

## ЧИСЛЕННЫЙ ПОИСК ПАРАМЕТРОВ МАТЕМАТИЧЕСКИХ МОДЕЛЕЙ ПИЩЕВЫХ ПРОДУКТОВ ИЗ ГИДРОБИОНТОВ ДЛЯ ПРОЦЕССОВ ПАСТЕРИЗАЦИИ

А. А. Жук

*Мурманский государственный технический университет,  
Мурманск, Российская Федерация*

Цель исследовательской работы заключалась в поиске параметров математических моделей пищевых продуктов из гидробионтов, размещенных в герметично упакованной консервной таре, численными методами решения задач оптимизации. Математическое описание продуктов в консервной таре как технологических объектов управления составлено в виде передаточных функций, для которых входной величиной является временная зависимость температуры среды стерилизационной камеры автоклава, а выходной величиной – динамика температуры продукта. Поиск коэффициентов передаточных функций выполнен методом численной оптимизации на основе переходных характеристик, полученных экспериментально. Данные переходного процесса по температуре продукта получены при помощи терморегистраторов серии «iButton Data Loggers» во время проведения процесса пастеризации консервов. Численный поиск параметров математических моделей пищевых продуктов проводился программным обеспечением «AutoCont Lite: SeekerC», разработанным автором статьи на кафедре автоматики и вычислительной техники Мурманского государственного технического университета. На основе анализа переходных характеристик в качестве модели-кандидата продукта в жестяной консервной таре выбрано инерционное (апериодическое) звено первого порядка, а для продукта в стеклянной таре – инерционное звено третьего порядка. Для решения задачи численного поиска параметров модели в качестве критерия оптимизации выбрана интегральная оценка, рассчитанная как квадратичное отклонение между выходными значениями модели и объекта за период исследования. В результате исследования получены математические модели пищевых продуктов из гидробионтов в виде передаточных функций. Полученный результат использован для моделирования и последующей модернизации системы автоматического управления промышленным автоклавом «ASCAMAT-230» при проведении процесса пастеризации консервов.

**Ключевые слова:** процесс пастеризации, консервы, тепловая обработка, математическая модель пищевого продукта, численный поиск и идентификация объекта управления, автоматическое управление.

**Для цитирования:** Жук А. А. Численный поиск параметров математических моделей пищевых продуктов из гидробионтов для процессов пастеризации // Вестник Астраханского государственного технического университета. Серия: Управление, вычислительная техника и информатика. 2021. № 2. С. 89–98. DOI: 10.24143/2072-9502-2021-2-89-98.

### Введение

С целью расширения ассортимента, повышения качества и пищевой ценности консервной продукции инженерами-технологами разрабатываются новые режимы тепловой обработки консервов, которые требуют обязательного научного обоснования для обеспечения безопасности конечного потребителя продукта питания. Актуальным направлением деятельности является разработка пастеризованных консервов из гидробионтов и автоматизация заданного технологического процесса [1].

Для упрощения процедуры разработки новых, совершенствования существующих режимов и повышения эффективности пастеризации консервов в автоклавах целесообразно применять методы математического моделирования и построения автоматизированных систем управления. Необходимым условием для выполнения численного моделирования динамической системы (системы автоматического управления) является наличие формализованного описания объекта управления в виде модели типа «вход-выход» или передаточной функции. Таким образом, возникает потребность в нахождении параметров математических моделей пищевых продуктов из гидробионтов в консервной таре.

Научная новизна работы заключается в предложенной автором методике прикладного исследования процесса тепловой обработки пищевого продукта в консервной таре как технологического объекта управления посредством экспериментального определения параметров его модели типа «вход-выход» и последующего математического моделирования на персональном компьютере.

### Описание пищевых продуктов в консервной таре как объектов управления

Технологическим объектом системы автоматического управления процессом пастеризации является пищевой продукт в консервной таре, регулируемым параметром в данной системе – температура продукта  $T_n$  в геометрическом центре тары, который является наименее прогреваемой областью [2]. Нагрев продукта осуществляется путем теплообмена через цилиндрическую поверхность тары, которая погружается в среду стерилизационной камеры автоклава с температурой  $T_c$ . Интенсивность нагрева продукта зависит от материала и геометрических размеров консервной тары, а также от характеристик самого продукта. Таким образом, формализованная модель продукта в консервной таре имеет вид, представленный на рис. 1.

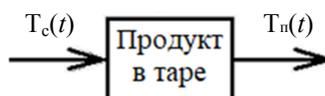


Рис. 1. Формализованная модель продукта в консервной таре:  
 $T_c(t)$  – температура среды;  $T_n(t)$  – температура продукта

### Методы исследования

В исследовательской работе применялись системный подход, метод формализации, методы оптимизации и идентификации объектов управления (метод покоординатного спуска, метод золотого сечения), метод численного решения дифференциальных уравнений (метод Рунге – Кутты 4 порядка) и современная теория автоматического управления. При таком подходе не требуется составления сложных нелинейных физико-математических уравнений из теории теплопроводности. Вместо этого для получения математической модели пищевого продукта в консервной таре необходимо решить задачу идентификации параметров объекта управления, т. е. на основе экспериментальных данных выбрать модель-кандидат и найти ее коэффициенты, затем проверить адекватность результата.

### Проведение экспериментов

С целью получения временных характеристик изменения температуры внутри консервов и сбора теплофизических параметров проведен экспериментальный процесс пастеризации продуктов из гидробионтов в автоклаве «ASCAMAT-230» [3]. Температура процесса – 83 °С, суммарная продолжительность нагрева и собственно процесса – 86 мин, охлаждения – 21 мин. Среда – водяная, давление атмосферное. В качестве пищевого продукта выбран паштет из гидробионтов оригинальной рецептуры. Масса порции продукта для фасования в тару составила 170 г.

Внутри каждой консервной тары с продуктом размещался автономный измеритель и регистратор температуры «iButton Data Loggers» [4]. Один из регистраторов был размещен внутри корзины для консервной тары для измерения температуры в стерилизационной камере автоклава. Поскольку была поставлена задача измерить температуру наименее прогреваемой области продукта, для установки датчика использовалась специальная пластиковая подставка с целью расположения чувствительного элемента в геометрическом центре консервной тары, а также для предотвращения контакта датчика с корпусом консервной тары. Характеристики используемой в эксперименте консервной тары сведены в табл. 1.

Таблица 1

#### Характеристики используемой консервной тары

Тип тары	Количество банок, шт.	Объем тары, л
Стеклобанка с крышкой «твист-офф»	3	0,25
Жестяная банка № 2 (ГОСТ 5981-2011)	3	0,17

В результате проведенного эксперимента получены динамические характеристики процесса пастеризации для стерилизационной камеры автоклава и продукта в консервной таре.

График динамики температуры продукта в жестяной таре представлен на рис. 2, а график динамики температуры продукта в стеклянной таре – на рис. 3.

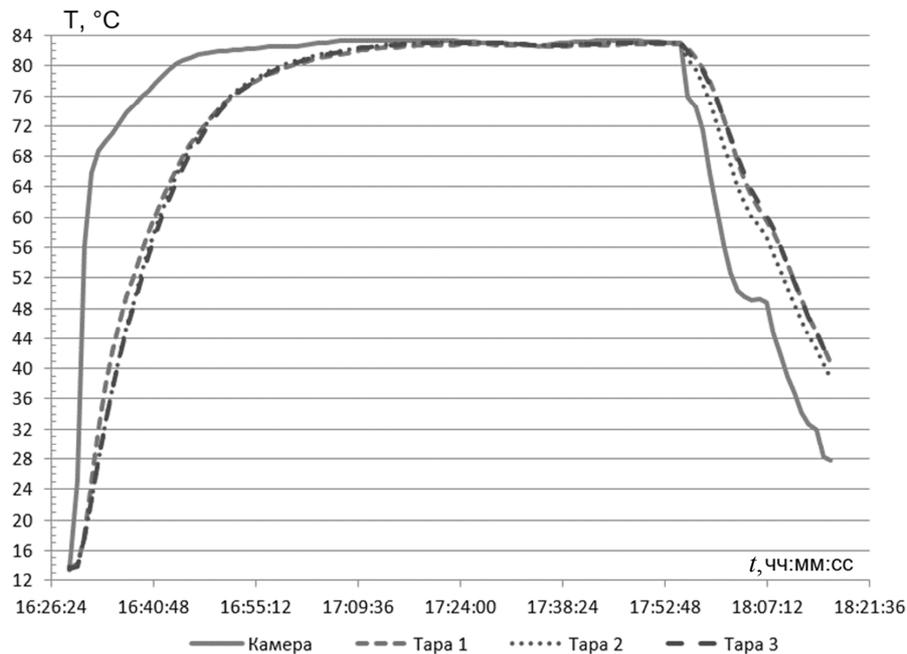


Рис. 2. Графики динамики температуры продукта в жестяной таре

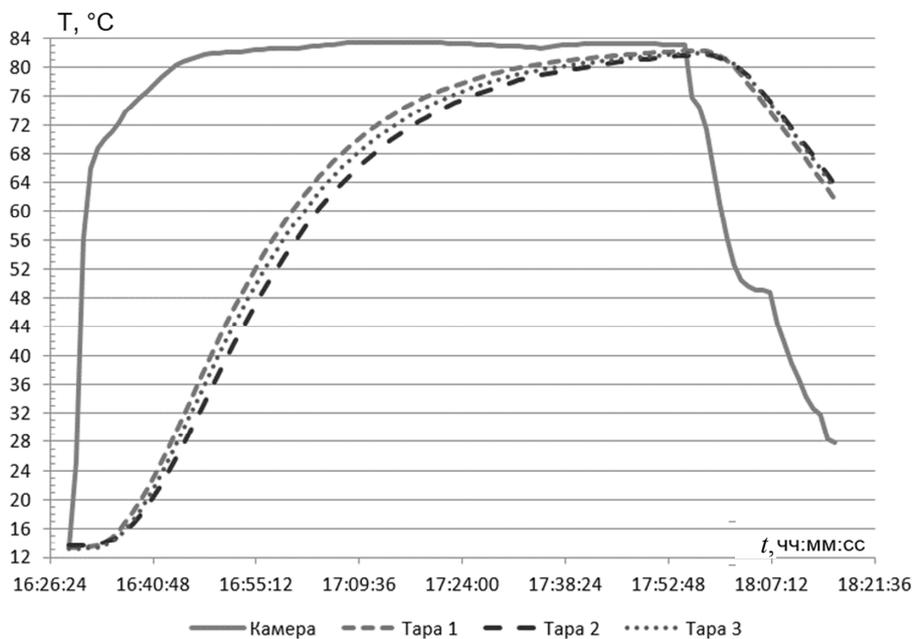


Рис. 3. Графики динамики температуры продукта в стеклянной таре

На основе полученных выше характеристик динамики температуры продукта в консервной таре выполнена его структурная и параметрическая идентификация численными методами решения задачи оптимизации.

### Численный поиск параметров математических моделей пищевых продуктов

В теории автоматического управления известен ряд методов оптимизации – численного поиска коэффициентов передаточной функции по переходной характеристике объекта управления (идентификации), – например метод покоординатного спуска, градиентные методы и др. Для поиска коэффициентов моделей типа «вход-выход» выбран метод покоординатного спуска как наиболее простой. Суть метода заключается в сведении многомерной оптимизации к многоитерационной одномерной.

В ходе исследования разработана и зарегистрирована программа «AutoCont Lite: SeekerС» для численной идентификации технологического объекта управления по его переходной характеристике [5]. Графический интерфейс пользователя программы представлен на рис. 4.

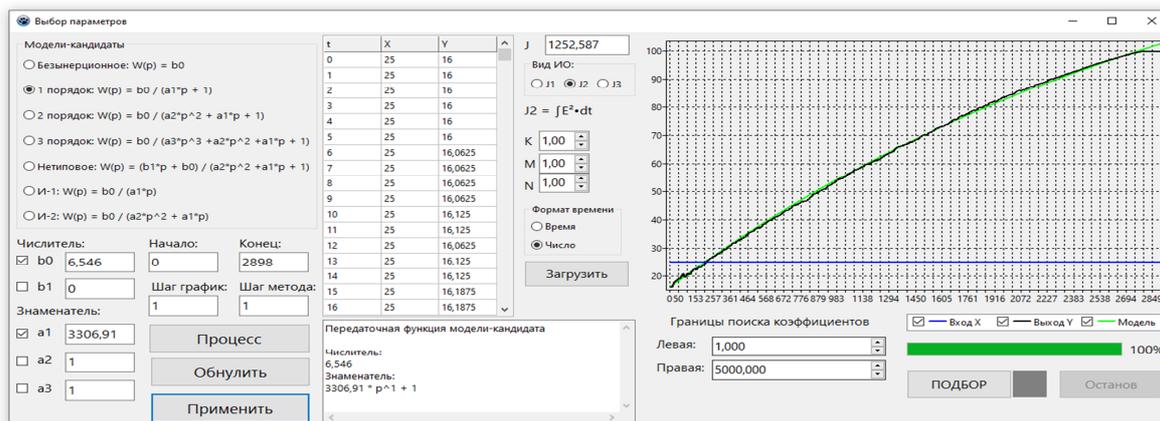


Рис. 4. Интерфейс программы «AutoCont Lite: SeekerС»

В процессе поиска коэффициентов моделей в качестве критерия оптимизации выбрана интегральная оценка квадратичного отклонения невязки, которая рассчитывалась по формуле

$$J = \int E^2(t) dt \rightarrow \min,$$

где  $E(t)$  – функция невязки между переходными характеристиками исходного объекта и найденной модели.

На основе экспериментальных данных, исходя из классической теории автоматического управления, в качестве моделей-кандидатов выбраны линейные неоднородные дифференциальные уравнения как достаточно простые и подходящие для математического описания реальной температурной динамики продукта в консервной таре в процессе пастеризации.

Для продукта в жестяной таре в качестве аппроксимирующей модели-кандидата выбрано дифференциальное уравнение инерционного звена первого порядка, решение которого дает наименьшую невязку при поиске коэффициентов:

$$a_1 \frac{dy}{dt} + y(t) = b_0 x(t)$$

или

$$y'(t) = (b_0 x(t) - y(t)) / a_1, \quad (1)$$

где  $a_1$  – постоянная времени, мин;  $y(t)$  – температура продукта в таре, °С;  $b_0$  – коэффициент передачи;  $x(t)$  – температура среды в стерилизационной камере автоклава, °С.

Найденные параметры моделей продукта в жестяной таре приведены в табл. 2, где  $J$  – интегральная оценка (критерий адекватности модели).

Таблица 2

Коэффициенты моделей продукта в жестяной таре

Порядковый номер тары	Нагрев			Охлаждение		
	$b_0$	$a_1$	$J$	$b_0$	$a_1$	$J$
1	0,990	6,123	8,991	0,978	6,399	0,732
2	0,998	7,016	1,112	0,953	5,572	2,984
3	0,997	7,218	1,914	0,974	6,635	0,688
Среднее значение коэффициента	0,995	6,786	–	0,968	6,202	–

На основании полученных данных делаем вывод, что продукт из гидробионтов в жестяной консервной банке № 2 является инерционным звеном первого порядка, линейно-симметричным (практически одинаковая динамика нагрева и охлаждения).

Для продукта в *стеклянной* таре в качестве аппроксимирующей модели-кандидата выбрано дифференциальное уравнение инерционного звена третьего порядка, решение которого дает наименьшую невязку при поиске коэффициентов:

$$a_3 \frac{d^3 y}{dt^3} + a_2 \frac{d^2 y}{dt^2} + a_1 \frac{dy}{dt} + y(t) = b_0 x(t) \tag{2}$$

или

$$y'''(t) = (b_0 x(t) - a_2 y''(t) + a_1 y'(t) - y(t)) / a_3.$$

Найденные параметры моделей продукта в стеклянной таре приведены в табл. 3.

Таблица 3

Коэффициенты моделей продукта в стеклянной таре

Порядковый номер тары	Нагрев					Охлаждение				
	$b_0$	$a_3$	$a_2$	$a_1$	$J$	$b_0$	$a_3$	$a_2$	$a_1$	$J$
1	0,993	270,720	147,381	23,535	0,036	1,000	36,235	30,198	20,861	0,023
2	0,996	528,621	193,409	27,220	0,021	1,010	41,975	53,158	22,549	0,017
3	0,994	374,717	164,475	25,219	0,006	1,007	34,077	48,488	21,845	0,014
Среднее значение коэффициента	0,994	391,353	168,422	25,325	–	1,006	37,429	43,948	21,752	–

На основании полученных данных делаем вывод, что продукт из гидробионтов в стеклянной консервной таре является инерционным звеном третьего порядка, линейно-несимметричным (отличающаяся динамика нагрева и охлаждения).

**Математическое моделирование**

Под математическим моделированием рассматриваемого процесса пастеризации понимается нахождение значений функции температуры продукта  $y(t)$  – численного решения дифференциального уравнения, которое является моделью пищевого продукта в консервной таре, при заданных начальных условиях и известных значениях входной функции – температуры среды стерилизационной камеры автоклава  $x(t)$ , за время проведения процесса, с использованием персонального компьютера, а также визуализация данного решения в виде графика.

Подставив в формулу (1) средние значения найденных коэффициентов из табл. 2, получаем обыкновенные дифференциальные уравнения первого порядка, которые описывают динамику температуры паштетного продукта в жестяной консервной таре при нагреве и охлаждении соответственно:

$$y'_н(t) = (0,995 \cdot x_н(t) - y_н(t)) / 6,786;$$

$$y'_{\text{ox}}(t) = (0,968 \cdot x_{\text{ox}}(t) - y_{\text{ox}}(t)) / 6,202.$$

Составим две системы уравнений (задачи Коши) в соответствии с начальными условиями эксперимента:

$$\begin{cases} y'_h(t) = (0,995 \cdot x_h(t) - y_h(t)) / 6,786; \\ y_h(0) = 13,6; x_h(0) = 13,4; \end{cases} \quad \begin{cases} y'_{\text{ox}}(t) = (0,968 \cdot x_{\text{ox}}(t) - y_{\text{ox}}(t)) / 6,202; \\ y_{\text{ox}}(0) = 83; x_{\text{ox}}(0) = 83, \end{cases}$$

где  $x(t)$  – дискретно заданная входная функция (динамика температуры среды камеры автоклава в °С), график которой представлен на рис. 2 (камера);  $y(t)$  – искомое решение дифференциального уравнения (динамика температуры продукта в °С);  $y(0)$ ,  $x(0)$  – значения функций в начальный момент времени (начальные условия), которые определены из экспериментальных данных;  $t$  – время, мин.

Подставив в формулу (2) средние значения найденных коэффициентов из табл. 3, получаем обыкновенные дифференциальные уравнения третьего порядка, которые описывают динамику температуры паштетного продукта в стеклянной консервной таре при нагреве и охлаждении соответственно:

$$y'''_h(t) = (0,994 \cdot x_h(t) - 168,422 \cdot y''_h(t) - 25,325 \cdot y'_h(t) - y_h(t)) / 391,353;$$

$$y'''_{\text{ox}}(t) = (1,006 \cdot x_{\text{ox}}(t) - 43,948 \cdot y''_{\text{ox}}(t) - 21,752 \cdot y'_{\text{ox}}(t) - y_{\text{ox}}(t)) / 37,429.$$

Составим две системы уравнений (задачи Коши) в соответствии с начальными условиями эксперимента:

$$\begin{cases} y'''_h(t) = (0,994 \cdot x_h(t) - 168,422 \cdot y''_h(t) - 25,325 \cdot y'_h(t) - y_h(t)) / 391,353; \\ y''_h(0) = 0; y'_h(0) = 0; y_h(0) = 13,4; x_h(0) = 13,4; \end{cases}$$

$$\begin{cases} y'''_{\text{ox}}(t) = (1,006 \cdot x_{\text{ox}}(t) - 43,948 \cdot y''_{\text{ox}}(t) - 21,752 \cdot y'_{\text{ox}}(t) - y_{\text{ox}}(t)) / 37,429; \\ y''_{\text{ox}}(0) = y''_h(86); y'_{\text{ox}}(0) = y'_h(86); y_{\text{ox}}(0) = 82; x_{\text{ox}}(0) = 74,5, \end{cases}$$

где  $x(t)$  – дискретно заданная входная функция, график которой представлен на рис. 3 (камера);  $y''(0)$ ,  $y'(0)$  – вторая и первая производные соответственно, значения которых взяты на последнем шаге этапа нагрева (в момент времени  $t = 86$  мин); прочие начальные условия определены из экспериментальных данных.

Для решения систем дифференциальных уравнений (задач Коши) применялся численный метод Рунге – Кутты четвертого порядка с постоянным шагом интегрирования ( $h = 1$ ), который реализован в программном обеспечении MATLAB Simulink. Блок «Transfer Fcn» позволяет составить структурную схему и выполнить моделирование линейной динамической системы, поэтому вышеописанные дифференциальные уравнения преобразованы в передаточные функции.

Математические модели продукта в виде передаточных функций (в изображении по Лапласу) получены из обыкновенных дифференциальных уравнений (ОДУ) путем их преобразования через операторную форму.

Преобразуем уравнение (1) в операторную форму и вынесем за скобки  $y(p)$ :

$$a_1 \cdot p \cdot y(p) + y(p) = b_0 \cdot x(p); (a_1 \cdot p + 1) \cdot y(p) = b_0 \cdot x(p),$$

где  $p$  – оператор Лапласа;  $x(p)$ ,  $y(p)$  – входная и выходная функции в изображении Лапласа соответственно.

Выразим передаточную функцию инерционного звена первого порядка:

$$W(p) = \frac{y(p)}{x(p)} = \frac{b_0}{a_1 \cdot p + 1}.$$

Передаточные функции продукта в жестяной таре при нагреве и охлаждении соответственно имеют вид

$$W_{\text{н}}(p) = \frac{0,995}{6,786 \cdot p + 1}; \quad W_{\text{ох}}(p) = \frac{0,968}{6,202 \cdot p + 1}.$$

Преобразуем уравнение (2) в операторную форму и вынесем за скобки  $y(p)$ :

$$a_3 \cdot p^3 \cdot y(p) + a_2 \cdot p^2 \cdot y(p) + a_1 \cdot p^2 \cdot y(p) + y(p) = b_0 \cdot x(p);$$

$$(a_3 \cdot p^3 + a_2 \cdot p^2 + a_1 \cdot p^2 + 1) \cdot y(p) = b_0 \cdot x(p),$$

где  $p$  – оператор Лапласа;  $x(p)$ ,  $y(p)$  – входная и выходная функции в изображении Лапласа соответственно.

Выразим передаточную функцию инерционного звена третьего порядка:

$$W(p) = \frac{y(p)}{x(p)} = \frac{b_0}{a_3 \cdot p^3 + a_2 \cdot p^2 + a_1 \cdot p^2 + 1}.$$

Передаточные функции продукта в стеклянной таре при нагреве и охлаждении соответственно имеют вид

$$W_{\text{н}} = \frac{0,994}{391,353 \cdot p^3 + 168,422 \cdot p^2 + 25,325 \cdot p^2 + 1};$$

$$W_{\text{ох}} = \frac{1,006}{37,429 \cdot p^3 + 43,948 \cdot p^2 + 21,752 \cdot p^2 + 1}.$$

Результаты моделирования в MATLAB Simulink представлены на рис. 5 и 6.

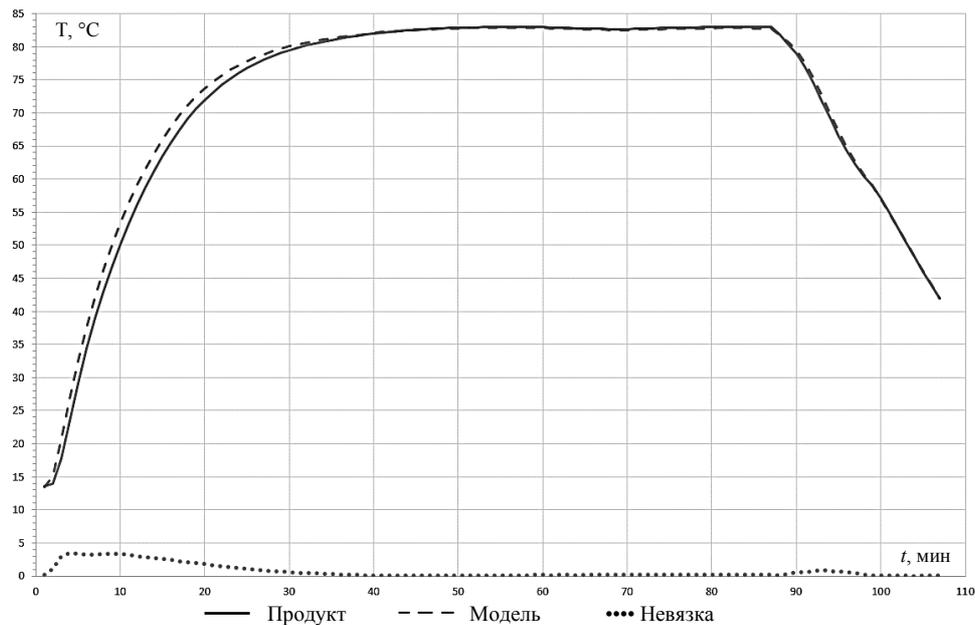


Рис. 5. Сравнение динамики температуры продукта в жестяной таре и решения ОДУ модели

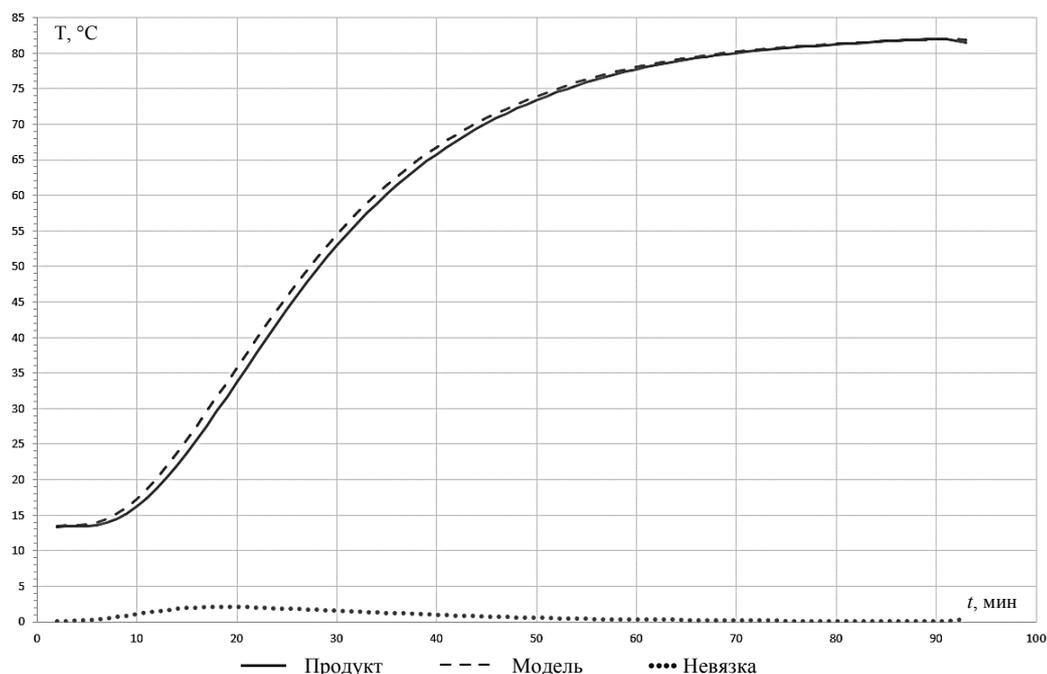


Рис. 6. Сравнение динамики температуры продукта в стеклянной таре и решения ОДУ модели

Сравнение полученных в результате моделирования решений ОДУ с экспериментальными значениями температурной динамики продукта в жестяной и стеклянной консервной таре представлено на рис. 5 и рис. 6 соответственно. Максимальная динамическая ошибка модели продукта в жестяной таре составила 3,4 °C, а средняя ошибка аппроксимации – 1,5 %, что говорит о достаточно высокой степени точности (адекватности) полученной модели. Максимальная динамическая ошибка модели продукта в стеклянной таре составила 2,1 °C, а средняя ошибка аппроксимации – 2 %, что говорит о достаточно высокой степени точности (адекватности) полученной модели.

### Заключение

Работа выполнена в рамках инициативной научно-исследовательской работы (НИР) кафедры «Автоматика и вычислительная техника» Мурманского государственного технического университета по теме «Исследование, разработка и совершенствование систем управления технологическими процессами», раздел 2 – «Синтез оптимальной системы управления процессом пастеризации продукции из гидробионтов».

В результате исследований:

- получена аппроксимирующая математическая модель паштетного продукта из гидробионтов в жестяной консервной банке № 2;
- получена аппроксимирующая математическая модель паштетного продукта из гидробионтов в стеклянной консервной таре объемом 250 мл и крышкой «твист-офф»;
- разработана и зарегистрирована программа «AutoCont Lite: SeekerC» для численной идентификации технологического объекта управления по его переходной характеристике;
- предложена методика исследования продукта в консервной таре как технологического объекта управления системы автоматического управления процессом пастеризации консервов посредством математического моделирования с использованием компьютера.

Полученные результаты использованы для численного моделирования и последующей модернизации системы автоматического управления промышленного автоклава «ASCAMAT-230».

### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Жук А. А., Кайченев А. В., Куранова Л. К. Автоматическое управление процессом пастеризации продуктов из гидробионтов – перспективный метод разработки и производства полезной консервной продукции // Наука – производству: материалы Междунар. науч.-практ. конф. (Мурманск, 14–19 апреля 2017 г.). Мурманск: Изд-во МГТУ, 2017. С. 34–37.

2. Кайченев А. В., Власов А. В., Маслов А. А. Исследование температурного поля в консервах при стерилизации в автоклавах периодического действия // Молодежь и современные информационные технологии: сб. тр. VIII Всерос. науч.-практ. конф. студентов, аспирантов и молодых ученых. Томск, 2010. С. 109–110.
3. Кайченев А. В., Власов А. В., Жук А. А., Маслов А. А., Яценко В. В. Идентификация параметров численной математической модели стерилизационной камеры судового автоклава ASCAMAT 230 с целью разработки оптимальной системы автоматического управления // Вестн. Астрахан. гос. техн. ун-та. Сер.: Управление, вычислительная техника и информатика. 2018. № 1. С. 7–17.
4. Stolyanov A. V., Zhuk A. A., Kaychenov A., Kuranova L. Comparative analysis of temperature loggers used in the development of regimes for heat treatment of food production in autoclaves // 4th International Scientific Conference “Arctic: History and Modernity”, IOP Conference Series: Earth and Environmental Science. 2019. V. 302. N. 012031. DOI: 10.1088/1755-1315/302/1/012031.
5. Свидетельство № 2020660156 (RU). AutoCont Lite: SeekerC: программа для ЭВМ / А. А. Жук; заявл. 18.08.2020; опубл. 28.08.2020, Бюл. № 9.

Статья поступила в редакцию 11.02.2021

### ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРЕ

**Александр Алексеевич Жук** – аспирант кафедры автоматки и вычислительной техники; Мурманский государственный технический университет; Россия, 183010, Мурманск; zhukaa@mstu.edu.ru.



## NUMERICAL SEARCH OF MATHEMATICAL MODEL PARAMETERS OF FOOD PRODUCTS FROM HYDROBIONTS FOR PASTEURIZATION PPROCESS

**A. A. Zhuk**

*Murmansk State Technical University,  
Murmansk, Russian Federation*

**Abstract.** The article highlights the numerical search for the mathematical model parameters of food products from hydrobionts put into hermetically sealed canning containers. The mathematical description of the canned products was given as transfer functions. The input value is a retort short-term temperature-time dependence and the output value is the product temperature dynamics. The search for the transfer function coefficients was performed by the numerical optimization method based on the plant response. The product temperature response data was obtained experimentally with thermologgers of the “iButton Data Loggers” series during canned food pasteurization. The numerical search for the mathematical model parameters of food products was carried out using the software AutoCont Lite: SeekerC developed by the author at the Automation and Computer Engineering Department of Murmansk State Technical University. A first-order factor was chosen as a candidate for a product model in a tin can, and for a product in a glass container there was chosen a third-order factor. To solve the problem of numerical search for model parameters the integral estimate was employed as an optimization criterion. It is calculated as the square deviation between the output values of the model and the plant over the investigation period. The research resulted in mathematical models of fishery-canned products obtained in the transfer function form. The obtained result was applied for modeling and subsequent automatic control system implementation for the industrial autoclave ASCAMAT-230 during the canned food pasteurization.

**Key words:** pasteurization process, canned food, thermal treatment, food product mathematical model, numerical search and plant identification, automatic control.

**For citation:** Zhuk A. A. Numerical search of mathematical model parameters of food products from hydrobionts for pasteurization process. *Vestnik of Astrakhan State Technical University. Series: Management, Computer Science and Informatics*. 2021;2:89-98. (In Russ.) DOI: 10.24143/2072-9502-2021-2-89-98.

REFERENCES

1. Zhuk A. A., Kaichenov A. V., Kuranova L. K. Avtomaticheskoe upravlenie protsessom pasterizatsii produktov iz gidrobiontov – perspektivnyi metod razrabotki i proizvodstva poleznoi konservnoi produktsii [Automatic control over pasteurization of products from aquatic organisms as promising method for development and production of useful canned food]. *Nauka – proizvodstvu: materialy Mezhdunarodnoi nauchno-prakticheskoi konferentsii (Murmansk, 14–19 apreliia 2017 g.)*. Murmansk, Izd-vo MGTU, 2017. Pp. 34-37.
2. Kaichenov A. V., Vlasov A. V., Maslov A. A. Issledovanie temperaturnogo polia v konservakh pri sterilizatsii v avtoklavakh periodicheskogo deistviia [Studying temperature field in canned food after sterilization in batch autoclaves]. *Molodezh' i sovremennye informatsionnye tekhnologii: sbornik trudov VIII Vserossiiskoi nauchno-prakticheskoi konferentsii studentov, aspirantov i molodykh uchenykh*. Tomsk, 2010. Pp. 109-110.
3. Kaichenov A. V., Vlasov A. V., Zhuk A. A., Maslov A. A., Iatsenko V. V. Identifikatsiia parametrov chislennoi matematicheskoi modeli sterilizatsionnoi kamery sudovogo avtoklava ASCAMAT 230 s tsel'iu razrabotki optimal'noi sistemy avtomaticheskogo upravleniia [Identifying parameters of numerical mathematical model of ASCAMAT 230 ship autoclave sterilization chamber in order to develop optimal automatic control system]. *Vestnik Astrakhanskogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta. Seriya: Upravlenie, vychislitel'naia tekhnika i informatika*, 2018, no. 1, pp. 7-17.
4. Stolyanov A. V., Zhuk A. A., Kaychenov A., Kuranova L. Comparative analysis of temperature loggers used in the development of regimes for heat treatment of food production in autoclaves. *4th International Scientific Conference "Arctic: History and Modernity", IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 2019, vol. 302, no. 012031. DOI: 10.1088/1755-1315/302/1/012031.
5. Zhuk A. A. *AutoCont Lite: SeekerC: programma dlia EVM / (RU)* [AutoCont Lite: SeekerC: program for computer / (RU)]. Svidetel'stvo № 2020660156; 28.08.2020.

The article submitted to the editors 11.02.2021

INFORMATION ABOUT THE AUTHOR

**Aleksandr A. Zhuk** – Postgraduate Student of the Department of Automation and Computer Engineering; Murmansk State Technical University; Russia, 183010, Murmansk; zhukaa@mstu.edu.ru.

