

УДК 67.05

В. А. Аминов, А. Ю. Ильин

## Универсальная коптильная установка роторного типа

Согласно исследованиям, проведенным авторами статьи, большинство технологических установок для производства мясной и рыбной продукции ориентированы только на один вид сырья (мясное или рыбное), а также вид копчения (холодное или горячее). Ограничения связаны с максимальной температурой сушильного агента, который воздействует на продукт; наличием системы поддержания относительной влажности воздушной смеси; наличием системы охлаждения дыма, поступающего от дымогенератора, и рядом других факторов. Предприятия, расширяющие ассортимент выпускаемой продукции, вынуждены приобретать новое оборудование. При ограниченной площади производства, особенно у малых предприятий, это не всегда удобно. В работе рассмотрена универсальная коптильная установка роторного типа (УКУРТ) для производства как мясной, так и рыбной продукции с применением холодного или горячего копчения. Установка ориентирована на широкий ассортимент выпускаемой продукции. Наличие системы охлаждения дыма позволит выпускать на данной установке продукцию холодного копчения, наличие системы осушения и увлажнения дымовоздушной смеси обеспечит поддержание необходимого технологического режима при производстве рыбной продукции и мясных изделий. Проведенные на примере холодного копчения исследования показали, что длительность процесса необходимо сократить, сохранив при этом качество продукта. Для этой цели в УКУРТ на дымовоздушную смесь воздействовали ультразвуковыми (УЗ) колебаниями. Проведены исследования по выявлению наилучшего типа УЗ-излучателей, способных передавать колебания металлической поверхности установки и от нее переходить в дымовоздушную смесь, с целью интенсификации процесса холодного копчения. Определены необходимые мощности УЗ-генераторов. Представлены сравнительные результаты технологических процессов с применением ультразвука при производстве рыбной продукции.

**Ключевые слова:** копчение, ультразвук, мясное и рыбное сырье, тепло-массообменные процессы.

### Введение

Для оснащения предприятий компактным высокоэффективным оборудованием с целью выпуска конкурентоспособной высококачественной продукции изучены конструктивные особенности и принципы работы коптильно-сушильных установок [1]. Рассматриваемые установки серийно выпускаются отечественными и зарубежными производителями технологического оборудования. Выявлены их основные преимущества и недостатки.

У большинства промышленных коптильных установок можно выделить следующие недостатки:

- громоздкость конструкций (установки поставляются в собранном виде, что затрудняет их перемещение по территории предприятия);
- сложность поддержания паспортных режимов работы (при несоблюдении степени загрузки камеры поддержание требуемых режимов работы невозможно из-за нехватки мощности нагревателей или вентиляторов);
- неоднородность поля скоростей теплового агента (за счет конструктивных особенностей оборудования возникают зоны, где скорость воздушного потока отсутствует, либо ее значение ниже среднего значения скорости потока камеры на 30–40 %);
- неравномерность насыщения продуктов коптильными веществами;
- высокий удельный расход энергии на процесс;
- высокая степень влияния на качество продукции субъективных факторов (оператор-технолог, полагаясь на свой профессионализм, определяет степень готовности продукта).

Выявленные достоинства изученных типов коптильных печей также учитывались, в результате создан оригинальный опытно-промышленный образец универсальной коптильной установки роторного типа (УКУРТ) (рис. 1) [2]. Установка включает теплоизолированную камеру, внутри которой вращается рама с носителями продукта (прутками или сетками) (4). Блок вентиляции состоит из вытяжного вентилятора, установленного за пределами корпуса, и рециркуляционного вентилятора (3), расположенного в нише потолка. Рециркуляция включает движение сушильного агента внутри камеры, происходит частичный выброс отработавшей дымовоздушной смеси и забор свежего сушильного агента в камеру. Блок нагревателей (1) эргономично встроен в приточные воздуховоды (5) потолка камеры.

Установка обеспечивает эффективное смешивание дыма, вырабатываемого дымогенератором (6), и свежего воздуха, а также необходимую степень увлажнения газовой среды паром. Особая конструкция

приточных воздуховодов с соплами и восьмиугольное поперечное сечение камеры обеспечивают хорошие аэродинамические характеристики с равномерным полем скоростей в камере.

За работой всех механизмов установки, а также поддержанием заданных значений температуры и относительной влажности дымовоздушной смеси следит система автоматического управления (САУ). Оператор выбирает только конкретный вид сырья (окунь, палтус, мойва и т. п.) и вид копчения (холодное, горячее, полугорячее). Программа управления определяет длительность процесса, температуру и влажность дымовоздушной смеси.

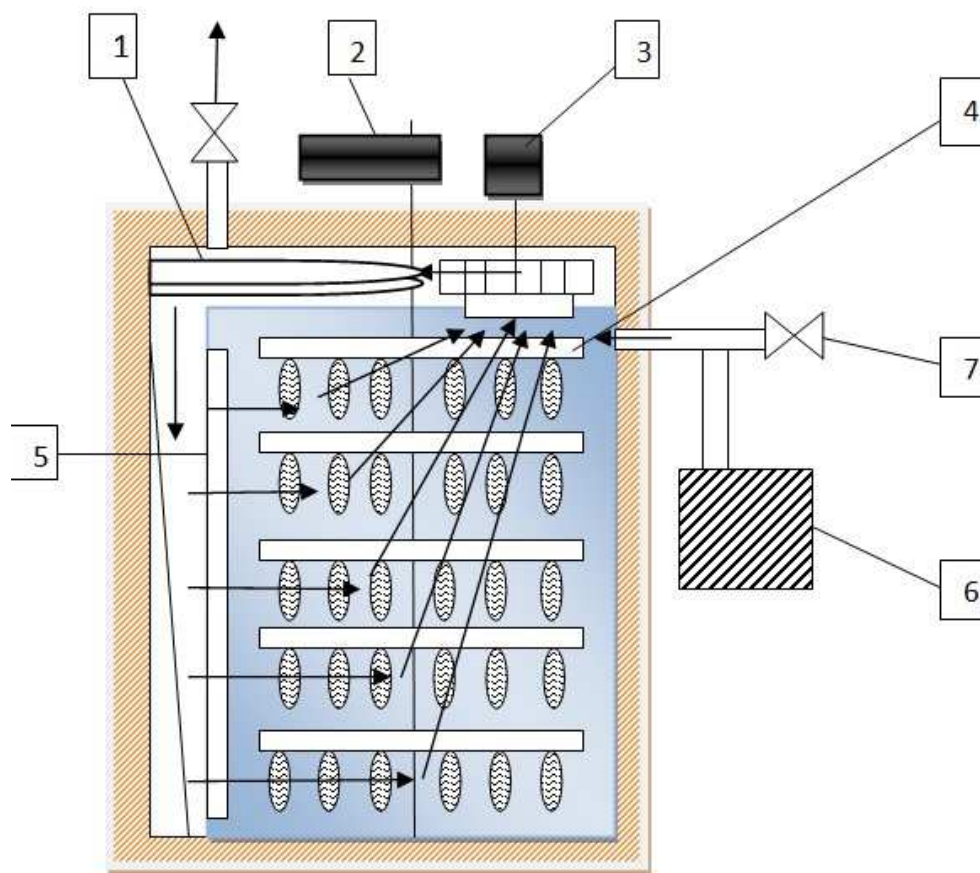


Рис. 1. Функциональная схема УКУРТ  
Fig. 1. The functional diagram of USIRT

### Материалы и методы

На первом этапе исследования установки изучались аэродинамические характеристики с комбинацией различных насадок на воздуховоды (перфорированных, щелевых и их комбинаций). При выборе типа насадок необходимо было получить наиболее равномерное поле скоростей сушильного агента по высоте камеры и максимально возможные значения самих скоростей воздушного потока по отношению к обдуваемому продукту.

Замеры скорости воздушного потока проводились при помощи анемометра. Для каждого приточного сопла воздуховода по всей высоте, через равные промежутки длины и на расстоянии, соответствующем контакту сушильного агента с продуктом, замерялось распределение скоростей по длине воздуховодов. На основании полученных данных построена зависимость распределения скоростей теплоносителя, представленная на рис. 2. Скорости воздушных потоков в левом и правом воздуховодах распределены таким образом, что удалось достичь равномерного обдува обрабатываемой продукции по всему объему камеры. Произведены исследования на скорость обезвоживания продукции и выявление застойных участков по всей высоте объема камеры в режиме холодной сушки. Проверены экземпляры рыб с одинаковыми размерно-массовыми характеристиками. Образцы продукта обезвоживаются достаточно равномерно с отклонением параметров относительно друг друга от 2 до 8 %. По этим показателям можно утверждать, что при обработке продукта дымовоздушной смесью в камере будет создаваться равномерное поле

скоростей и температур теплоносителя, а степень насыщения продукта копильными веществами будет одинаковой.

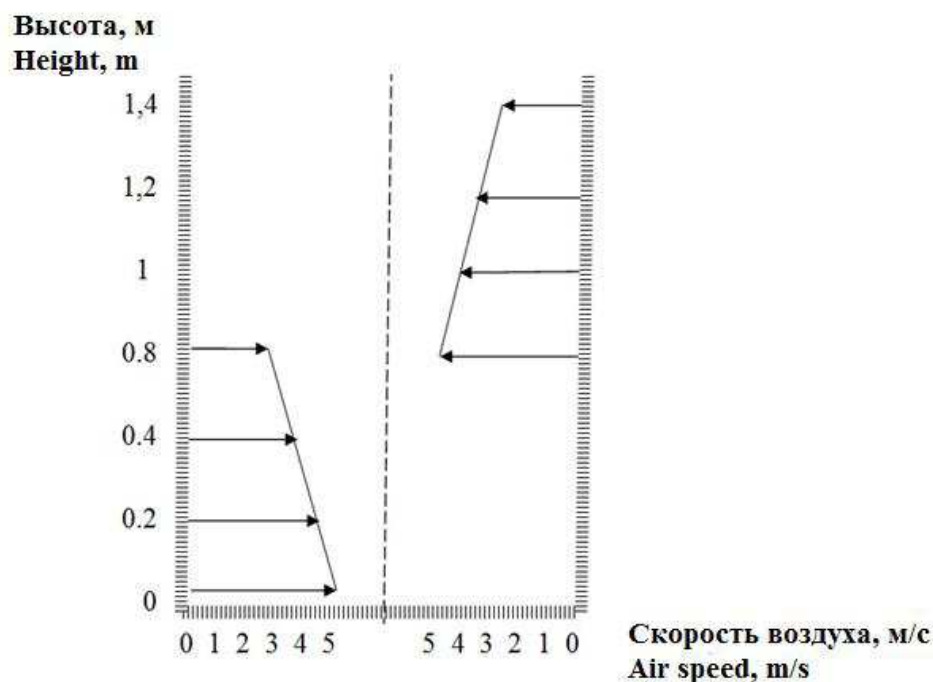


Рис. 2. Распределение скоростей воздушного потока по высоте камеры  
Fig. 2. Distribution of airflow velocities along the height of the chamber

Практическая вместимость установки по сырью (сельдь атлантическая) составила от 40 до 50 кг. Данный показатель соответствует промышленной загрузке от 40 кг/м<sup>3</sup>.

Преимуществами универсальной копильной установки роторного типа являются:

- компактность (возможность загрузки сырья до 60 кг/м<sup>3</sup> и малый объем выступающих за пределы корпуса элементов);
- отсутствие застойных зон в камере;
- простота обслуживания и санитарной обработки (можно применять бесконтактные системы мойки);
- возможность использования различных крепежей (сетки, прутки, крючки), что повышает универсальность для обработки продукции различного размерно-массового состава;
- модульность – возможно формирование агрегатов из нескольких установок (модулей) в один или два ряда (при стыковке модулей между собой). Такой тип компоновки дает возможность одновременно автономно обрабатывать различные виды сырья, экономить производственную площадь;
- возможность оснащения каждого модуля установки встроенным дымогенератором, либо оснащение копильного агрегата на базе нескольких модулей общим высокоэффективным дымогенератором;
- возможность точного поддержания требуемых режимов тепловой обработки (за счет системы управления).

Система управления относится к классу адаптивных систем, при этом значения коэффициентов регулятора менялись согласно температуре окружающей среды. За счет использования полупроводниковых элементов колебания температуры в статическом (установившемся) режиме работы не превышали 0,05 °С. Поддержание значения относительной влажности дымовоздушной смеси (в пределах ± 2 %) происходит за счет совместного использования заслонок и системы орошения. При значениях относительной влажности выше заданных значений меняется степень открытия приточной и утилизационной заслонок, при значениях влажности ниже заданного значения включается система орошения. Для измерения значений относительной влажности используется психрометрический метод измерения. При проектировании установки была предусмотрена возможность контроля массы и температуры внутри контрольного образца продукта. Это позволяет оператору следить за изменениями параметров продукта, не останавливая технологический процесс для визуального обследования. Информация о параметрах технологического процесса отображается на графической панели оператора. Через данную панель можно задавать параметры процесса: температуру, относительную влажность дымовоздушной смеси и длительность процесса. Также имеется возможность выбора готовых рецептов для конкретного вида сырья, что делает процесс управления установкой более простым. Система управления ведет учет потребленной электроэнергии за цикл производства, месяц и год. Все параметры процесса сохраняются на flash-карту.

Конструкция универсальной копильной установки роторного типа представлена на рис. 3.

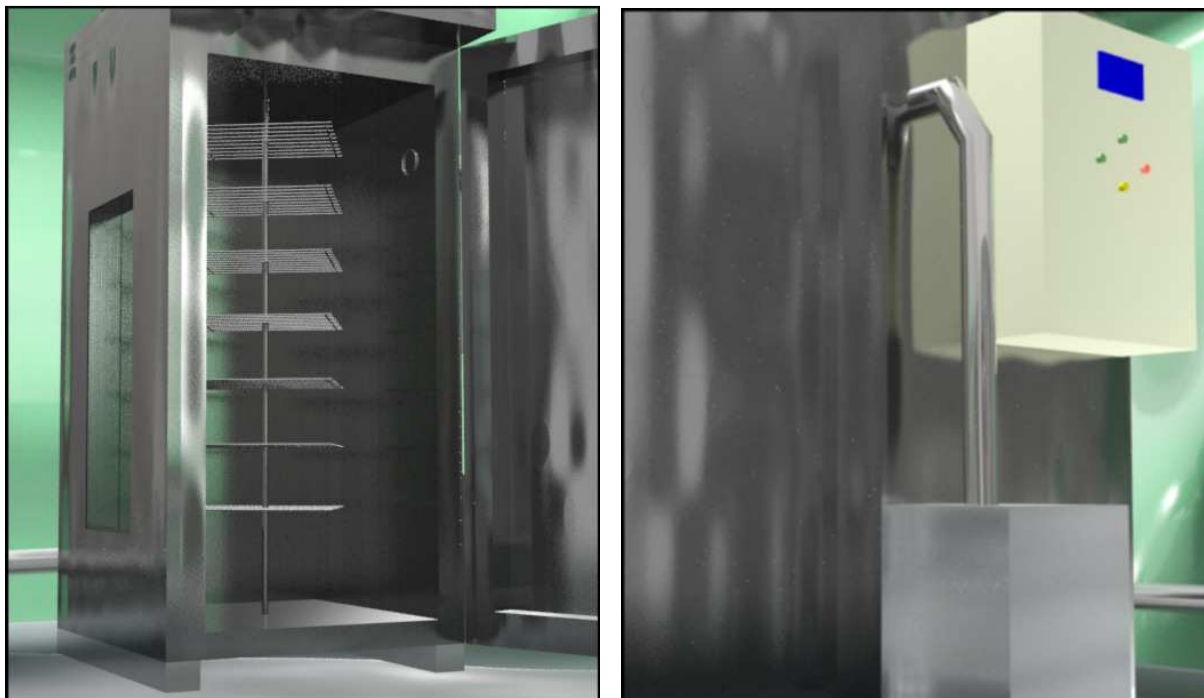


Рис. 3. Внешний вид УКУРТ  
Fig. 3. The appearance of USIRT

С левой стороны установки находится смотровое окно для наблюдения за технологическим процессом, с противоположной стороны – щит системы управления и дымогенератор.

### Результаты и обсуждение

Для проверки работоспособности камеры и подтверждения полученных выше выводов были проведены эксперименты по холодному копчению на рыбном сырье: скумбрия, палтус и окунь морской. Отобраны контрольные образцы из каждой партии и проверены на органолептические показатели и химический состав (содержание влаги в объеме продукции и концентрация копильных веществ.) Содержание влаги во всех однородных образцах было схожим, а значение концентрации копильных веществ соответствует нормам СанПиН. Исследования подтвердили преимущества созданной копильной установки, но выявили один недостаток, присущий всем процессам холодного копчения, – длительность процесса копчения составила от 50 до 60 ч. Для ускорения процесса копчения принято решение применить ультразвуковое (УЗ) воздействие на дымовоздушную смесь внутри камеры. Изучены различные виды УЗ-преобразователей и материалов для их производства [3]. Было принято решение использовать магнитострикционные преобразователи, так как амплитуда колебаний, которая передается поверхности (материалу, с которым соприкасается преобразователь) у пьезокерамических преобразователей, сильно зависит от присоединенной массы поверхности. У магнитострикционных излучателей нет такого недостатка, но им для возбуждения требуется мощный токовый сигнал, в отличие от пьезоэлектрических излучателей, которым необходимо напряжение. Внутри камеры было установлено шесть УЗ-излучателей с резонансной частотой 22 кГц и мощностью 140 дБ, и для каждого излучателя был собран источник тока. Генераторы устанавливались таким образом, что внутренняя стенка камеры являлась источником УЗ-колебаний. Поскольку излучатель жестко соединен с камерой и представляет с ней единое целое, ультразвуковые колебания возбуждаются во всей конструкции установки, распространяются по поверхности и переизлучаются в дымовоздушную смесь. Таким образом, в металле и сушильном агенте возникают непрерывные микроколебания с амплитудой в несколько микрон, которые безопасны для металлической конструкции всей установки, но при этом воздействуют на дымовоздушную смесь. При таком воздействии УЗ на сушильный агент возникает процесс УЗ-коагуляции аэрозоль, а также протекает процесс абсорбции [4]. Воздействие УЗ-колебаний на систему вода – дым способствует турбулизации воздушных потоков, улучшает перемешивание и за счет этого ускоряет поглощение газов жидкостью [5]. УЗ-колебания интенсифицируют процесс диффузии копильных компонентов на поверхности продукта, тем самым сокращая длительность процесса копчения.

После завершения монтажа и проверки работы ультразвуковых генераторов проведены повторные эксперименты по холодному копчению скумбрии, палтуса и окуня морского. Сравнительные результаты исследований представлены в таблице.

Таблица. Длительность процесса холодного копчения с применением ультразвука и без него  
Table. The duration of the cold smoking process with the use of ultrasound and without it

Вид сырья	Длительность процесса без применения ультразвука, ч	Длительность процесса с применением ультразвука, ч
Скумбрия	50	30
Палтус	55	36
Окунь морской	60	42

Согласно результатам, приведенным в таблице, применение ультразвуковых колебаний позволило сократить длительность холодного копчения на 30–40 %.

#### Заключение

В результате проведенного исследования разработана уникальная конструкция технологической установки роторного типа, которая позволяет получать высококачественную продукцию любого вида копчения из мясного и рыбного сырья. Применено УЗ-воздействие на дымовоздушную смесь с целью ускорения процесса холодного копчения, а также для очистки отработанного сушильного агента.

#### Благодарности

Выражаем благодарность сотрудникам учебно-экспериментального цеха МГТУ за помощь в подготовке сырья для исследований.

#### Библиографический список

1. Аминов В. А., Похольченко В. А. Повышение надежности и адаптация технологических процессов пищевых производств при проектировании современного инновационного оборудования // Концепт: научно-методический электронный журнал. 2013. Т. 3. С. 2711–2715.
2. Похольченко В. А., Ершов М. А. Разработка принципиальной схемы и конструкции промышленной установки для копчения и вяления рыбы // Вестник ВГТА. 2011. № 1. С. 35–38.
3. Кикучи Е. Ультразвуковые преобразователи. М. : Мир, 1972. 424 с.
4. Красильников В. А. Звуковые и ультразвуковые волны в воздухе, воде и твердых телах. М. : ФИЗМАТГИЗ, 1960. 560 с.
5. Хмелев В. Н., Сливин А. Н., Барсуков Р. В. [и др.]. Применение ультразвука высокой интенсивности в промышленности. Бийск : Изд-во Алт. гос. техн. ун-та, 2010. 203 с.

#### References

1. Aminov V. A., Pohl'chenko V. A. Povyshenie nadezhnosti i adaptatsiya tehnologicheskikh protsessov pischevyh proizvodstv pri proektirovanii sovremennogo innovatsionnogo oborudovaniya [Increase of reliability and adaptation of technological processes of food manufactures at designing the modern innovative equipment] // Kontsept: nauchno-metodicheskiy elektronnyi zhurnal. 2013. V. 3. P. 2711–2715.
2. Pohl'chenko V. A., Ershov M. A. Razrabotka printsipialnoy shemy i konstruksii promyshlennoy ustanovki dlya kopcheniya i vyaleniya ryby [Development of the schematic diagram and design of an industrial plant for smoking and drying fish] // Vestnik VGTA. 2011. N 1. P. 35–38.
3. Kikuchi E. Ultrazvukovye preobrazovateli [Ultrasonic transducers]. M. : Mir, 1972. 424 p.
4. Krasil'nikov V. A. Zvukovye i ultrazvukovye volny v vozduhe, vode i tverdyh telah [Sound and ultrasonic waves in air, water and solids]. M. : FIZMATGIZ, 1960. 560 p.
5. Hmelev V. N., Slivin A. N., Barsukov R. V. [i dr.]. Primenenie ultrazvuka vysokoy intensivnosti v promyshlennosti [Application of high intensity ultrasound in industry]. Biysk : Izd-vo Alt. gos. tehn. un-ta, 2010. 203 p.

#### Сведения об авторах

**Аминов Виктор Андреевич** – ул. Спортивная, 13, г. Мурманск, Россия, 183010; Мурманский государственный технический университет, вед. электроник; e-mail: viktor-aminov@yandex.ru

**Aminov V. A.** – 13, Sportivnaya Str., Murmansk, Russia, 183010; Murmansk State Technical University, Leading Electronic Engineer; e-mail: viktor-aminov@yandex.ru

**Ильин Андрей Юрьевич** – ул. Спортивная, 13, г. Мурманск, Россия, 183010; Мурманский государственный технический университет, зам. начальника учебно-экспериментального цеха; e-mail: ilin.an@mail.ru

**I'in A. Yu.** – 13, Sportivnaya Str., Murmansk, Russia, 183010; Murmansk State Technical University, Deputy Head of Training and Experimental Shop; e-mail: ilin.an@mail.ru

V. A. Aminov, A. Yu. Il'in

## **Universal smoking installation of rotary type**

According to the research carried out by the authors the most technological installations for producing meat and fish products are oriented only on one type of raw material (meat or fish), as well as the kind of smoking (cold or hot). Limitations are related to the maximum temperature of the drying agent that affects the product; presence of the system for maintaining the relative humidity of the air mixture; presence of the smoke cooling system coming from the smoke generator and a number of other factors. Enterprises expanding the range of products are forced to purchase new equipment. With a limited production area especially for small businesses this is not convenient. In the paper, a universal smoking installation of the rotor type (USIRT) is considered for the production of both meat and fish products using cold or hot smoking. The installation is oriented to a wide range of products. The presence of the smoke cooling system will allow the production of cold smoking products, the presence of the dehumidification and humidification system for the smoke-air mixture will ensure the maintenance of the required technological regime for producing fish and meat products. Based on the example of cold smoking studies have shown that the duration of the process should be reduced while maintaining the quality of the product. For this purpose, ultrasonic (US) vibrations have been applied to the smoke-air mixture in USIRT. The studies have been carried out to identify the best type of ultrasound radiators capable of transmitting vibrations of the installation metal surface and from it to pass into the smoke-air mixture in order to intensify the process of cold smoking. The necessary power of ultrasonic generators has been determined. Comparative results of technological processes with the application of ultrasound in the production of fish products have been presented.

**Key words:** smoking, ultrasound, meat and fish raw materials, heat and mass transfer processes.