

УДК 681.518

## Модернизация малогабаритной сушильной установки для поиска оптимальных режимов с применением тепловизионного контроля

С. А. Лукин\*, А. В. Кайченев, В. В. Ерещенко, И. Ю. Селяков

\*Мурманский арктический университет, г. Мурманск, Россия;  
e-mail: [lukinsa2@mstu.edu.ru](mailto:lukinsa2@mstu.edu.ru), ORCID: <https://orcid.org/0009-0003-7121-6087>

### Информация о статье Реферат

Поступила  
в редакцию  
29.01.2024;

получена  
после доработки  
27.02.2024;

принята  
к публикации  
11.03.2024

### Ключевые слова:

холодная сушка,  
система автоматического  
управления,  
программно-аппаратный  
комплекс,  
тепловизионный  
контроль,  
энергоэффективность

Климатические особенности Мурманской области (низкая среднегодовая температура; незначительное число солнечных дней) не способствуют эффективному использованию естественных методов сушки гидробионтов и определяют применение способов искусственного обезвоживания с помощью соответствующего оборудования. Возможности судовых комплексов переработки рыбы ограничены; для снабжения населения рыбной продукцией необходимы высокопроизводительные береговые рыбообрабатывающие предприятия. Разработка и тестирование новых режимов сушки проведены с использованием малогабаритной сушильной установки УПОР-М2. В ходе исследования разработан проект модернизации сушильной установки, подобрано оборудование (тепловизионная система; модули управления заслонками и вентиляторами), осуществлена модернизация системы и выполнен ряд экспериментов по определению эффективности проведенных работ. Модернизация сушильной установки позволила повысить точность получаемых данных на 25 % (температура), 20 % (относительная влажность), 18 % (масса), осуществить дистанционное управление процессами и обеспечить надежную работу системы сушки. Дальнейшие исследования различных режимов сушки гидробионтов должны включать обновление системы регулирования подачи воздуха и повышение качества связи между элементами установки.

### Для цитирования

Лукин С. А. и др. Модернизация малогабаритной сушильной установки для поиска оптимальных режимов с применением тепловизионного контроля. Вестник МГТУ. 2024. Т. 27, № 3. С. 447–457. DOI: <https://doi.org/10.21443/1560-9278-2024-27-3-447-457>.

## Modernization of small-sized drying plant for searching optimal modes with thermovision control

Sergei A. Lukin\*, Alexandr V. Kaychenov, Victor V. Ereschenko, Ilya Yu. Selyakov

\*Murmansk Arctic University, Murmansk, Russia;  
e-mail: [lukinsa2@mstu.edu.ru](mailto:lukinsa2@mstu.edu.ru), ORCID: <https://orcid.org/0009-0003-7121-6087>

### Article info

Received  
29.01.2024;

received  
in revised form  
27.02.2024;

accepted  
11.03.2024

### Key words:

cold drying,  
automatic control system,  
computer appliance,  
thermovisional control,  
energy efficiency

### Abstract

The climatic features of the Murmansk region (low average annual temperature; insignificant number of sunny days) do not contribute to the effective use of natural methods of drying aquatic organisms and determine the use of artificial dehydration methods using appropriate equipment. The capabilities of ship fish processing complexes are limited; highly productive coastal fish processing plants are required to supply the population with fish products. The development and testing of new drying modes has been carried out using a small-sized drying unit UPOR-M2. In the course of the study, a drying unit modernization project has been developed, equipment has been selected (thermal imaging system; damper and fan control modules), the system has been modernized and a number of experiments has been conducted to determine the effectiveness of the work performed. The modernization of the drying unit has made it possible to increase the accuracy of the data obtained by 25 % (temperature), 20 % (relative humidity), 18 % (weight), to implement remote control of the processes and to ensure reliable operation of the drying system. Further research of different drying modes for aquatic organisms should include upgrading the air supply control system and improving communication equipment.

### For citation

Lukin, S. A. et al. 2024. Modernization of small-sized drying plant for searching optimal modes with thermovision control. *Vestnik of MSTU*, 27(3), pp. 447–457. (In Russ.) DOI: <https://doi.org/10.21443/1560-9278-2024-27-3-447-457>.

## Введение

Мурманский порт является крупным логистическим узлом, задействованным во внешнем товарообмене, а также логистической базой для многих российских арктических проектов. По данным системы государственного портового контроля<sup>1</sup>, около половины судозаходов в порт Мурманск приходится на рыболовные суда, что свидетельствует о важности рыбной отрасли для Мурманской области. Возможности судовых комплексов переработки рыбы ограничены; для снабжения населения рыбной продукцией необходимы высокопроизводительные береговые рыбообработывающие предприятия (Васильев и др., 2023; Алтухов, 2019).

В Мурманском арктическом университете (Ершов и др., 2004, 2006, 2011; Воинов и др., 2012; Воинов, 2013; Ершов, 2007; Гроховский и др., 2012; Селяков и др., 2013) с 2010 г. проводятся исследования по повышению эффективности переработки рыбного сырья, снижению стоимости рыбной продукции. Одним из проектов является создание и модернизация малогабаритной сушильной установки УПОР-М. Аналогичные исследования проведены в других регионах РФ (Яшонков, 2018; Яшонков и др., 2021; Петров, 2015; Семенов и др., 2021).

Целью настоящей работы является проведение ряда экспериментов по сушке рыбы в различных условиях для определения оптимальных режимов работы модернизированной сушильной установки УПОР-М2.

## Материалы и методы

Климатические особенности Мурманской области (низкая среднегодовая температура; незначительное число солнечных дней), в отличие от более теплых регионов (Desnanjaya et al., 2023; Egun et al., 2023; Al-Mahrqi et al., 2021), не способствуют эффективному использованию естественных методов сушки и определяют применение способов искусственного обезвоживания с помощью соответствующего оборудования. Разработка и тестирование новых режимов на основе работы полногабаритных промышленных установок является ресурсоемким процессом и по расходу электроэнергии, и по затрачиваемому на эксперимент сырью.

В Мурманском арктическом университете в 2014 г. разработана и введена в эксплуатацию малогабаритная сушильная установка УПОР-М (Селяков, 2015), с помощью которой осуществлялся поиск оптимальных режимов холодной сушки и процесса вяления. Внешний вид установки и разрез одной из сушильных камер представлен на рис. 1.



Рис. 1. Внешний вид и разрез УПОР-М (Селяков, 2015): 1 – пространство для сушки; 2 – опорная рама; 3 – нагреватель; 4 – рециркуляционный вентилятор; 5 – рециркуляционный воздуховод; 6 – вытяжной вентилятор; 7, 8 – датчики влажности и температуры; 9 – датчик веса сырья; 10 – контактный датчик температуры; 11 – счетчик электроэнергии

Fig. 1. UPOR-M appearance and cross-section (Selyakov, 2015): 1 – chamber; 2 – pillars; 3 – electro heater; 4 – recycle fan; 5 – recycle duct; 6 – extractor fan; 7, 8 – temperature and humidity sensors; 9 – weight sensor; 10 – temperature sensor; 11 – electricity meter

Необходимость в исследовании новых режимов и способов реализации сушки рыбы (Ершов, 2017, 2018), а также ряд недостатков в исходной установке обусловили проведение ряда работ по усовершенствованию УПОР-М (Ерещенко и др., 2014, 2015, 2016; Ионов и др., 2017; Кайченев и др., 2023; Ионов и др., 2018).

<sup>1</sup> См.: Free AIS Ship Tracker // VesselFinder. URL : vesselfinder.com ; Судозаходы в порты РФ // Информационная система государственного портового контроля. Модуль "Регистрация заходов и отходов судов в морских портах Российской Федерации". URL: <https://portcall.marinet.ru/index.php>.

Основные изменения затрагивали систему управления и программное обеспечение. Структурная схема исходной установки УПОР-М представлена на рис. 2.

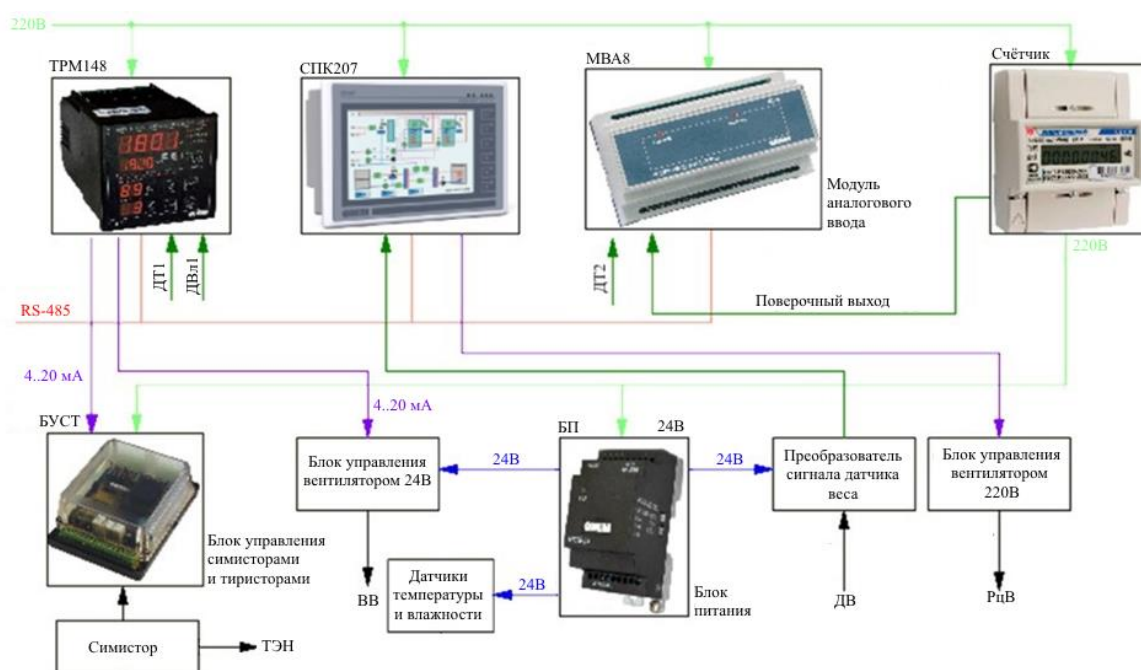


Рис. 2. Структурная схема системы управления УПОР-М  
Fig. 2. Structure of UPOR-M control system

Настройка нового режима работы является длительным и сложным процессом, так как использующийся пропорционально-интегрально-дифференцирующий (ПИД) регулятор ОВЕН-ТРМ-48 обладает ограниченным функционалом по учету дополнительных факторов и способов настройки параметров. Управляющий системой программируемый логический контроллер (ПЛК) ОВЕН-СПК-207 снят с производства и не поддерживается изготовителем, что ограничивает возможности по внедрению новых программных функций при отсутствии интеграции новых библиотек в старую версию среды разработки CoDeSys.

Управление установкой и контроль параметров процесса без непосредственного присутствия обслуживающего персонала возле установки УПОР-М не возможны, что является затрудняющим фактором при проведении длительных процессов (сутки и более).

Следует учитывать старение компонентов исходной системы; например, датчики РЭЛСИБ-ДВТ-03 уже не обеспечивают приемлемую точность измерений (отклонение показаний датчика от реальных значений достигает 26 %), а наличие у данных устройств по одному аналоговому выводу на каждый измерительный канал (температура и относительная влажность) усложняет систему, требуя дополнительных модулей аналогового ввода.

В ходе модернизации исходной установки произведено разделение структурно обновленной системы на четыре основные части:

- щит управления, включающий комплектующие для управления основными узлами УПОР-М2, человеко-машинный интерфейс и разъемы для подключения внешнего ПК и Wi-Fi-роутера;
- силовой щит, содержащий симисторы и блоки управления ими, промежуточные реле и контакторы;
- щит управления камерой подготовки;
- щит сбора данных с камер обезвоживания, включающий модуль ввода сигналов тензодатчиков; блок питания; выводные клеммы для передачи в щит управления показаний датчиков температуры и влажности и модулей тепловизионного контроля.

Обновленная структурная схема системы управления УПОР-М2 представлена на рис. 3.

Модернизированная установка может работать как в виде отдельной системы, так и под управлением настроенного внешнего компьютера со специализированным программным обеспечением ОС Manjaro Linux, исполняющим роль SCADA-системы. Для связи с компьютером и системой внутреннего тепловизионного контроля предусмотрен Wi-Fi роутер. В качестве основного устройства управления системой используется сенсорный панельный контроллер ОВЕН-СПК-107, имеющий связь с остальной системой с помощью нескольких интерфейсов RS-485, а с внешним компьютером – с помощью интерфейса Ethernet (протокол MQTT). Также СПК-107 используется для сохранения данных об эксперименте на внешний Flash-носитель. Преимуществом подобного решения является возможность контроля и управления процессом различными способами: с автоматизированного рабочего места оператора; с внешнего компьютера; через web-визуализацию,

доступ к которой обеспечен с помощью сети Интернет. Сенсорный экран позволяет получить данные о процессе и произвести изменение параметров без подключения к системе монитора. Для дополнительного извещения о выходе контролируемых параметров за допустимые пределы служит встроенный звуковой пьезоизлучатель.

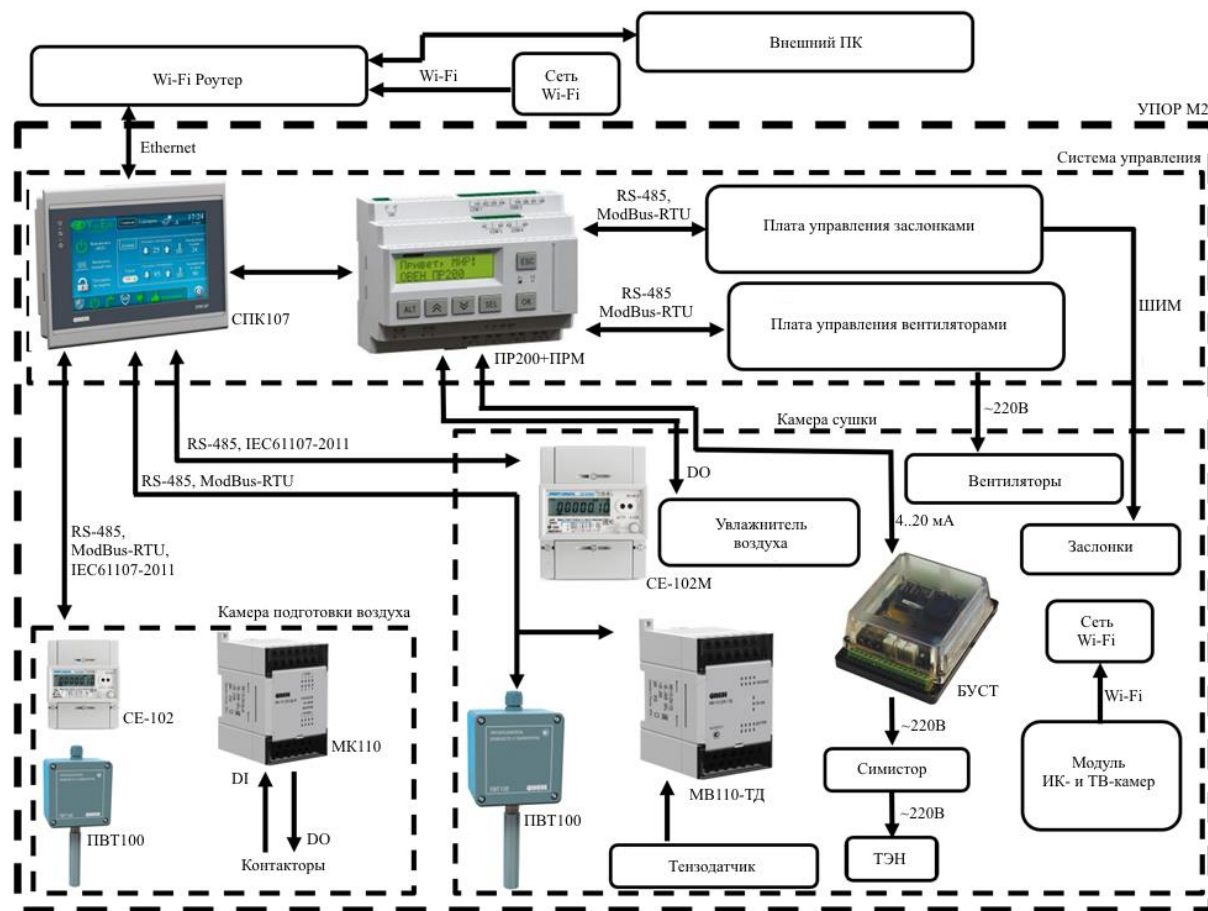


Рис. 3. Обновленная структурная схема управления УПОР-М2  
 Fig. 3. Structure of updated UPOR-M2 control system

Одно из основных отличий модернизированной установки – включение в систему камеры подготовки сушильного агента, предназначенной для предварительного подогрева и осушения внешнего воздуха. Основными элементами камеры подготовки являются осушитель, нагреватель воздуха камеры, система принудительной разморозки осушителя, датчик температуры и влажности ОВЕН-ПВТ-100, счетчик электроэнергии "Энергомера"-СЕ-102М. Для управления силовыми элементами камеры подготовки предназначен модуль дискретного ввода-вывода ОВЕН-МК-110 с набором модульных контакторов. Связь с датчиком, счетчиком и модулем ввода-вывода осуществляется с использованием интерфейса RS-485. Камера подготовки имеет систему гибких воздухопроводов, что позволяет подключать к ней различные устройства осушения воздуха, в том числе холодильные камеры для проведения процессов обезвоживания при отрицательных температурах.

В обновленной системе предусмотрено наличие заслонок на воздухопроводах, с помощью которых осуществляется регулировка подачи воздуха к сушильным камерам. Для управления сервоприводами заслонок при применении ШИМ-сигнала предназначено специально разработанное устройство на базе микроконтроллера и преобразователей сигнала.

В систему добавлено устройство для корректировки частоты вращения приточных и вытяжных вентиляторов сушильных камер, что позволяет изменять скорость потока сушильного агента и соотношение приточного и рециркуляционного воздуха, поступающего в камеру.

Для управления устройствами, регулирующими положение заслонок и частоту вращения вентиляторов (с использованием интерфейса RS-485, протокол ModBus-RTU), контакторы и реле нагревателей, увлажнителей, вентиляторов и освещения камер (релейные выходы), а также блоки управления симисторами нагревателей (аналоговый вывод в диапазоне 4–20 мА), используется программируемое реле ОВЕН-ПР-200 с модулями расширения ПРМ-1 и ПРМ-3; предусмотрена функция введения программируемого реле в режим ручного управления выводами для отладки работы системы.



Измерение веса объекта в обновленной системе производится с использованием тензодатчика, сигнал с которого поступает на модуль аналогового ввода ОВЕН-МВ110-ТД. Модуль связан с СПК-107 с помощью интерфейса RS-485 (протокол ModBus-RTU). По результатам отладочных экспериментов в программное обеспечение установки добавлена функция корректировки показаний веса в зависимости от температуры в камере.

Для изменения влажности воздуха в сушильных камерах разработаны увлажнительные модули, состоящие из емкости с водой, испарителя влаги, защитного сигнализатора уровня, нагнетающего вентилятора, обратного клапана, системы слива и набора воды и системы воздухопроводов от емкости до соответствующей камеры. Интенсивность увлажнения воздуха в сушильной камере регулируется посредством изменения периода работы испарителя.

Важным изменением установки по отношению к предыдущим ее версиям является применение системы тепловизионного контроля температуры поверхности объекта сушки. Основными элементами системы являются инфракрасная камера Melexis-MLX90640 и микроконтроллерный модуль ESP32-CAM с телевизионной (ТВ) камерой OV2640. Данные компоненты объединены в общий блок в модульном корпусе с антенной под монтажную рейку ТН-35. Связь с внешней системой осуществляется с помощью технологии Wi-Fi, получение и обработка изображений в настоящий момент возможны только при использовании УПОР-М2 совместно с управляющим компьютером. Применение данного способа контроля температуры позволяет получать больше информации о температурном поле вокруг объекта обезвоживания, чем при использовании одного датчика температуры (или температуры и влажности), установленного на некотором расстоянии от обрабатываемого сырья. При этом обеспечивается визуальное наблюдение за сырьем без вскрытия секции обезвоживания. Данная возможность обеспечивается благодаря внедренной системе светодиодного освещения. Пример получаемого изображения представлен на рис. 4.

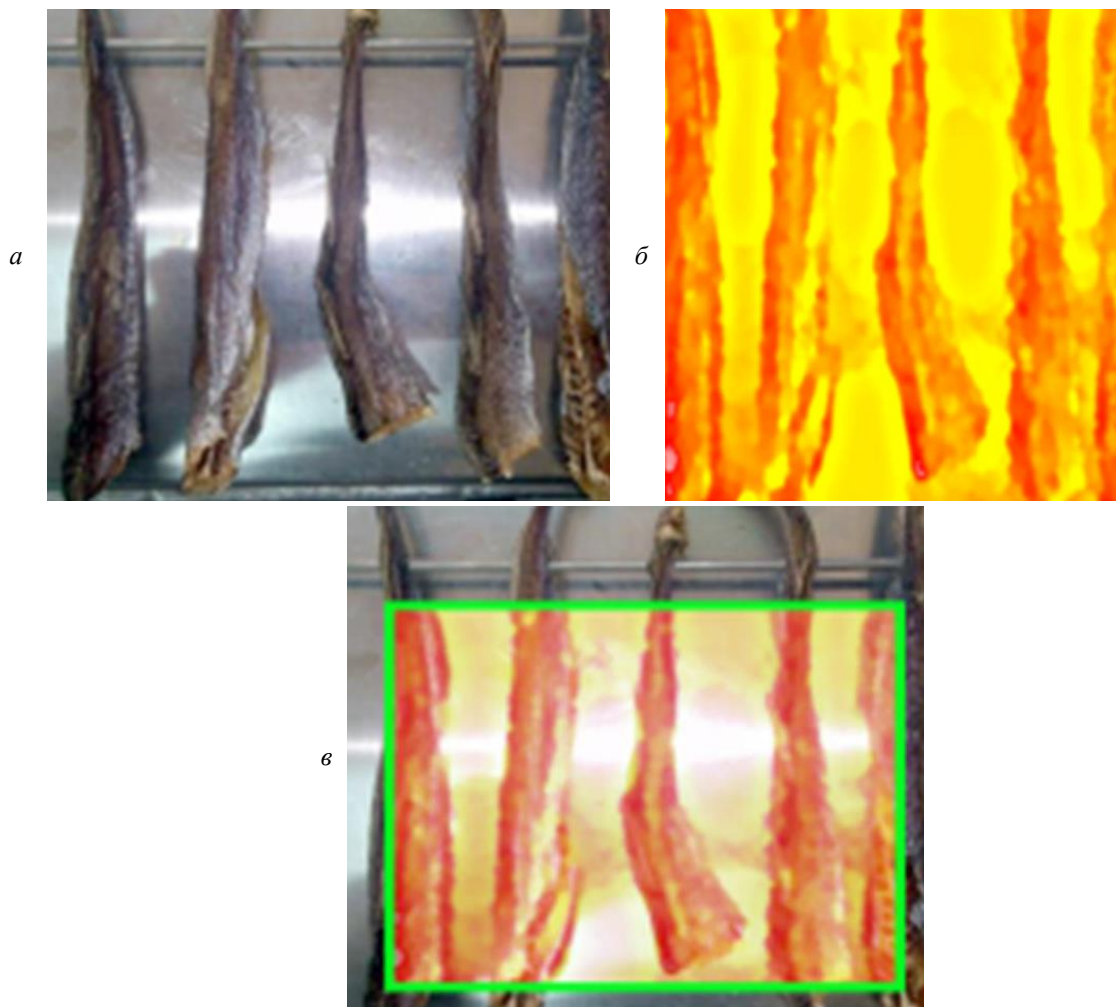


Рис. 4. Использование модуля тепловизионного контроля в процессе тестовой сушки рыбного сырья:  
*а* – изображение с экрана ТВ-камеры; *б* – изображение с экрана тепловизионной камеры;  
*в* – наложение изображений с экранов ТВ- и тепловизионной камер

Fig. 4. Image from thermovision module during test fish drying: *a* – image from video camera;  
*б* – image from thermal camera; *в* – video and thermal camera images superposition

Установка УПОР-М2 предназначена для определения энергоэффективности различных режимов сушки, каждый из основных потребителей энергии (система управления, камера подготовки, четыре сушильных камеры, внешний компьютер с роутером) оснащен счетчиком электроэнергии "Электромера"-СЕ-102М R-148. Счетчики передают показания в СПК-107 с помощью интерфейса RS-485 (протокол IEC61107-2011), что позволяет оценить энергопотребление в ходе процесса, реализовать функции защиты системы при низком/высоком напряжении питания, а также при выходе за допустимые параметры значений силы тока в цепях исполнительных устройств.

### Результаты и обсуждение

После модернизации УПОР-М2 проведены пусконаладочные работы, включающие эксперименты в одной секции обезвоживания, что позволило получить данные об энергоэффективности исследуемых методов сушки рыбы и предельных значениях параметров обновленной установки.

Графики изменения регулируемых и контролируемых величин в процессе проведения одного из экспериментов представлены на рис. 5–7, где использованы следующие обозначения:

$T$  – температура, °С;  $T_{уст}$  – температура уставки;  $T_{тек}$  – температура в сушильной камере в процессе эксперимента;  $T_{внешн}$  – температура во внешней среде;  $T_{суш. аг}$  – температура в камере подготовки (рис. 5);

$RH$  – относительная влажность, %;  $RH_{уст}$  – влажность уставки;  $RH_{тек}$  – влажность в сушильной камере в процессе эксперимента;  $RH_{внешн}$  – влажность во внешней среде;  $RH_{суш. аг}$  – влажность в камере подготовки (рис. 6);

$M$  – масса, г;  $M_{нач}$  – масса в первый момент эксперимента;  $M_{тек}$  – масса в сушильной камере в процессе эксперимента (рис. 7).

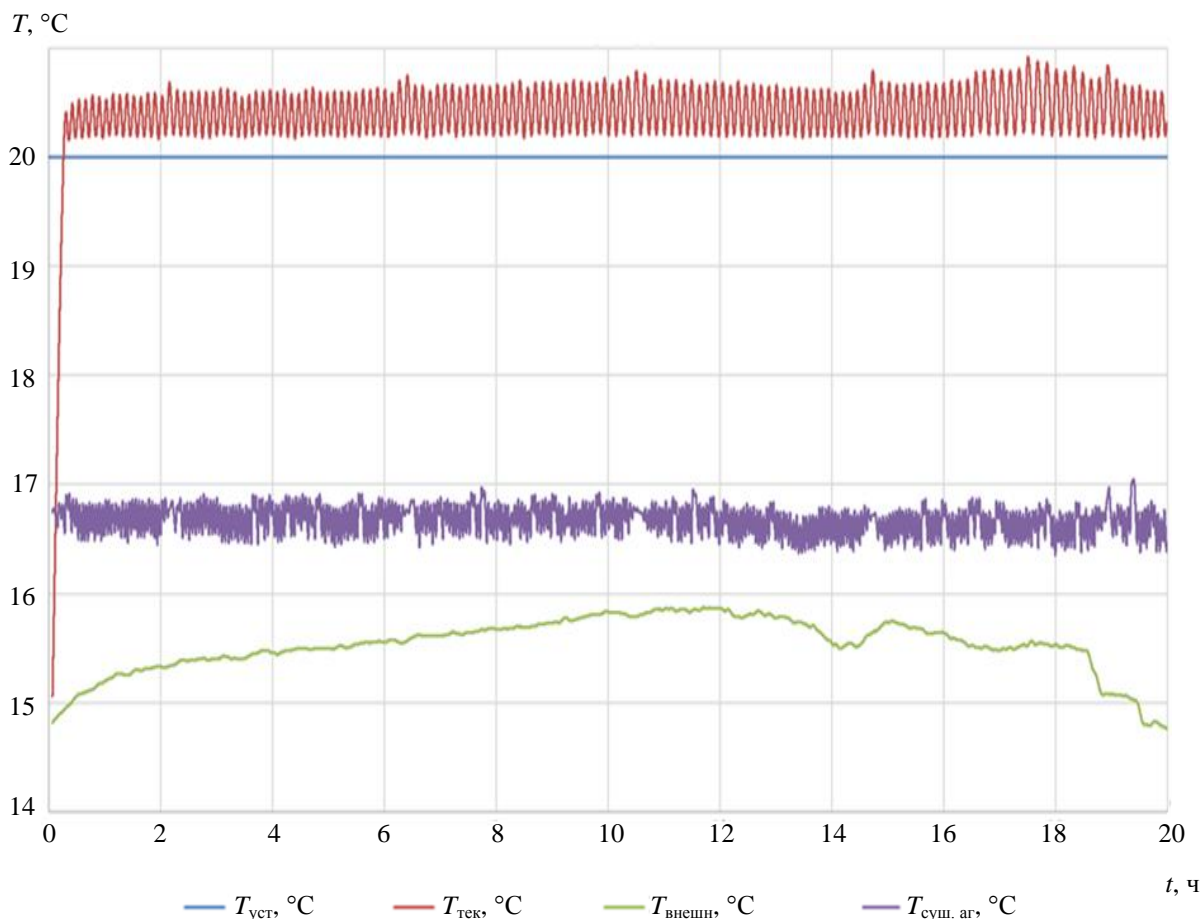


Рис. 5. Графики изменения температуры в сушильной камере в процессе эксперимента  
Fig. 5. Temperature change graph during the experiment

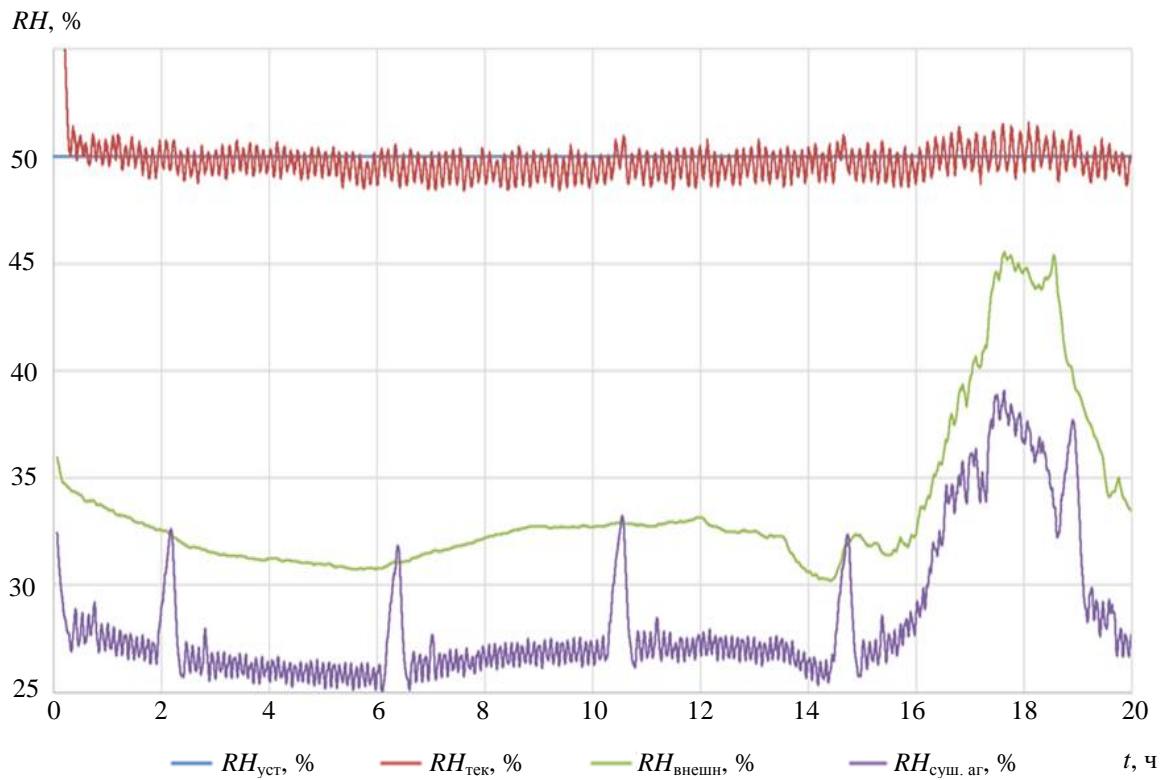


Рис. 6. Графики изменения относительной влажности в сушильной камере в процессе эксперимента  
Fig. 6. Relative humidity change graph during the experiment

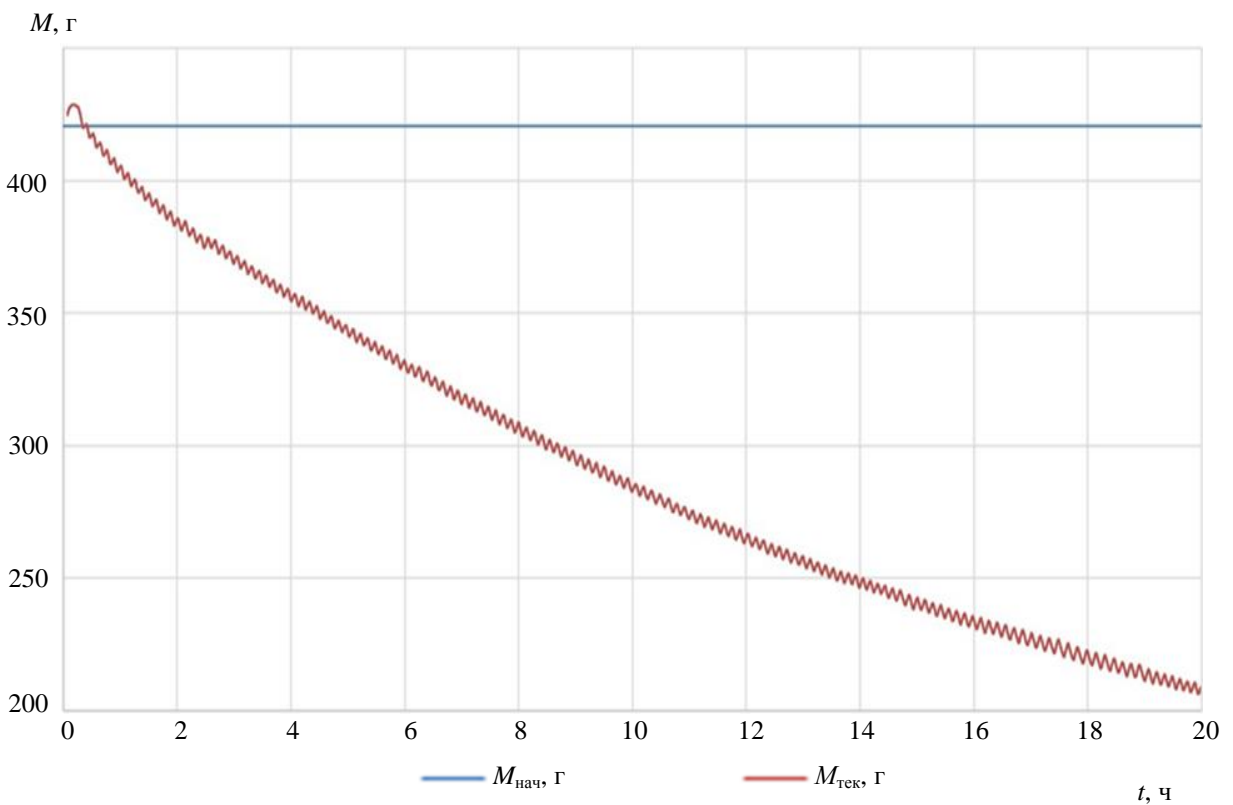


Рис. 7. Графики изменения массы рыбы в процессе эксперимента  
Fig. 7. Mass change graph during the experiment

Из приведенных графиков видно, что система автоматически осуществляет считывание и архивацию значений величин в ходе процесса один раз в секунду, что отражается в большом количестве колебаний при активном нагреве/увлажнении воздуха в камерах подготовки и сушки. Анализ графиков позволяет сделать выводы о достаточной стабильности поддержания температуры воздуха в камере подготовки, что обеспечивает одинаковые условия в случае проведения одновременных сравнительных экспериментов в нескольких камерах и снижает зависимость процесса обезвоживания от значений параметров внешнего воздуха.

Результаты эксперимента показывают, что система получает данные и регулирует температуру и влажность в соответствии с заданным значением с отклонением в пределах 1 % (температура), 6 % (относительная влажность); 10 % (масса).

Проведенные эксперименты позволили выявить недостатки в работе модернизированной установки УПОР-М2. Так, в системе отсутствуют датчики потока воздуха для определения воздействия приточного и вытяжного сушильного агента на сырье, а также реализации обратной связи для регулирования скорости потока воздуха в камерах. Одним из направлений дальнейших работ может стать осуществление беспроводной связи между большим числом элементов системы (применение технологии Wi-Fi или MQTT). Для снижения энергетических и временных затрат при настройке системы управления на новый режим обработки рыбного сырья планируется внедрение элементов интеллектуального управления в форме регуляторов на основе нечеткой логики и искусственных нейронных сетей.

### **Заключение**

Недостатки исходной сушильной установки УПОР-М заключаются в низкой точности измерений, сложной настройке нового режима работы, недостаточном уровне предоставления информации оператору. В ходе исследования разработан проект модернизации сушильной установки, подобрано оборудование (тепловизионная система; модули управления заслонками и вентиляторами), осуществлена модернизация системы и выполнен ряд экспериментов по определению эффективности проведенных работ.

Модернизация сушильной установки позволила повысить точность получаемых данных на 25 % (температура), 20 % (относительная влажность), 18 % (масса), осуществить дистанционное управление процессами и обеспечить надежную работу системы сушки. Дальнейшие исследования различных режимов сушки гидробионтов должны включать обновление системы регулирования подачи воздуха и повышение качества связи между элементами установки.

### **Благодарности**

Оборудование и работы по модернизации УПОР-М выполнены за счет гранта Российского научного фонда № 22-26-20116 и гранта Министерства образования и науки Мурманской области по направлению "Проведение фундаментальных научных исследований и поисковых научных исследований малыми отдельными научными группами" на основании соглашения № 103 от 13.04.2022 г. между Министерством образования и науки Мурманской области и Мурманским государственным техническим университетом.

### **Конфликт интересов**

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

### **Библиографический список**

- Алтухов А. И. Парадигма продовольственной безопасности России. М. : Фонд "Кадровый резерв", 2019. 685 с. EDN: JYUYLN.
- Васильев А. М., Лисунова Е. А. Возможно ли изменить ценообразование на арктическую рыбу? // Арктика и Север. 2023. № 52. С. 32–43. DOI: <https://doi.org/10.37482/issn2221-2698.2023.52.32>. EDN: YMNGCZ.
- Вотинов М. В. Телематическое оснащение технологических процессов термической обработки гидробионтов // Рыбное хозяйство. 2013. № 4. С. 97–100. EDN: RFWHSZ.
- Вотинов М. В., Ершов М. А., Маслов А. А. Исследование энергоэффективности процессов сушки гидробионтов в пищевой рыбной промышленности // Рыбное хозяйство. 2012. № 4. С. 115–117. EDN: PGFZDF.
- Гроховский В. А., Морозов Н. Н. Использование электрофизических методов в технологии холодного бездымного копчения гидробионтов // Вестник МГТУ. 2012. Т. 15, № 1. С. 26–34. EDN: RGQUDR.
- Ерещенко В. В., Жук А. А. Модернизация малогабаритной установки для поиска оптимальных технологических режимов сушки сырья. Разработка плат управления исполнительными механизмами и сбора данных с интерфейсом RS-232 и поддержкой протокола MODBUS RTU // Наука производству : материалы междунар. науч.-практ. конф., Мурманск, 24–27 марта 2015 г. Мурманск : Изд-во МГТУ, 2015. С. 21–26. EDN: VFYHFR.



- Ерещенко В. В., Селяков И. Ю., Маслов А. А., Кайченев А. В. [и др.]. Модернизация малогабаритной установки для поиска оптимальных технологических режимов сушки сырья // *Техника и технологии: пути инновационного развития : сборник науч. тр. 4-й Междунар. науч.-практ. конф., Курск, 30 июня 2014 г. Курск : Университетская книга, 2014. С. 110–114. EDN: SZJXJF.*
- Ерещенко В. В., Столянов А. В., Ершов М. А., Жук А. А. Разработка климатической камеры для малогабаритной сушильной установки УПОР-М // *Наука – производству : материалы междунар. науч.-практ. конф., Мурманск, 22–25 марта 2016 г. Мурманск : Изд-во МГТУ, 2016. С. 43–47. EDN: WKRZOB.*
- Ершов А. М., Ершов М. А., Мазаников А. А., Николаенко О. А. Определение коэффициентов диффузии влаги в рыбе при обезвоживании // *Вестник МГТУ. 2004. Т. 7, № 1. С. 31–34. EDN: ПУСЦП.*
- Ершов М. А. Изучение релаксационных процессов в обезвоженном поверхностном слое рыбы // *Современные эколого-биологические и химические исследования, техника и технология производств : материалы междунар. науч.-практ. конф., Мурманск, 7 апреля 2017 г. : в 2 ч. Ч. 2. Мурманск : Изд-во МГТУ, 2017. С. 59–63. EDN: JZBTTT.*
- Ершов М. А. Научное обоснование технологии обезвоживания рыбы с использованием релаксационных процессов // *Рыбное хозяйство. 2018. № 6. С. 98–100. EDN: POJJCZ.*
- Ершов М. А. Совершенствование методов расчета обезвоживания в процессах холодного копчения и вяления рыбы : автореф. дис. ... канд. техн. наук. Мурманск, 2007. 23 с.
- Ершов М. А., Ершов А. М., Николаенко О. А. Расчетный метод определения влажности на поверхности рыбы в процессах обезвоживания // *Вестник МГТУ. 2006. Т. 9, № 4. С. 707–709. EDN: ICJWFD.*
- Ершов, М. А., Николаенко О. А. Методика расчета процессов обезвоживания при холодном копчении и вялении рыбы // *Вестник Воронежской государственной технологической академии. 2011. № 1(47). С. 27–29. EDN: RTVRHN.*
- Ионов Н. А., Ерещенко В. В. Разработка системы подготовки воздуха для установки поиска режимов сушки пищевого сырья // *Современные эколого-биологические и химические исследования, техника и технология производств : материалы междунар. науч.-практ. конф., Мурманск, 7 апреля 2017 г. : в 2 ч. Ч. 2. Мурманск : Изд-во МГТУ, 2017. С. 133–137. EDN: YOLGFK.*
- Ионов Н. А., Ерещенко В. В., Маслов А. А., Ершов М. А. Разработка системы кондиционирования воздуха в составе установки по поиску режимов обезвоживания рыбы // *Современные эколого-биологические и химические исследования, техника и технология производств : материалы междунар. науч.-практ. конф., Мурманск, 25 апреля 2018 г. Мурманск : Изд-во МГТУ, 2018. С. 238–243. EDN: YOANRJ.*
- Кайченев А. В., Ерещенко В. В., Яценко В. В., Селяков И. Ю. Многоконтурная система управления процессом конвективного обезвоживания рыбного сырья // *Вестник Тамбовского государственного технического университета. 2023. № 2. С. 254–262. DOI: <https://doi.org/10.17277/vestnik.2023.02.pp.254-262>. EDN: DDOEDI.*
- Петров Д. С. Способ управления процессом подсушки мелкой морской рыбы перед холодным копчением // *Вестник Новгородского государственного университета. 2015. № 3–1(86). С. 26–30. EDN TZQSYR.*
- Селяков И. Ю. Повышение энергоэффективности процессов конвективного обезвоживания при производстве копченой и вяленой рыбы : дис. ... канд. техн. наук. Мурманск, 2015. 209 с. EDN: SHBDOF.
- Селяков И. Ю., Маслов А. А., Ершов М. А., Кайченев А. В. [и др.]. Оценка энергоэффективности введения режимов релаксации на универсальной копильно-сушильной установке // *Рыбное хозяйство. 2013. № 6. С. 111–115. EDN: RWGHOD.*
- Семенов А. Е., Андреев А. И., Цыплаков А. А. Анализ системы кондиционирования воздуха при вялении рыбы // *Научные исследования и инновации : сб. избранных ст. II Междунар. науч.-практ. конф., Саратов, 14 января 2021 г. Саратов : Цифровая наука, 2021. С. 31–39. EDN: KZBFAP.*
- Яшонков А. А. Теоретическое и экспериментальное исследование кинетики процесса сушки при производстве сушеной рыбной продукции // *Вестник Камчатского государственного технического университета. 2018. № 44. С. 63–69. DOI: <https://doi.org/10.17217/2079-0333-2018-44-63-69>.*
- Яшонков А. А., Устинова М. Э., Косачев В. С. Анизотропная модель кинетики теплообмена в процессе сушки кубика рыбного филе // *Вестник Керченского государственного морского технологического университета. 2021. № 4. С. 274–286. DOI: [https://doi.org/10.47404/2619-0605\\_2021\\_4\\_274](https://doi.org/10.47404/2619-0605_2021_4_274). EDN: FIJKIM.*
- Al-Mahruqi N. S., Al-Ismaili A. M. A review on solar drying of fish // *Journal of Agricultural and Marine Sciences. 2021. Vol. 6, Iss. 2. P. 1–9. DOI: <https://doi.org/10.53541/jams.vol26iss2pp1-9>.*
- Desnanjaya I G. M. N., Wiguna I K. A. G., Nugraha I M. A. Fish drying machine with PV system for fisherman to support blue economy // *Bulletin of Electrical Engineering and Informatics. 2023. Vol. 12, N 3. P. 1352–1358. DOI: <https://doi.org/10.11591/eei.v12i3.4690>.*
- Egun N. K., Imadonmwiniyi O. O., Iyoha V. E., Oboh I. P. Fish processing and nutrient availability: A study on the effect of drying methods on the nutritional content of selected fish species // *Food and Environment Safety Journal. 2023. Vol. 22, N 1. P. 50–58. DOI: <https://doi.org/10.4316/fens.2023.005>.*

## References

- Altukhov, A. 2019. Paradigm of food security of Russia. Moscow. EDN: JYYYYLH. (In Russ.)
- Vasilyev, A. M., Lisunova, E. A. 2023. Is it possible to change arctic fish pricing? *Arctic and North*, 52, pp. 32–43. DOI: <https://doi.org/10.37482/issn2221-2698.2023.52.32>. EDN: YMNGCZ. (In Russ.)
- Votinov, M. 2013. Telematics equipment of technological processes of hydrobionts heat treatment. *Fisheries*, 4, pp. 97–100. EDN: RFWHSZ. (In Russ.)
- Votinov, M., Ershov, M., Maslov, A. 2012. Investigation of energetic efficiency of processes of hydrobionts drying in fish processing industry. *Fisheries*, 4, pp. 115–117. EDN: PGFZDF. (In Russ.)
- Grokhovskiy, V., Morozov, N. 2012. The use of electrophysical methods in the technology of cold smokeless smoking of hydrobionts. *Vestnik of MSTU*, 15(1), pp. 26–34. EDN: RGQUDR. (In Russ.)
- Ereschenko, V., Zhuk, A. 2015. Modernization of a small-sized installation to search for optimal technological modes of drying raw materials. Development of control boards for actuators and data acquisition with RS-232 interface and support for MODBUS RTU protocol. Proceedings of the Intern. scien.-pract. conf. *Science – to Production*, Murmansk, 24–27 March, 2015. Murmansk, pp. 21–26. EDN: VFYHFR. (In Russ.)
- Ereschenko, V., Selyakov, I., Maslov, A., Kaichenov, A. V. 2014. Modernization of a small-sized installation to search for optimal technological modes of drying raw materials. Coll. of articles of the 4th Intern. scien.-pract. conf. *Engineering and Technology: Ways of Innovative Development*, Kursk, 30 June, 2014. Kursk, pp. 110–114. EDN: SZJXJF. (In Russ.)
- Ereschenko, V., Stolyanov, A., Ershov, M., Zhuk, A. 2016. Development of a climate chamber for a small-sized drying plant UPOR-M. Proceedings of the Intern. scien.-pract. conf. *Science – to Production*, Murmansk, 22–25 March, 2016. Murmansk, pp. 43–47. EDN: WKRZOB. (In Russ.)
- Ershov, A., Ershov, M., Mazanikov, A., Nikolaenko, O. 2004. Determination of moisture diffusion coefficients in fish during dehydration. *Vestnik of MSTU*, 7(1), pp. 31–34. EDN: IYCIJ. (In Russ.)
- Ershov, A. 2017. Relaxation processes in the dehydrated surface layer of fish study. Proceedings of the Intern. scien.-pract. conf. *Modern ecological-biological and chemical research, engineering and production technology*, Murmansk, 7 April, 2017. In 2 parts. Part 2. Murmansk, pp. 59–63. EDN: JZBTIT. (In Russ.)
- Ershov, A. 2018. Scientific basis for fish dehydration technology using relaxation processes. *Fisheries*, 6, pp. 98–100. EDN: POJJCZ. (In Russ.)
- Ershov, M. A. 2007. Improvement of methods for calculating dehydration in the processes of cold smoking and drying fish. Abstract of Ph.D. dissertation. Murmansk. (In Russ.)
- Ershov, M., Ershov, A., Nikolaenko, O. 2006. Calculation method for determining the moisture content on the surface of fish in the processes of dehydration. *Vestnik of MSTU*, 9(4), pp. 707–709. EDN: ICJWFD. (In Russ.)
- Ershov, M., Nikolaenko, O. 2011. Methods of calculating the process of dehydration in cold smoked and dried fish. *Vestnik of VSTA*, 1(47), pp. 27–29. EDN: RTVRHN. (In Russ.)
- Ionov, N., Ereschenko, V. 2017. Development of an air preparation system for the installation of a search for drying modes of food raw materials. Proceedings of the Intern. scien.-pract. conf. *Modern ecological, biological and chemical research, technology and production technology*, Murmansk, 7 April, 2017. In 2 parts. Part 2. Murmansk, pp. 133–137. EDN: YOLGFK. (In Russ.)
- Ionov, N., Ereschenko, V., Maslov, A., Ershov, M. 2018. Development of an air conditioning system as part of an installation for searching for fish dehydration modes. Proceedings of the Intern. scien.-pract. conf. *Modern ecological, biological and chemical research, technology and production technology*, Murmansk, 25 April, 2018. Murmansk, pp. 238–243. EDN: YOHRJ. (In Russ.)
- Kaychenov, A., Ereschenko, V., Yatsenko, V., Selyakov, I. 2023. A multi-loop control system for the processing of convective dehydration of fish raw materials. *Vestnik of TSTU*, 2, pp. 254–262. DOI: <https://doi.org/10.17277/vestnik.2023.02.pp.254-262>. EDN: DDOEDI. (In Russ.)
- Petrov, D. 2015. The method of control of small sea fish predrying before cold smoking. *Vestnik NOVSVU*, 3–1(86), pp. 26–30. EDN TZQSYR. (In Russ.)
- Selyakov, I. Yu. 2015. Improving the energy efficiency of convective dehydration processes in the production of smoked and dried fish. Ph.D. Thesis. Murmansk. EDN: SHBDOF. (In Russ.)
- Selyakov, I., Maslov, A., Ershov, M., Kaychenov, A. et al. 2013. Estimation of power efficiency of introduction of relaxation mode at universal smoking drying plant. *Fisheries*, 6, pp. 111–115. EDN: RWGHOD. (In Russ.)
- Semenov, A., Andreev, A., Tsyplakov, A. 2021. Air conditioning analysis drying fish. Coll. of articles of the II Intern. scien.-pract. conf. Saratov, 14 January, 2021. Saratov, pp. 31–39. EDN: KZBFAP. (In Russ.)
- Yashonkov, A. 2018. Theoretical and experimental studies of the drying process kinetics in the output of dried fish products. *Bulletin of Kamchatka State Technical University*, 44, pp. 63–69. DOI: <https://doi.org/10.17217/2079-0333-2018-44-63-69>. (In Russ.)
- Yashonkov, A., Ustinova, M., Kosachev, V. 2021. Anisotropic model of heat transfer kinetics in the process of drying a fish fillet cube. *Bulletin of the Kerch State Marine Technological University*, 4, pp. 274–286. DOI: [https://doi.org/10.47404/2619-0605\\_2021\\_4\\_274](https://doi.org/10.47404/2619-0605_2021_4_274). EDN: FIJKIM. (In Russ.)

- Al-Mahruqi, N. S., Al-Ismaili, A. M. 2021. A review on solar drying of fish. *Journal of Agricultural and Marine Sciences*, 6(2), pp. 1–9. DOI: <https://doi.org/10.53541/jams.vol26iss2pp1-9>.
- Desnanjaya, I G. M. N., Wiguna, I K. A. G., Nugraha, I M. A. 2023. Fish drying machine with PV system for fisherman to support blue economy. *Bulletin of Electrical Engineering and Informatics*, 12(3), pp. 1352–1358. DOI: <https://doi.org/10.11591/eei.v12i3.4690>.
- Egun, N. K., Imadonmwiniyi, O. O., Iyoha, V. E., Oboh, I. P. 2023. Fish processing and nutrient availability: A study on the effect of drying methods on the nutritional content of selected fish species. *Food and Environment Safety Journal*, 22(1), pp. 50–58. DOI: <https://doi.org/10.4316/fens.2023.005>.

#### Сведения об авторах

**Лукин Сергей Андреевич** – ул. Спортивная 13, г. Мурманск, Россия, 183010;  
Мурманский арктический университет, ассистент;  
e-mail: [lukinsa2@mstu.edu.ru](mailto:lukinsa2@mstu.edu.ru), ORCID: <https://orcid.org/0009-0003-7121-6087>

**Sergei A. Lukin** – 13 Sportivnaya Str., Murmansk, Russia, 183010; Murmansk Arctic University,  
Assistant Lecturer; e-mail: [lukinsa2@mstu.edu.ru](mailto:lukinsa2@mstu.edu.ru), ORCID: <https://orcid.org/0009-0003-7121-6087>

**Кайченов Александр Вячеславович** – ул. Спортивная 13, г. Мурманск, Россия, 183010;  
Мурманский арктический университет, д-р техн. наук;  
e-mail: [kaychenovav@mstu.edu.ru](mailto:kaychenovav@mstu.edu.ru), ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-0358-8888>

**Alexandr V. Kaychenov** – 13 Sportivnaya Str., Murmansk, Russia, 183010;  
Murmansk Arctic University, Dr Sci. (Engineering);  
e-mail: [kaychenovav@mstu.edu.ru](mailto:kaychenovav@mstu.edu.ru), ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-0358-8888>

**Ерещенко Виктор Валерьевич** – ул. Спортивная 13, г. Мурманск, Россия, 183010;  
Мурманский арктический университет, ст. преподаватель;  
e-mail: [ereshchenkovv2@mstu.edu.ru](mailto:ereshchenkovv2@mstu.edu.ru)

**Victor V. Ereschenko** – 13 Sportivnaya Str., Murmansk, Russia, 183010; Murmansk Arctic University,  
Senior Lecturer; e-mail: [ereshchenkovv2@mstu.edu.ru](mailto:ereshchenkovv2@mstu.edu.ru)

**Сеяков Илья Юрьевич** – ул. Спортивная 13, г. Мурманск, Россия, 183010;  
Мурманский арктический университет, канд. техн. наук, доцент;  
e-mail: [selyakoviyu@mstu.edu.ru](mailto:selyakoviyu@mstu.edu.ru), ORCID: <https://orcid.org/0009-0002-0801-8363>

**Илья Ю. Селяков** – 13 Sportivnaya Str., Murmansk, Russia, 183010; Murmansk Arctic University,  
Cand. Sci. (Engineering), Associate Professor;  
e-mail: [selyakoviyu@mstu.edu.ru](mailto:selyakoviyu@mstu.edu.ru), ORCID: <https://orcid.org/0009-0002-0801-8363>