

УДК 664.951.6

А. А. Маслов, А. В. Столянов, А. В. Кайченев, Л. К. Куранова

## **Предварительный подбор режима стерилизации консервов "Скумбрия атлантическая натуральная с добавлением масла" на основе разработанных математических моделей процесса**

Целью данной работы является определение предварительных параметров режима стерилизации консервов "Скумбрия атлантическая натуральная с добавлением масла". Для предварительного подбора используется разработанное на кафедре автоматики и вычислительной техники программное обеспечение PRSC "Подбор режимов стерилизации консервов". Для определения параметров модели процесса был проведен предварительный пробный процесс стерилизации и охлаждения в воде с противодавлением консервов "Скумбрия атлантическая натуральная с добавлением масла" в банке № 3 в лабораторном автоклаве АВК-30М. Сбор информации о температуре в стерилизационной камере автоклава и банке с продуктом осуществлялся с помощью логгеров Ellab TrackSense PRO. На основании полученной информации определены три передаточные функции для модели продукта: в наименее прогреваемой области автоклава, средней по прогреву и наиболее прогреваемой. По этим данным в программе PRSC построены временные температурные зависимости в стерилизационной установке. После проведения пробной автоклавоварки получена модель процесса стерилизации консервов "Скумбрия атлантическая натуральная с добавлением масла". Далее в автоматическом режиме подобран режим стерилизации консервов "Скумбрия атлантическая натуральная с добавлением масла" по значению фактической летальности близкому к нормативному стерилизующему эффекту (5,9 усл. минут). Также в данной работе подобран ступенчатый режим стерилизации консервов "Скумбрия атлантическая натуральная с добавлением масла". Использование ступенчатого режима стерилизации с максимальной температурой 125 °С в стерилизационной камере позволяет сократить продолжительность процесса до 10 %. Однако применение такого режима на практике требует дополнительных исследований. Использование описанного в статье подхода на основе разработанных математических моделей процесса позволяет получить оптимальные ступенчатые и переменные режимы стерилизации консервов, имеющих высокую энергетическую эффективность при сохранении высокого качества продукта.

**Ключевые слова:** режим стерилизации, модель, энергозатраты, программа.

### **Введение**

Математические модели тепловых процессов в стерилизационной камере автоклава и банке с продуктом обычно представляют в виде дифференциальных уравнений, которые зависят от множества трудно учитываемых факторов. Например, начальная температура продукта, температура теплоносителя, зависимость теплоемкости участвующих в теплообмене объектов от параметров процесса, фазовых превращений теплоносителя, размеров и формы банок, формы стерилизационной камеры и т. п. Значение каждого фактора подбирается в зависимости от экспериментальных данных, поэтому вывод полной математической модели процесса значительно затруднен.

Для упрощения процесса получения моделей тепловых процессов в автоклаве и банке с продуктом можно использовать передаточные функции, построенные по экспериментальным данным, полученным для входных и выходных параметров процесса. Такой подход позволяет, используя небольшое число легко реализуемых экспериментов, построить модель, отражающую основные характеристики динамики процесса. При этом она будет корректной и адекватной, и временные температурные зависимости будут отражать поведение реального процесса [1].

Для реализации такого подхода на кафедре автоматики и вычислительной техники (АиВТ) Мурманского государственного технического университета (МГТУ) было разработано программное обеспечение "Подбор режимов стерилизации консервов" (PRSC) для использования моделей тепловых процессов в автоклаве и банке с продуктом в процессе разработки режимов стерилизации консервов из гидробионтов в учебно-экспериментальном цехе (УЭЦ) МГТУ. Данный программный продукт позволил сократить количество пробных автоклавоварок, уменьшить затраты электроэнергии и время работы лабораторного автоклава АВК-30М [1]. Тем самым программное обеспечение PRSC упростило работу разработчика режима стерилизации на этапах предварительного подбора и оформления [2].

### **Материалы и методы**

Предварительный подбор параметров режима стерилизации консервов "Скумбрия атлантическая натуральная с добавлением масла" осуществлялся с помощью программного обеспечения PRSC "Подбор режимов стерилизации консервов". Интерфейс программного обеспечения представляет собой основное "рабочее" окно (рис. 1), из которого можно вызвать окно "Настройки моделей" (рис. 2) с двумя вкладками: "Параметры модели продукта" и "Параметры модели автоклава".

Для предварительного подбора параметров режима стерилизации с использованием программы PRSC в лабораторном автоклаве АВК-30М был проведен предварительный пробный процесс стерилизации и охлаждения в воде с противодавлением консервов "Скумбрия атлантическая натуральная с добавлением масла" в банке № 3 по следующему режиму:

$$\frac{15-50-20}{120\text{ }^{\circ}\text{C}} \text{ 0,2 МПа.} \quad (1)$$

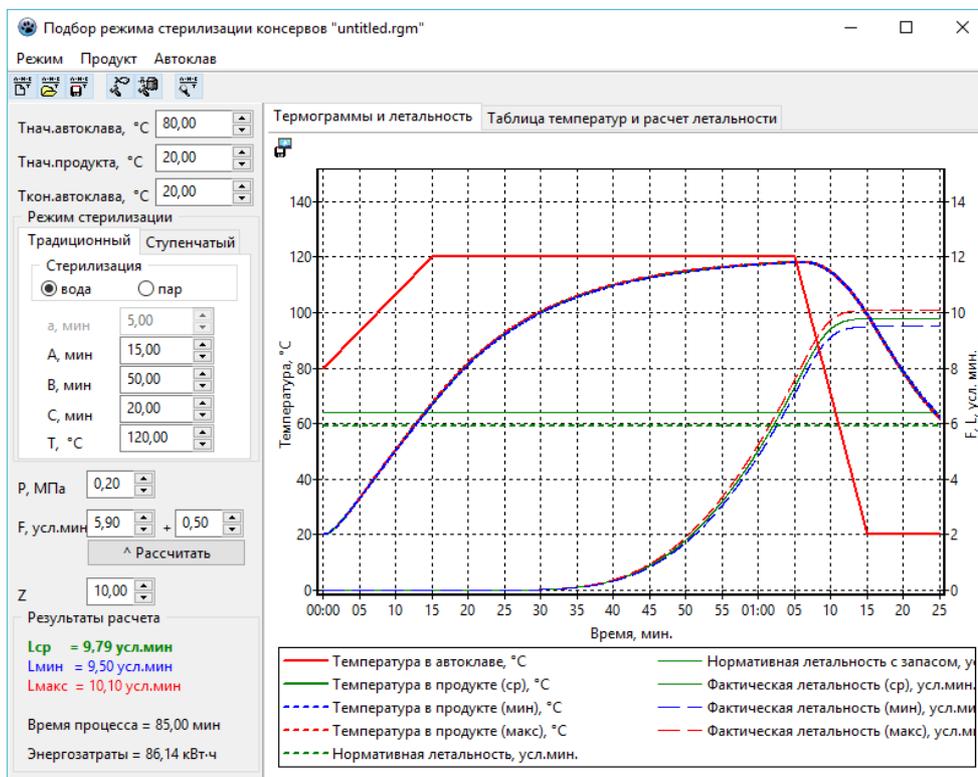


Рис. 1. Основное окно программы PRSC  
Fig. 1. Main window of PRSC

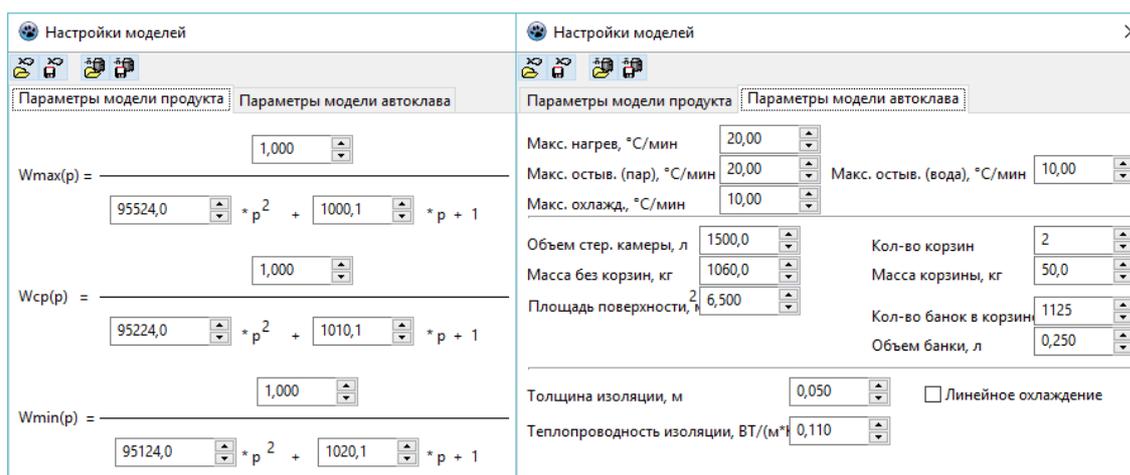


Рис. 2. Окно настройки моделей продукта и автоклава  
Fig. 2. Window of product and autoclave models' configuration

Изготовление консервов "Скумбрия атлантическая натуральная с добавлением масла" осуществлялось в соответствии с ГОСТ 13865–2000<sup>1</sup> и технологическими инструкциями<sup>2</sup>. Сбор информации о температуре в стерилизационной камере автоклава и банке с продуктом происходил с помощью логгеров Ellab TrackSense PRO.

<sup>1</sup> ГОСТ 13865–2000. Консервы рыбные натуральные с добавлением масла. Технические условия. Минск, 2009. 9 с.

На основании полученной информации были определены три передаточные функции для модели продукта (рис. 2): в наименее прогреваемой области автоклава ( $W_{\min}(p)$ ), средней по прогреву ( $W_{\text{ср}}(p)$ ) и наиболее прогреваемой ( $W_{\max}(p)$ ).

Используя данные логов Ellab, были получены передаточные функции  $W(p)$  в программном обеспечении "Modeller", разработанном авторами данной статьи (рис. 3). Далее, используя область "Параметры модели", кнопки "Построить" и "Подбор коэффициентов", получены коэффициенты передаточных функций  $W(p)$  в области "Результаты" окна программы "Modeller".

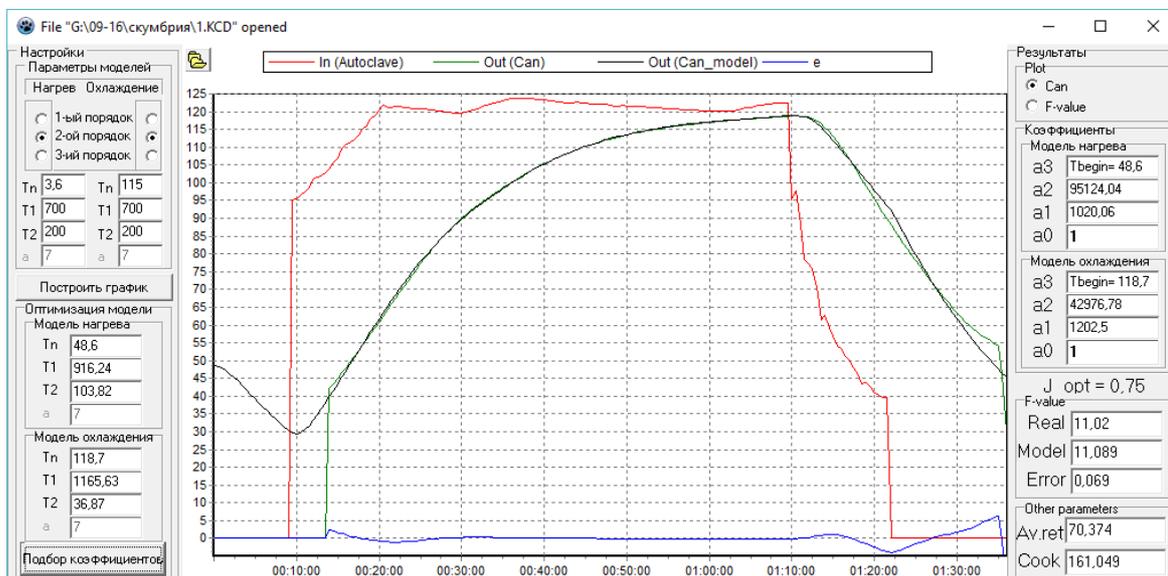


Рис. 3. Основное окно программы "Modeller"  
Fig. 3. The main window of Modeller

Полученные коэффициенты передаточной функции  $W_{\text{ср}}(p)$  для модели продукта использовались в программе PRSC на вкладке "Параметры модели продукта" окна "Настройки моделей" (рис. 2).

Затем в программе PRSC были введены параметры модели автоклава (скорости нагрева, охлаждения, остывания пара и воды ( $^{\circ}\text{C}/\text{мин}$ ), объем, масса без корзин, масса корзины и их количество, площадь внутренней поверхности стерилизационной камеры, объем банки и их количество и т. д.), вид процесса стерилизации (водная среда), начальные и конечные температуры автоклава (рис. 2). Для начала работы выбран режим стерилизации (традиционный) и заданы продолжительности этапов нагрева, стерилизации, охлаждения и температура стерилизации. По этим данным программа PRSC построила временную температурную зависимость в стерилизационной установке, а также значения температур в трех областях автоклава: наименее прогреваемой, средней по прогреву и наиболее прогреваемой (рис. 1) [2–4].

### Результаты и обсуждение

После проведения пробной автоклавоварки и считывания информации с логов Ellab о температуре в стерилизационной камере автоклава и банке с продуктом по вышеописанной методике была получена модель процесса стерилизации консервов "Скумбрия атлантическая натуральная с добавлением масла" (рис. 1, 2, 3). Результаты моделирования в программе PRSC процесса стерилизации представлены в графическом (рис. 1) или табличном (рис. 4) вариантах.

Значение нормативного стерилизующего эффекта для данного вида продукции при стерилизации в банке № 3 соответствует 5,9 усл. минутам<sup>3</sup>. Далее в автоматическом режиме был подобран режим стерилизации консервов "Скумбрия атлантическая натуральная с добавлением масла" по значению фактической летальности (6,93 усл. минуты) близкому к нормативному стерилизующему эффекту (рис. 5).

<sup>2</sup> ТИ 006–2011. Технологическая инструкция по стерилизации в воде консервов в автоклаве "АВК-30М" в условиях учебно-экспериментального цеха и лаборатории "Современные технологии производства продуктов из гидробактерий" кафедры "Технология пищевых производств" / Мурманск. гос. техн. ун-т. Мурманск : МГТУ, 2011. 9 с. ; Инструкция по разработке режимов стерилизации консервов из рыбы и морепродуктов : утв. Ком. Рос. Федерации по рыболовству. СПб. : Гипрорыбфлот, 1996. 42 с. ; Сборник технологических инструкций по производству консервов и пресервов из рыбы и нерыбных объектов. В 3 т. Т. 1. СПб. : Судостроение, 2012. 160 с.

<sup>3</sup> Сборник технологических инструкций по производству консервов и пресервов из рыбы и нерыбных объектов. В 3 т. Т. 1. СПб. : Судостроение, 2012. 160 с.

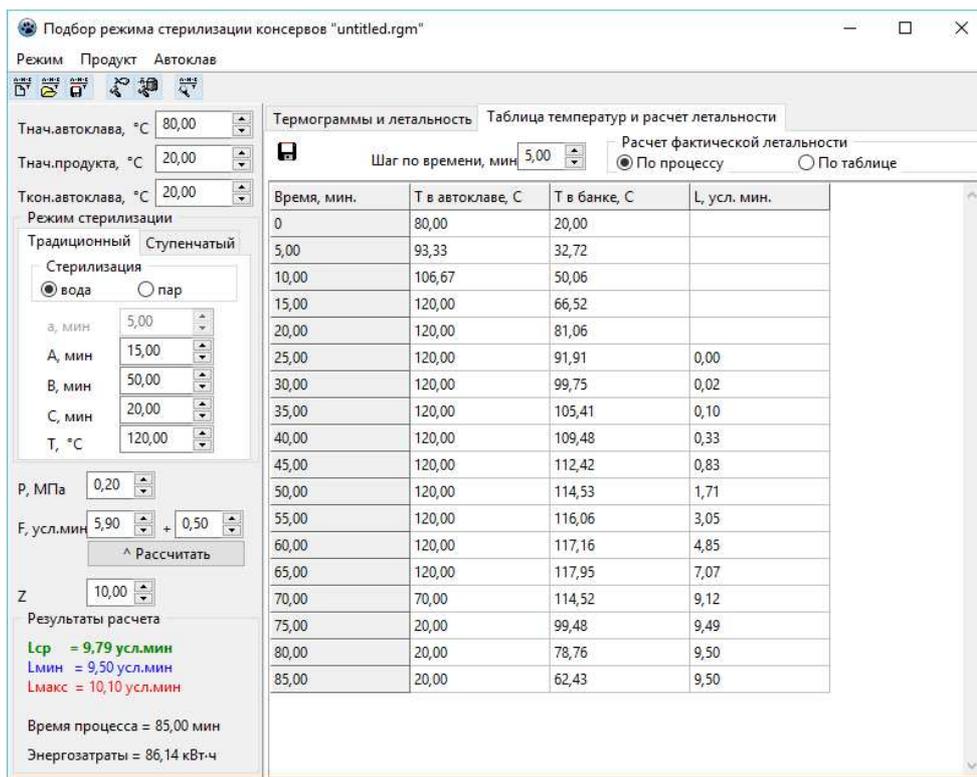


Рис. 4. Результаты моделирования в табличном виде в программе PRSC  
Fig. 4. Table view of simulation results in PRSC

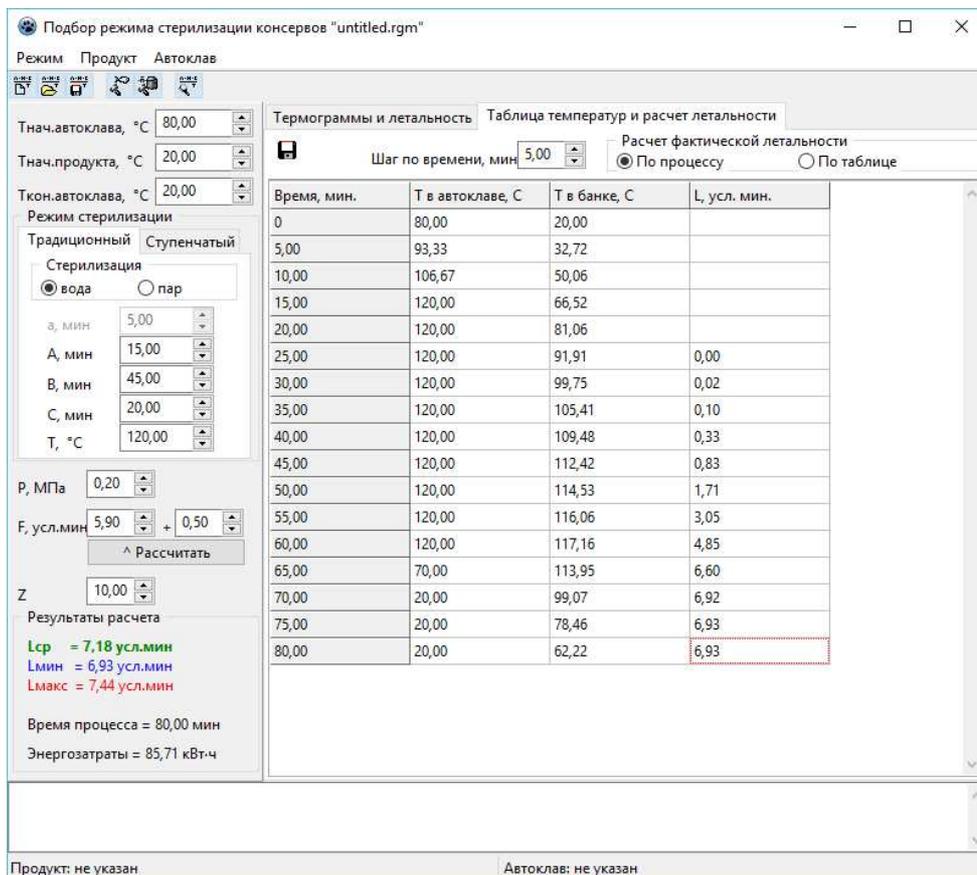


Рис. 5. Режим стерилизации для достижения нормативного стерилизующего эффекта  
Fig. 5. Sterilization regime for achievement of normative sterilizing effect

Также был подобран ступенчатый режим стерилизации для данного продукта с максимальной температурой 125 °С в стерилизационной камере (рис. 6). Результаты моделирования процесса стерилизации консервов "Скумбрия атлантическая натуральная с добавлением масла" для различных режимов стерилизации представлены в таблице.

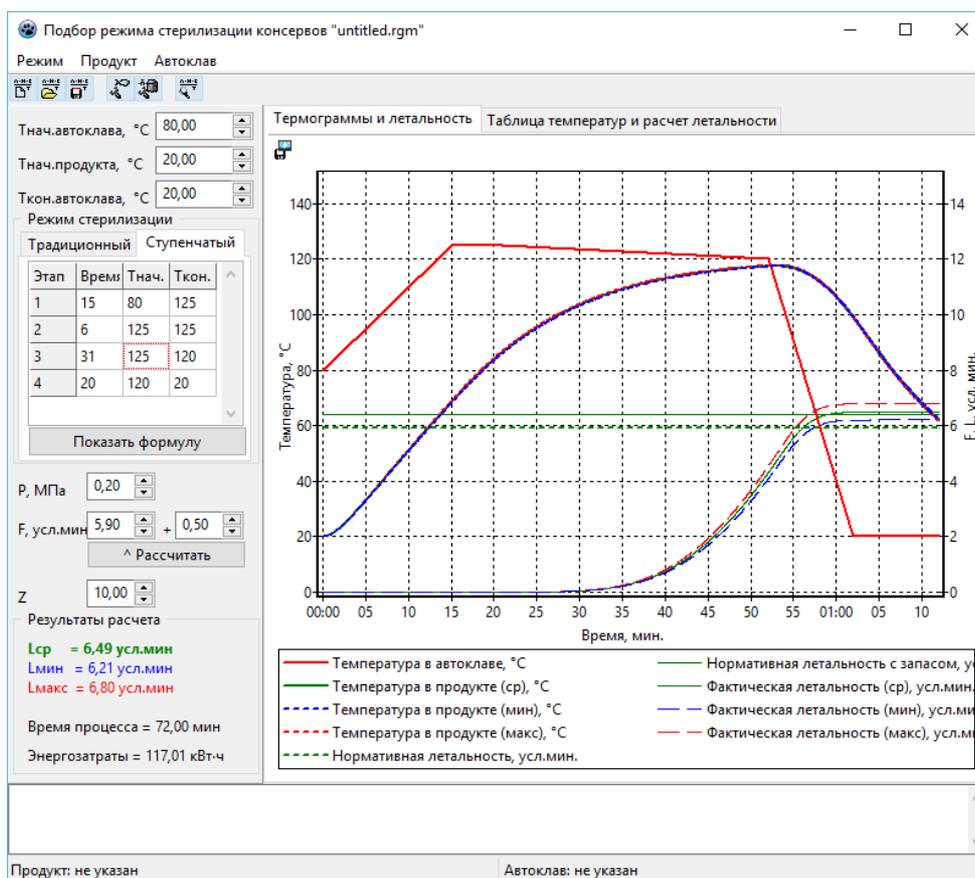


Рис. 6. Ступенчатый режим для достижения нормативного стерилизующего эффекта  
Fig. 6. Step mode sterilization for achievement of normative sterilizing effect

Таблица. Результаты моделирования режимов стерилизации консервов  
"Скумбрия атлантическая натуральная с добавлением масла"

Table. Simulation results of sterilization regimes of canned "Natural Atlantic Mackerel with Oil"

Способ стерилизации	Традиционный		Ступенчатый
Формула стерилизации	$\frac{15-50-20}{120}$	$\frac{15-45-20}{120}$	$\frac{15-7-31-20}{125-120}$
Макс. температура продукта, °С	118,03	117,29	117,4
Продолжительность процесса, мин	85	80	72
F-эффект, усл. мин	9,5	6,93	6,21

На основе полученных данных моделирования процессов стерилизации консервов "Скумбрия атлантическая натуральная с добавлением масла" (табл.) можно сделать вывод о том, что предварительный подбор позволяет получить оптимальный процесс и по фактическому стерилизующему эффекту. Использование ступенчатого режима стерилизации с максимальной температурой 125 °С в стерилизационной камере позволяет сократить продолжительность процесса до 10 %. Однако применение такого режима на практике требует дополнительных исследований по влиянию повышенной температуры (125 °С) на качество продукта. Также необходимо исследовать зависимости провариваемости костей продукта от температуры и продолжительности процесса.

### Заключение

Предварительный подбор режима стерилизации консервов на основе разработанных математических моделей стерилизационной камеры и продукта позволил существенно сократить время на разработку режима стерилизации консервов "Скумбрия атлантическая натуральная с добавлением масла", количество пробных процессов стерилизации.

Наиболее эффективным с точки зрения продолжительности процесса по сравнению с традиционными процессами является ступенчатый режим стерилизации с максимальной температурой 125 °С в стерилизационной камере автоклава.

Использование данного подхода на основе разработанных математических моделей процесса позволяет получить оптимальные ступенчатые и переменные режимы стерилизации консервов, имеющих высокую энергоэффективность при сохранении высокого качества продукта [5].

### Библиографический список

1. Разработка режимов стерилизации консервов из гидробionтов с использованием средств вычислительной техники / А. В. Кайченoв, А. В. Власов, А. А. Маслов [и др.] // Вестник МГТУ. 2014. Т. 17, № 1. С. 46–52.
2. Реализация программы автоматического подбора параметров режима стерилизации консервной продукции / А. В. Власов, А. Р. Власова, А. В. Кайченoв [и др.] // Наука и образование – 2014 : материалы Междунар. науч.-техн. конф., Мурманск, 24–28 марта 2014 г. Мурманск : ФГБОУ ВПО "МГТУ", 2014. С. 32–35. URL : <http://www.mstu.edu.ru/science/actions/conferences/files/nio-9.pdf>.
3. Столянов А. В., Жук А. А., Ерещенко В. В. Компьютерное моделирование как перспективное направление оптимизации процесса тепловой стерилизации консервной продукции. Обзор существующих решений // Наука – производству : материалы междунар. науч.-практ. конф., Мурманск, 24–27 марта 2015 г. Мурманск: Изд-во МГТУ, 2015. С. 59–63.
4. Обзор методов многоцелевой оптимизации термической обработки продуктов / А. В. Столянов, А. В. Кайченoв, А. А. Маслов [и др.] // Перспективы развития науки и образования : сб. науч. тр. по материалам междунар. науч.-практ. конф., Москва, 28 ноября 2014 г. : в 5 частях. М. : АР-Консалт, 2014. Ч. III. С. 17–22.
5. Abakarov A., Nunez M. Thermal food processing optimization: Algorithms and software // Journal of Food Engineering. April 2013. V. 115, Iss. 4. P. 428–442.

### References

1. Razrabotka rezhimov sterilizatsii konservov iz gidrobiontov s ispolzovaniem sredstv vychislitel'noy tehniky [Development of sterilization regimes of canned hydrobionts using computer] / A. V. Kaychenov, A. V. Vlasov, A. A. Maslov [i dr.] // Vestnik MGTU. 2014. V. 17, N 1. P. 46–52.
2. Realizatsiya programmy avtomaticheskogo podbora parametrov rezhima sterilizatsii konservnoy produktsii [Implementation of the programme of automatic selection of sterilization mode settings of canned products] / A. V. Vlasov, A. R. Vlasova, A. V. Kaychenov [i dr.] // Nauka i obrazovanie – 2014 : materialy Mezhdunar. nauch.-tehn. konf., Murmansk, 24–28 marta 2014 g. Murmansk : FGBOU VPO "MGTU", 2014. P. 32–35. URL : <http://www.mstu.edu.ru/science/actions/conferences/files/nio-9.pdf>.
3. Stolyanov A. V., Zhuk A. A., Ereschenko V. V. Kompyuternoe modelirovanie kak perspektivnoe napravlenie optimizatsii protsessa teplovoystilizatsii konservnoy produktsii. Obzor suschestvuyuschih resheniy [Computer simulation as a promising optimization of heat sterilization of canned products of the process. Review of existing solutions] // Nauka – proizvodstvu : materialy mezhdunar. nauch.-prakt. konf., Murmansk, 24–27 marta 2015 g. Murmansk: Izd-vo MGTU, 2015. P. 59–63.
4. Obzor metodov mnogotsel'evoy optimizatsii termicheskoy obrabotki produktov [Review of multi-objective optimization methods of thermal processing products] / A. V. Stolyanov, A. V. Kaychenov, A. A. Maslov [i dr.] // Perspektivy razvitiya nauki i obrazovaniya : sb. nauch. tr. po materialam mezhdunar. nauch.-prakt. konf., Moskva, 28 noyabrya 2014 g. : v 5 chastyah. M. : AR-Konsalt, 2014. Ch. III. P. 17–22.
5. Abakarov A., Nunez M. Thermal food processing optimization: Algorithms and software // Journal of Food Engineering. April 2013. V. 115, Iss. 4. P. 428–442.

### Сведения об авторах

**Маслов Алексей Алексеевич** – ул. Спортивная, 13, г. Мурманск, Россия, 183010; Мурманский государственный технический университет, Морской институт, кафедра автоматизации и вычислительной техники, канд. техн. наук, доцент, профессор; e-mail: [maslova@mstu.edu.ru](mailto:maslova@mstu.edu.ru)

**Maslov A. A.** – 13, Sportivnaya Str., Murmansk, Russia, 183010; Murmansk State Technical University, Marine Institute, Department of Automation and Computer Engineering, Cand. of Tech. Sci., Associate Professor, Professor; e-mail: [maslova@mstu.edu.ru](mailto:maslova@mstu.edu.ru)

**Столянов Александр Вячеславович** – ул. Спортивная, 13, г. Мурманск, Россия, 183010; Мурманский государственный технический университет, Морской институт, кафедра автоматике и вычислительной техники, ассистент кафедры; e-mail: alendr14@gmail.com

**Stolyanov A. V.** – 13, Sportivnaya Str., Murmansk, Russia, 183010; Murmansk State Technical University, Marine Institute, Department of Automation and Computer Engineering, Junior Member of Teaching Staff; e-mail: alendr14@gmail.com

**Кайченев Александр Вячеславович** – ул. Спортивная, 13, г. Мурманск, Россия, 183010; Мурманский государственный технический университет, Морской институт, кафедра автоматике и вычислительной техники, канд. техн. наук, доцент; e-mail: ican2005@yandex.ru

**Kaychenov A. V.** – 13, Sportivnaya Str., Murmansk, Russia, 183010; Murmansk State Technical University, Marine Institute, Department of Automation and Computer Engineering, Cand. of Tech. Sci., Associate Professor; e-mail: ican2005@yandex.ru

**Куранова Людмила Казимировна** – ул. Спортивная, 13, г. Мурманск, Россия, 183010; Мурманский государственный технический университет, Естественно-технологический институт, кафедра технологий пищевых производств, канд. техн. наук, зав. научно-исследовательской лабораторией; e-mail: kuranova@rambler.ru

**Kuranova L. K.** – 13, Sportivnaya Str., Murmansk, Russia, 183010; Murmansk State Technical University, Institute of Natural Science and Technology, Department of Food Production Technology, Cand. of Tech. Sci., Head of Research Laboratory; e-mail: kuranova@rambler.ru

A. A. Maslov, A. V. Stolyanov, A. V. Kaychenov, L. K. Kuranova

## **Preparatory selection of sterilization regime for canned Natural Atlantic Mackerel with oil based on developed mathematical models of the process**

Definition of preparatory parameters for sterilization regime of canned "Natural Atlantic Mackerel with Oil" is the aim of current study. PRSC software developed at the department of automation and computer engineering is used for preparatory selection. To determine the parameters of process model, in laboratory autoclave AVK-30M the pre-trial process of sterilization and cooling in water with backpressure of canned "Natural Atlantic Mackerel with Oil" in can N 3 has been performed. Gathering information about the temperature in the autoclave sterilization chamber and the can with product has been carried out using Ellab TrackSense PRO loggers. Due to the obtained information three transfer functions for the product model have been identified: in the least heated area of autoclave, the average heated and the most heated. In PRSC programme temporary temperature dependences in the sterilization chamber have been built using this information. The model of sterilization process of canned "Natural Atlantic Mackerel with Oil" has been received after the pre-trial process. Then in the automatic mode the sterilization regime of canned "Natural Atlantic Mackerel with Oil" has been selected using the value of actual effect close to normative sterilizing effect (5.9 conditional minutes). Furthermore, in this study step-mode sterilization of canned "Natural Atlantic Mackerel with Oil" has been selected. Utilization of step-mode sterilization with the maximum temperature equal to 125 °C in the sterilization chamber allows reduce process duration by 10 %. However, the application of this regime in practice requires additional research. Using the described approach based on the developed mathematical models of the process allows receive optimal step and variable canned food sterilization regimes with high energy efficiency and product quality.

**Key words:** sterilization regime, model, energy consumption, software.