерезания межжаберного промежутка и сердечной луковички), ее потрошения и пластации, а также отделения головы от тушки и удаления хребтовой кости, получают полуфабрикат рыбы с влажностью ~80–85 %.

На первом этапе полученный полуфабрикат раскладывают (вручную или автоматически) на сетки кожей сверху и таким образом, чтобы после поднятия сеток на угол α_1 (~60°) хво-

стовая (наиболее тонкая и длинная) часть каждого полуфабриката оказывалась внизу, а головная (наиболее мясистая и короткая) часть – вверху. Затем сетки с полуфабрикатом под углом α_1 размещают в устройстве, исключающим, с одной стороны, скатывание полуфабриката, а, с другой стороны – обеспечивающим свободное движение несвязанной (свободной) влаги и рыбьего жира вдоль волокон полуфабриката под действием силы тяжести G .

При этом устройство установлено под навесом, исключающим попадание дождя, в том числе и при боковом ветре, а также прямых лучей солнца, что позволяет избежать «загара» и перегрева, а также повышенного облучения солнечной радиацией полуфабриката. Под навесом также размещены: датчик температуры окружающего воздуха T и датчик относительной влажности атмосферного воздуха W , несколько (не менее трех обеспечивающих принудительное движение атмосферного воздуха) мобильных (быстро устанавливаемых и быстро демонтируемых) рабочих вентиляторов с плавно изменяющейся производительностью, обеспечивающих, в случае если скорость движения атмосферного воздуха V_a меньше 2–3 м/с, искусственным путем поддержание равномерной по всей площади навеса скорости движения окружающего воздуха не менее 2–3 м/с; несколько – не менее шести (не менее двух для каждого из трех каналов), идентичных друг другу акустических излучателей трехканального акустического тракта, обеспечивающих под углом сверху вниз по всей площади сеток с полуфабрикатом излучение акустических волн.

Затем осуществляют формирование, усиление и направленное – в секторе нескольких десятков градусов, излучение по программе – сочетая режимы излучения и паузы, заложенной в блоке управления – на базе персонального компьютера, а также благодаря первому коммутатору каналов трехканального акустического тракта, акустических волн на нескольких (не менее двух) частотах: более низкочастотных (НЧ) – F_{ci} и более высокочастотных (ВЧ) – f_{ci} в диапазоне частот от 2×10^1 Гц до 5×10^4 Гц с интенсивностью на расстоянии 1 м от излучателя не менее 100 Вт/м². При этом акустические волны на частотах F_{ci} применяют для акустической сушки больших и жирных тушек полуфабриката, а также полуфабриката с большой относительной влажностью, в то время как акустические волны на частотах f_{ci} применяют для акустической сушки тонких и нежирных тушек полуфабриката, а также на заключительном этапе сушки полуфабриката.

В процессе гравитации G , естественного капиллярного давления $P_{ЕКД}$ и естественной диффузии D_E , а также под воздействием акустических волн на частотах F_{ci} и f_{ci} под углом сверху вниз по всей площади сеток с полуфабрикатом:

- первая, незначительная (~10 % из ~80 %) часть жидкости в виде связанной влаги вытесняется по кратчайшим путям, совпадающим с вектором (направлением) акустического давления из толщи мяса полуфабриката на его поверхность, дополнительно увеличивая тем самым ее влажность. Именно по этой причине требуется естественным или искусственным путем обеспечить достаточно интенсивное (3...5 м/с) и равномерное движение атмосферного воздуха вдоль поверхности полуфабриката;

- вторая, существенная (~30 % из ~80 %) часть жидкости в виде свободной влаги, активно перемещаясь вдоль тканей полуфабриката в его более тонкую (поэтому быстро сохнущую) хвостовую часть, увлажняет ее и предотвращает пересыхание тонкой части полуфабриката. Поэтому также требуется обеспечить достаточно интенсивное (не менее 3...5 м/с) движение атмосферного воздуха вдоль всей поверхности полуфабриката;

- третья, основная (~40 % из ~80 %) часть жидкости в виде свободной и связанной влаги распределяется по всему объему частично высушенного (до ~40 %) полуфабриката. При этом благодаря превращению на молекулярном уровне части акустической энергии в тепловую энергию осуществляют дополнительную акустическую сушку полуфабриката, особенно его более удаленных от поверхности частей, а удаление влаги с поверхности полуфабриката и его тепловую сушку осуществляют за счет движения со скоростью V_a (не менее 3 м/с) су-

шильного агента (окружающего атмосферного воздуха) с температурой T_a (~30 °С) и относительной влажностью W_a (~30 %).

Вся оставшаяся свободная влага (~35 % из ~40 %), сосредоточенная в полостях клеток полуфабриката, и связанная влага (~5 % из ~40 %), сосредоточенная в оболочках клеток полуфабриката, составляет ~40 % влажности частично высушенного полуфабриката. При этом:

- время частичной акустической сушки полуфабриката в естественных условиях (под навесом) составляет 4–8 ч в зависимости от характеристик (геометрические размеры, жирность и др.), химического состава сырья и способа его разделки, а также в зависимости от температуры, относительной влажности, скорости движения атмосферного воздуха и др.;

- благодаря частичной акустической сушки полуфабриката в естественных условиях в дальнейшем – после окончательной сушки – получают продукцию с высокими органолептическими и вкусовыми показателями;

- благодаря воздействию акустических волн (релаксации мышечных тканей, освобождению связанной влаги, равномерному перераспределению влаги к поверхностным частям, равномерному распределению оставшейся влаги и т.д.) на частотах на F_{ci} и f_{ci} общий процесс сушки в естественных условиях идет более равномерно, без пересыхания поверхностных слоев и образования корок на них, без создания градиентов влажности и температуры внутри полуфабриката и т.д., а также без изменения его биологического состава.

Одновременно с этим осуществляют формирование, усиление до необходимого уровня и направленное – в секторе нескольких десятков градусов, излучение по программе – сочетая режимы излучения и паузы, заложенной в блоке управления – на базе персонального компьютера, а также благодаря первому коммутатору каналов трехканального акустического тракта, акустических волн на нескольких (не менее двух) частотах: более НЧ – F_{oi} и более ВЧ – f_{oi} в диапазоне частот от 2×10^1 Гц до 5×10^4 Гц с интенсивностью на расстоянии 1 м от излучателя не менее 100 Вт/м².

При этом излучение акустических волн на частотах F_{oi} и f_{oi} (непрерывные и квазинепрерывные по длительности, амплитудно-модулированные, частотно-модулированные и другие сигналы сложной формы и т.д.), являющихся по своей сущности биорезонансными – их частоты близки к собственным частотам болезнетворных микроорганизмов, модулированы по амплитуде и частоте (фазе) сигналами инфразвукового диапазона частот 3–12 Гц и т.д., осуществляют в интервалы времени, когда излучения акустических волн на частотах F_{ci} и f_{ci} (непрерывные и квазинепрерывные по длительности, гармонические сигналы по форме и т.д.), являющихся по своей сущности чистыми тонами – их частоты близки к музыкальным нотам, не производят.

Под воздействием акустических волн биорезонансным методом на частотах F_{oi} и f_{oi} производят частичное (5–10 %) обеззараживание – частичное уничтожение различных инфекций: на частотах F_{oi} – личинок анизакид, имеющих собственную резонансную частот Ω_j , на частотах f_{oi} – бактерий, имеющих собственную резонансную частот Ω_l , и др.

Одновременно с этим осуществляют формирование, усиление до необходимого уровня и направленное – в секторе нескольких десятков градусов, излучение по программе – сочетая режимы излучения и паузы, заложенной в блоке управления, а также благодаря первому коммутатору каналов акустических волн на нескольких (не менее двух) частотах: более НЧ – F_{ni} и более ВЧ – f_{ni} в диапазоне частот от 2×10^1 Гц до 5×10^4 Гц с интенсивностью на расстоянии 1 м от излучателя не менее 100 Вт/м².

При этом излучение акустических волн на частотах F_{ni} и f_{ni} (импульсные и квазинепрерывные по длительности, амплитудно-модулированные, частотно-манипулированные и другие сигналы сложной формы и т.д.), являющихся по своей сущности энергетическими – вызывающими болевой эффект у насекомых и грызунов, подавляющими их каналы ориентации в пространстве и т.д., а также информационными – вызывающими у грызунов чувство трево-

ги, осуществляют в интервалы времени, когда излучения акустических волн на частотах F_{ci} и f_{ci} , а также на частотах F_{oi} и f_{oi} не производят.

Под воздействие акустических волн на частотах F_{ni} и f_{ni} насекомые и грызуны стараются быстро покинуть зону акустического облучения, а после нескольких воздействий стараются покинуть данное пространство, несмотря на приманивающий пищевой рефлекс.

На втором этапе частично высушенный в естественных условиях (под навесом) до относительной влажности $\sim 40\%$ полуфабрикат на тех же сетках устанавливают в идентичные друг другу подвижные стеллажи, оборудованные колесиками и ручными стопорами для фиксации колесиков, на которых (стеллажах) сетки установлены под углом наклона α_2 ($\sim 10^\circ$), меньшим, чем угол наклона α_1 , что не только полностью исключает скатывание полуфабриката с пониженной, $\sim 40\%$, влажностью, но и обеспечивает относительно свободное движение оставшейся несвязанной влаги вдоль волокон полуфабриката под действием силы тяжести, а также освобождение связанной (молекулярными связями и др.) влаги – под действием (в дальнейшем технологическом процессе) акустических волн, из глубины на поверхность полуфабриката по кратчайшему пути.

В дальнейшем стеллажи с сетками вкатывают в предварительную конвективно-тепловую сушильную камеру (ПКТСК) и расставляют в ней таким образом, чтобы обеспечить равномерное движение сушильного агента со скоростью V_{CA} по всему объему ПКТСК. При этом колесики стеллажей ставят на стопора, исключаяющие их (стеллажей) самопроизвольное движение по наклонному полу ПКТСК; в процессе переустановок сеток контролируют и при необходимости (в случае прилипания, что возможно для жирного и большого по размерам сырца) частично шевелят по сетке отдельные экземпляры полуфабриката.

Затем по процедуре, описанной выше, осуществляют предварительную акустическую сушку уже частично высушенного (до влажности $\sim 40\%$) в естественных условиях полуфабриката при заданной технологическим процессом относительной влажности и температуре, с получением предварительно высушенного полуфабриката с относительной влажностью ($\sim 25\%$), предварительное (\sim до уровня 25%) акустическое обеззараживание полуфабриката, а также полное (\sim до 100%) акустическое отпугивание насекомых и грызунов (оказавшихся в ПКТСК, например, в процесс погрузки полуфабриката и т.д.) от полуфабриката.

Одновременно с этим осуществляют конвекционно-тепловую сушку и предварительное (\sim до уровня 50%) обеззараживание полуфабриката в электромагнитных полях. Для чего в блоке подготовки сушильного агента, входящего в систему подготовки, распределенного подвода и распределенного отвода сушильного агента, а также его равномерного движения в ПКТСК и в основной конвективно-тепловой сушильной камере (ОКТСК) атмосферный воздух подают в главный подготовитель сушильного агента (например, калорифер и т.д.) и готовят его в соответствии с заданными, в первую очередь для ОКТСК, параметрами: температура T_0 , относительная влажность W_0 и объем V_0 .

Затем с помощью отводного воздуховода через главный распределитель часть V_2 сушильного агента с температурой T_0 и относительной влажностью W_0 подают на первый вход смесителя сушильного агента. Одновременно с этим отработанный в ОКТСК сушильный агент с температурой T_1 , меньшей T_0 , и с относительной влажностью W_1 , большей W_0 , подают на первый вход смесителя.

Затем сушильный агент с температурой T_2 , меньшей T_1 и тем более T_0 , и с относительной влажностью W_2 , большей W_1 и тем более W_0 , подают в ПКТС, а с помощью распределенных по объему ПКТСК мобильных рабочих вентиляторов с плавно изменяющейся производительностью обеспечивают равномерное по всему объему ПКТСК движение сушильного агента с параметрами T_2 и W_2 .

Равномерно движущийся по объему ПКТСК сушильный агент с параметрами T_2 и W_2 осуществляет нагрев полуфабриката и снятие влаги с его поверхности. В дальнейшем отра-

ботанный сушильный агент с параметрами: температурой T_3 , меньшей, чем T_2 , T_1 и тем более T_0 , и относительной влажностью W_3 , большей, чем W_2 , W_1 и тем более W_3 , через равномерно распределенные по ПКТСК несколько воздухоотборников при помощи вытяжного вентилятора, проходя через сменный воздушный фильтр и очищаясь в нем от вредных веществ, через второй отводной воздуховод выбрасывается в атмосферу.

Вся оставшаяся свободная влага (~20 % из ~25 %), сосредоточенная в полостях клеток полуфабриката, и связанная влага (~5 % из ~25 %), сосредоточенная в оболочках клеток полуфабриката, составляет ~25 % влажности частично высушенного полуфабриката. При этом время предварительной акустическо-конвективно-тепловой сушки полуфабриката в искусственных условиях (в ПКТСК) определяется технологическим процессом и составляет 2–4 ч в зависимости от характеристик, химического состава сырья и способа его разделки; благодаря воздействию акустических волн (релаксации тканей, освобождению связанной влаги, равномерному перераспределению влаги к поверхностным частям, а также равномерному распределению оставшейся влаги) на частотах на F_{ci} и f_{ci} общий процесс сушки идет более равномерно, без пересыхания поверхностных слоев и образования корок на них, без создания градиентов влажности и температуры внутри полуфабриката и т.д., а также без изменения его биологического и химического составов.

При этом осуществляют формирование, усиление до необходимого уровня и направленное – в секторе нескольких десятков градусов, излучение по программе, а также благодаря первому коммутатору каналов трехканального акустического тракта, акустических волн на нескольких (не менее двух) частотах: более НЧ – F_{ci} и более ВЧ – f_{ci} в диапазоне частот от 2×10^1 Гц до 5×10^4 Гц с интенсивностью на расстоянии 1 м от излучателя не менее 100 Вт/м^2 .

Одновременно с этим осуществляют:

- формирование, усиление до необходимого уровня и направленное излучение по программе акустических волн на нескольких частотах: более НЧ – F_{oi} и более ВЧ – f_{oi} в диапазоне частот от 2×10^1 Гц до 5×10^4 Гц с интенсивностью не менее 100 Вт/м^2 ;

- формирование, усиление и направленное излучение по программе акустических волн на нескольких частотах: более НЧ – F_{ni} и более ВЧ – f_{ni} в диапазоне частот от 2×10^1 Гц до 5×10^4 Гц с интенсивностью не менее 100 Вт/м^2 ;

- формирование, усиление и излучение по программе электромагнитных волн в ультрафиолетовом спектре частот $\omega_{уф}$ с интенсивностью (энергией), не превышающей 1 МэВ;

- формирование, усиление и излучение по программе электромагнитных волн в видимом световом спектре частот $\omega_{ви}$ с интенсивностью (энергией), не превышающей 1 МэВ;

- формирование, усиление и излучение по программе электромагнитных волн в инфракрасном спектре частот $\omega_{ик}$ с интенсивностью (энергией), не превышающей 1 МэВ.

Благодаря акустическому воздействию, а также благодаря одновременному с ним и периодическому – сочетая режимы излучения и паузы, на разных частотах (длинах волн), под углом сверху вниз по всей площади каждой сетки, воздействию на полуфабрикат, находящийся в ПКТСК электромагнитных волн: ультрафиолетового излучения, видимого светового излучения и инфракрасного излучения – в зависимости от типа уничтожаемых микроорганизмов, осуществляют практически полное – до уровня ~75 % – их уничтожение с меньшей (как минимум на 20–30 %) интенсивностью (к тому же не превышающей 1 МэВ), чем обычно применяют для обеззараживания продуктов.

На третьем этапе часть предварительно высушенного (до относительной влажности, например, ~ 25 %) полуфабриката на тех же подвижных стеллажах с сетками перекачивают из ПКТСК в ОКТСК и расставляют в ней таким образом, чтобы обеспечить равномерное движение сушильного агента с параметрами T_0 и W_0 по всему объему.

Затем по процедуре, описанной выше, осуществляют основную акустическую сушку уже частично под навесом и предварительно – в ПКТСК высушенного (до влажности ~ 25 %) полуфабриката при заданной технологическим процессом относительной влажности и тем-

пературе, с получением окончательно высушенного полуфабриката с относительной влажностью (~18–20 %), полное обеззараживание полуфабриката в акустических и электромагнитных полях, а также полное акустическое отпугивание насекомых и грызунов (оказавшихся в ОКТСК, например, в процесс выгрузки полуфабриката и т.д.) от полуфабриката.

В дальнейшем осуществляют сортировку по качеству полностью высушенного и полностью обеззараженного полуфабриката и товарное оформление готового продукта.

Следует отметить, что разработанная технология может быть с успехом применена не только для низкотемпературного удаления влаги из продуктов питания (рыбы, мяса, грибов, зерна, овощей, фруктов и т.д.), но и для низкотемпературной сушки медицинских и косметологических препаратов, горючих и взрывчатых веществ, древесины и т.д.

Таким образом, разработанный метод максимально полно отвечает критерию «качество–стоимость–энергозатратность–безопасность» и рекомендуется для сушки (вяления) рыбы и других продуктов питания как в естественных условиях (под навесом), так и в НАСК. При этом процесс удаления влаги из рыбы идет более равномерно с полным сохранением белка и других ценных компонентов, а также не нарушая вкусовых и ароматических свойств готовой продукции.

Список литературы

1. Баранов Ф.И. Техника промышленного рыболовства. – М.: Пищепромиздат, 1960. – 696 с.
2. Бахарев С.А., Карасев А.В., Карасев В.В. Основы промысловой гидроакустики. – Владивосток: Дальрыбвтуз, 2000. – 68 с.
3. Бахарев С.А. Акустика в промышленном рыболовстве. – Германия: Изд-во: Lambert, 2012. – 305 с.
4. Бахарев С.А., Рогожников А.В. Перспективы развития гидроакустических средств гражданского назначения, в том числе с использованием методов нелинейной акустики // Прикладные технологии гидроакустики и гидрофизики: тр. Всеросс. конф. – СПб., 2012. – С. 30–33.
5. Пат. Российская Федерация. Способ комбинированной сушки с использованием волн различной физической природы / Бахарев С.А. № 2423655 от 26.10.2009, опубл. 10.07.2011, Бюл. № 19.
6. Пат. Российская Федерация. Способ сушки и обеззараживания продуктов с использованием волн различной физической природы / Бахарев С.А. № 2464793 от 01.06.2011, опубл. 27.10.2012. Бюл. № 30.
7. Вопросы теории и практики промышленного рыболовства: сб. науч. тр. / под ред. Э.А. Карпенко. – М.: ГК по рыболовству, ВНИРО, 1998. – 219 с.
8. Мельников В.Н. Устройство орудий лова и технология добычи рыбы. – М.: Агропромиздат, 1991. – 384 с.
9. Справочник промысловика. – Краснодар: ВРПО «АЗЧЕРРЫБА», 1998. – 487 с.
10. Телятник О.В. Технология промысла рыбы. – Владивосток: Дальрыбвтуз, 2000. – С. 13–17.
11. Урик Р. Дж. Основы гидроакустики. – СПб.: Судостроение, 1978. – 378 с.

Сведения об авторах: Бахарев Сергей Алексеевич, доктор технических наук, профессор, e-mail: taf@list;
Карасев Александр Владимирович, кандидат технических наук, доцент, e-mail: kav6713@mail.ru;
Карасев Владимир Владимирович, кандидат технических наук, профессор, e-mail: karasevvv@list.ru.