

Научная статья
УДК 681.5.03
DOI 10.46845/1997-3071-2024-72-57-69

Идентификация математической модели автоклава МАГ-3/1100

Наталья Сергеевна Будченко¹, Николай Алексеевич Долгий², Владимир Иванович Устич³

^{1,2,3} Калининградский государственный технический университет, Калининград, Россия

natalya.budchenko@klgtu.ru, <https://orcid.org/0000-0002-4480-8402>

dolgi@klgtu.ru, <https://orcid.org/0000-0002-2198-952X>

ustich@klgtu.ru, <https://orcid.org/0000-0002-8150-2912>

Аннотация. Целью работы являлось получение параметров численной математической модели автоклава МАГ-3/1100, широко используемого предприятиями Калининградской области для стерилизации мясных и рыбных консервов. На этапе анализа автоклава как объекта автоматизации установлены точки контроля основных технологических параметров процесса стерилизации с учетом конструктивных особенностей горизонтального автоклава. Разработана функциональная схема процесса стерилизации мясных консервов с применением горизонтального автоклава МАГ-3/1100 и приведено описание ее работы. В качестве устройства управления автоклавом в системе автоматического регулирования температуры стерилизации выбран программируемый логический контроллер ПЛК210-04 фирмы «ОВЕН». Рассмотрен алгоритм идентификации параметров математической модели автоклава с использованием экспериментальных данных процесса стерилизации, полученных на мясоконсервном заводе «Арго» в г. Калининграде. Идентификация математической модели автоклава представлена передаточными функциями апериодического звена первого порядка с запаздыванием. Моделированием динамики изменения температуры с помощью пакета Solid Thinking Embed определены параметры численной модели. При использовании полученных значений параметров модели автоклава инженерным методом определены оптимальные параметры ПИД-регулятора в системе автоматического регулирования температуры стерилизации. В математической модели максимальное отклонение значения температуры от его действительного значения в автоклаве составило не более 2 °С. С помощью численных параметров идентификации разработана программа управления горизонтальным автоклавом МАГ-3/1100 в среде разработки приложений CODESYS V3.5, предложена организация автоматизированного рабочего места оператора управления горизонтальным автоклавом для оперативного контроля текущих значений температуры и давления с целью принятия решений в системе управления процессом стерилизации.

Ключевые слова: автоклав, идентификация, модель, передаточная функция, температура стерилизации, регулятор.

Для цитирования: Будченко Н. С., Долгий Н. А., Устич В. И. Идентификация математической модели автоклава МАГ-3/1100 // Известия КГТУ. 2024. № 72. С. 57–69. DOI 10.46845/1997-3071-2024-72-57-69.

Original article

Identification of the mathematical model of the MAG-3/1100 autoclave

Natal'ya S. Budchenko¹, Nikolay A. Dolgiy¹, Vladimir I. Ustich¹

¹Kaliningrad State Technical University, Kaliningrad, Russia

natalya.budchenko@klgtu.ru, <https://orcid.org/0000-0002-4480-8402>

dolgi@klgtu.ru, <https://orcid.org/0000-0002-2198-952X>

ustich@klgtu.ru, <https://orcid.org/0000-0002-8150-2912>

Abstract. The goal of the work was to obtain the parameters of a numerical mathematical model of the MAG-3/1100 autoclave, widely used by enterprises in the Kaliningrad region for the sterilization of canned meat and fish. At the stage of analyzing the autoclave as an automation object, control points for the main technological parameters of the sterilization process have been established, taking into account the design features of the horizontal autoclave. A functional diagram of the process of sterilization of canned meat using a horizontal autoclave MAG-3/1100 has been developed and a description of its operation has been given. The programmable logic controller OWEN PLC210-04 has been selected as the autoclave control device in the automatic sterilization temperature control system. An algorithm for implementing the identification of parameters of a mathematical model of an autoclave using experimental data of the sterilization process obtained at the ARGO meat-packing plant in Kaliningrad has been considered. Identification of the mathematical model of the autoclave is represented by the transfer functions of the first order aperiodic link with delay. By modeling the dynamics of temperature changes using the Solid Thinking Embed package, the parameters of the numerical model have been determined. Using the obtained values of the autoclave model parameters, the optimal parameters of the PID controller in the automatic sterilization temperature control system have been determined using the engineering method. In the mathematical model, the maximum deviation of the temperature value from its actual value in the autoclave was no more than 2 °C. Using numerical identification parameters, a control program for the horizontal autoclave MAG-3/1100 has been developed in the application development environment CODESYS V3.5, and the organization of an automated workstation for the operator of the control of the horizontal autoclave has been proposed for operational monitoring of current temperature and pressure values in order to make management decisions in the sterilization process control system.

Keywords: autoclave, identification, model, transfer function, sterilization temperature, regulator.

For citation: Budchenko N. S., Dolgiy N. A., Ustich V. I. Identification of the mathematical model of the MAG-3/1100 autoclave. *Izvestiya KGTU = KSTU News*. 2024; (72) : 57–69. (In Russ.). DOI 10.46845/1997-3071-2024-72-57-69.

ВВЕДЕНИЕ

Стерилизация консервов как технологическая операция завершающей тепловой обработки гарантирует безопасность и сохранность продукта консервации [1]. В зависимости от выбранного технологического режима обработки конкретного вида продукта значение температуры стерилизации изменяется от 100 до 130 °С. Выполнение точного регламента режима стерилизации особенно характерно для мясных консервов, так как они содержат животные продукты, обогащенные жирами и белками, и при нарушении режима переработки или хранения консервов возникают оптимальные условия для развития бактерий [2]. Нарушение регламента режима стерилизации консервов в автоклаве может привести к их возможной разгерметизации [3].

В настоящее время для стерилизации консервов используются разнообразные конструкции промышленных автоклавов. В пищевой промышленности это вертикальные и горизонтальные автоклавы широкого спектра разновидностей, размеров и принципов действия, которые при необходимости снабжаются внутренними, наружными или выносными теплообменниками, механическими, электромагнитными либо пневматическими перемещающимися устройствами и контрольно-измерительными приборами для фиксации и регулирования давления, температуры, уровня жидкости, расхода воды и пара. Точное соблюдение формулы стерилизации, включающей подъем, выдержку определенной величины и снижение давления и температуры в автоклаве, может быть обеспечена только применением системы автоматического управления, синтез которой и параметрическая настройка ее регуляторов требуют знания математической модели процесса автоклава [4].

Одним из распространенных видов аппаратов, используемых для стерилизации мясных консервов, является промышленный горизонтальный автоклав МАГ-3/1100. Цель работы – получение параметров его численной математической модели.

ОСНОВНАЯ ЧАСТЬ

Рассматриваемый горизонтальный автоклав МАГ-3/1100 периодического действия является одним из распространенных видов автоклавов в Калининградской области. Он позволяет осуществлять процесс стерилизации консервов любого размера при любых значениях температуры и давления, которые выбираются в зависимости от номера банки. Устройство горизонтального автоклава МАГ-3/1100 показано на рис. 1. Конструктивно автоклав представляет собой металлический корпус 1 из нержавеющей стали размером 3480 x 1700 x 1650 мм и диаметром отверстия 1100 мм, рассчитанный на загрузку трех корзин с консервной продукцией 2, к которому подведены трубопроводы подачи в автоклав воды 3, пара 4, сжатого воздуха 5, трубопроводы продувки 6 и слива воды 7. Спереди автоклава расположена его крышка 8, которая имеет герметизирующее уплотнение, позволяющее плотно закрывать крышку перед началом каждого цикла стерили-

лизации. Внутри корпуса автоклава МАГ-3/1100 расположена камера стерилизации 9, в которой вмонтированы паровой барботер 10 для нагрева до температуры

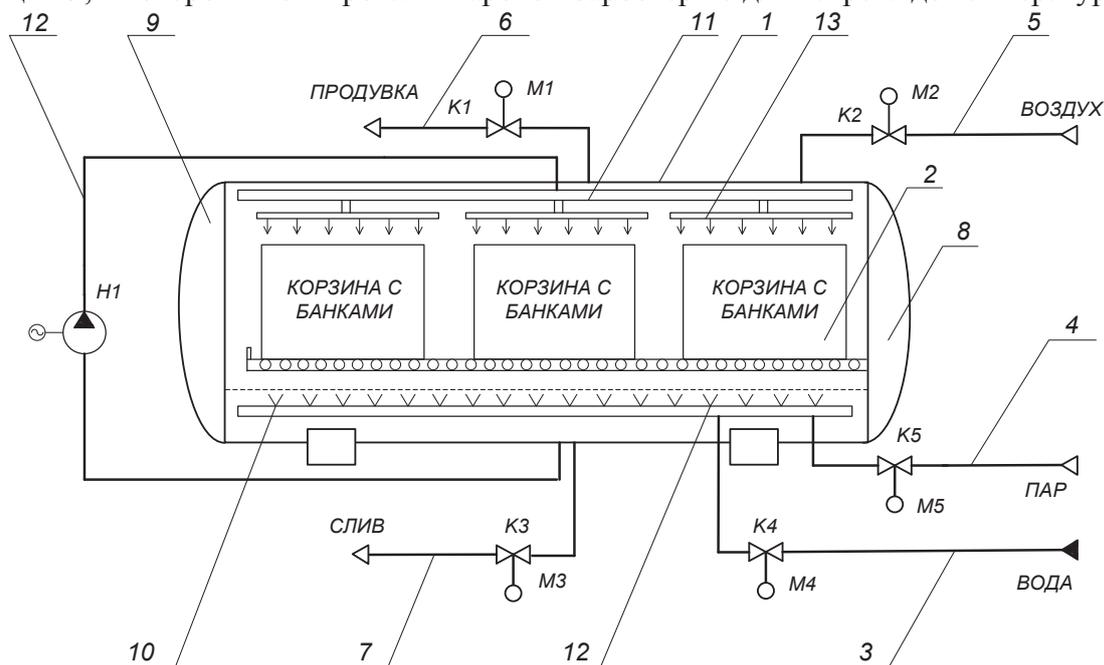


Рис. 1. Устройство горизонтального автоклава МАГ-3/1100
Fig. 1. Design of the horizontal autoclave MAG-3/1100

стерилизации поступающей в автоклав воды, устройство орошения 11, представляющее собой трубу, в которую по циркуляционному трубопроводу 12 попадает вода, металлические пластины для равномерного орошения 13 и направляющие с роликами для загрузки или выгрузки корзин из автоклава 14.

При анализе автоклава как объекта автоматизации разработана функциональная схема автоматизации автоклава МАГ-3/1100 (рис. 2). На ней отображены точки контроля и регулирования технологических параметров процесса стерилизации. В качестве управляющего устройства используется программируемый логический контроллер ПЛК 210-04 фирмы «ОВЕН».

После закрытия крышки автоклава, положение которой отслеживается датчиком ZE9-A, и запуска программы стерилизации контроллер открывает клапан продувки K1 для сброса избыточного давления из автоклава. При нулевом значении датчика давления PE2-A клапан K1 закрывается и открывается клапан подачи воды K4, поднимая уровень воды в автоклаве до нижнего рабочего значения, который отслеживается датчиком уровня LE6-A. При достижении нижнего рабочего уровня клапан подачи воды K4 закрывается. Индикатор HL4 отслеживает отклонение давления от нормы в трубопроводе подачи воды.

Для нагрева воды контроллер формирует управляющий сигнал на клапан подачи пара K5 и включает циркуляционный насос Н1, запуская электродвигатель М1. Работа насоса фиксируется индикатором HL1, температура воды измеряется с помощью датчика TE1-A. Датчики PE3-A и FE5-A отслеживают давление циркуляционного насоса Н1 и расход воды.

При нагреве воды до заданной температуры контроллер выключает клапан пара, используя показания датчика TE1-A.

Через фиксированный интервал времени контроллер дает команду открыть клапан подачи сжатого воздуха K2 для создания внутри автоклава противодействия. Клапан K2 закроется при условии, если показания датчика давления будут равны 0,22 МПа. Сразу после этого контроллер открывает клапан подачи воды K4 для поднятия ее уровня внутри автоклава до верхнего рабочего уровня, уровень воды отслеживается датчиком LE6-A. При достижении верхнего заданного значения уровня клапан K4 закроется, но откроется клапан слива K5, чтобы слить воду до нижнего уровня. Когда уровень доходит до нижнего значения, снова открывается клапан подачи воды K4. Таким образом происходит замещение воды, следовательно, вода охлаждается, что фиксируется датчиком температуры TE1-A. Цикл замещения воды завершится, когда показания датчика температуры TE1-A будут равны 35–40 °С, после чего клапаны K3 и K4 закроются.

В конце по команде контроллера выключается циркуляционный насос H1, сбрасывается давление клапаном K1, сливается вся вода из автоклава посредством клапана K3.

Для построения математической модели автоклава использовались экспериментально полученные зависимости температуры и давления процесса стерилизации в автоклаве МАГ-3/1100 [5–9]. Параметры модели должны быть определены в результате решения задачи идентификации по измеряемым значениям управляемого и управляющего сигналов при работе автоклава в режимах промышленной эксплуатации [10–12].

Алгоритм идентификации параметров математической модели автоклава был реализован следующим образом. В момент начала стерилизации, после заполнения автоклава водой, регулятор температуры установлен на заданное значение 124 °С, что соответствует стерилизации консервов «Говядина тушеная», банка № 8. Далее значения температуры и давления в автоклаве, поступающего с датчика температуры ДТС045М-50М.0,5.120.МГ.RS, с точностью ± 1 °С фиксировались контроллером ПЛК210-04.

Пример просмотра протокола стерилизации показан на рис. 3. Повышение температуры происходит за счет подачи пара в низ автоклава, где осуществляется передача тепла греющей среде (циркулирующей воде). Повышение давления осуществляется путем подачи воздуха через клапан в автоклав. Конечная температура должна достигнуть температуры стерилизации $T_{стр}$, конечное давление $P_{стр}$ – противодействия стерилизации.

Как видно из рис. 3, фаза нагрева разбита на два этапа:

– *этап 1* (предварительный нагрев). Максимально быстрый подъем температуры до значения не выше 95 °С, при этом клапан пара и клапан продувки постоянно открыты;

– *этап 2* (регулируемый нагрев). Линейное повышение температуры и давления до значения, заданного выбранной формулой стерилизации. Повышение температуры происходит за счет подачи пара в низ автоклава, где тепло передается греющей среде (циркулирующей воде).

Повышение давления осуществляется путем подачи воздуха через клапан в автоклав.

Параметры численной математической модели стерилизационной камеры горизонтального автоклава идентифицированы с помощью аperiodического звена первого порядка с запаздыванием [13, 14]:

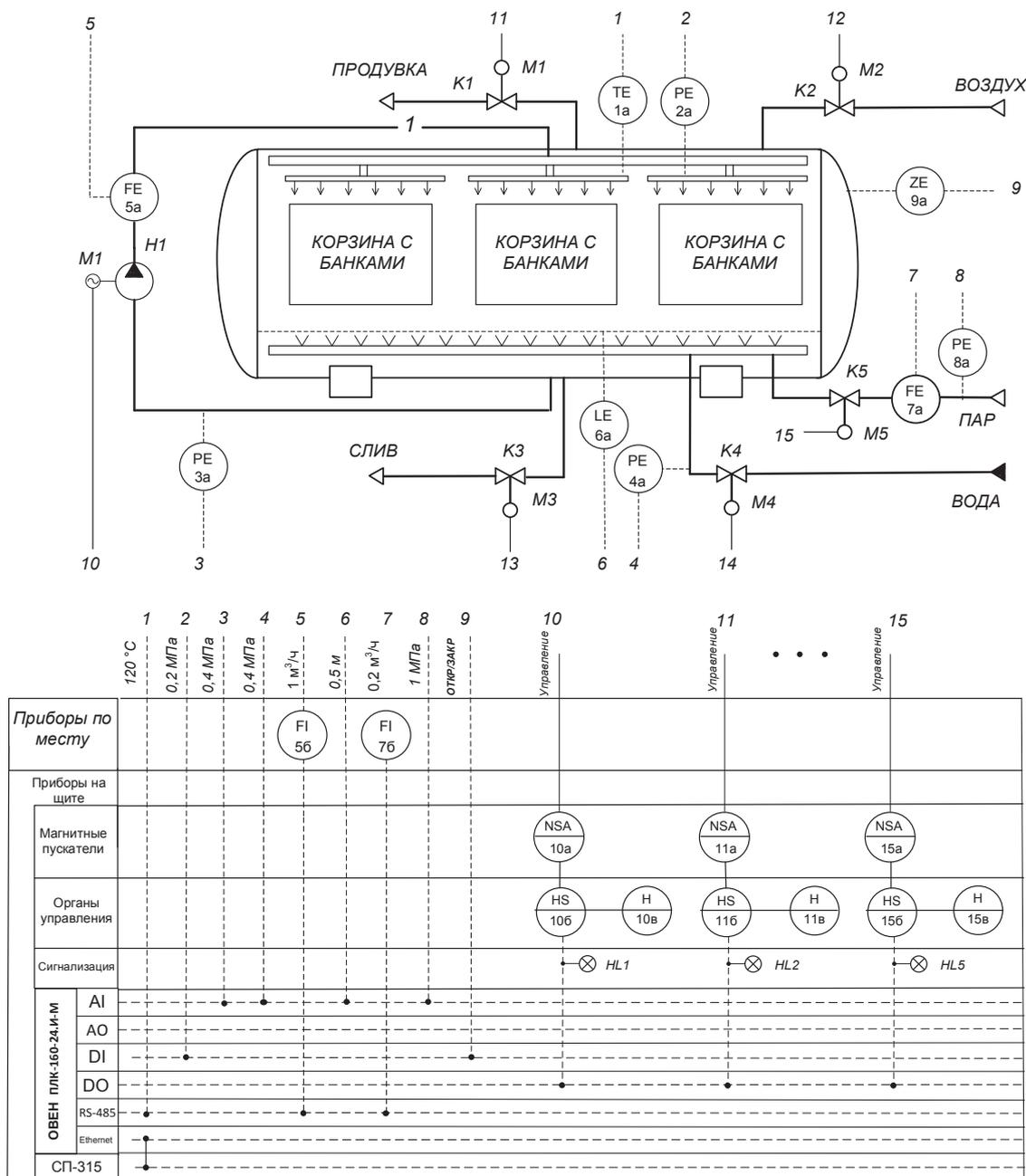


Рис. 2. Функциональная схема автоматизации автоклава МАГ-3/1100
 Fig. 2. Functional diagram of autoclave automation MAG-3/1100

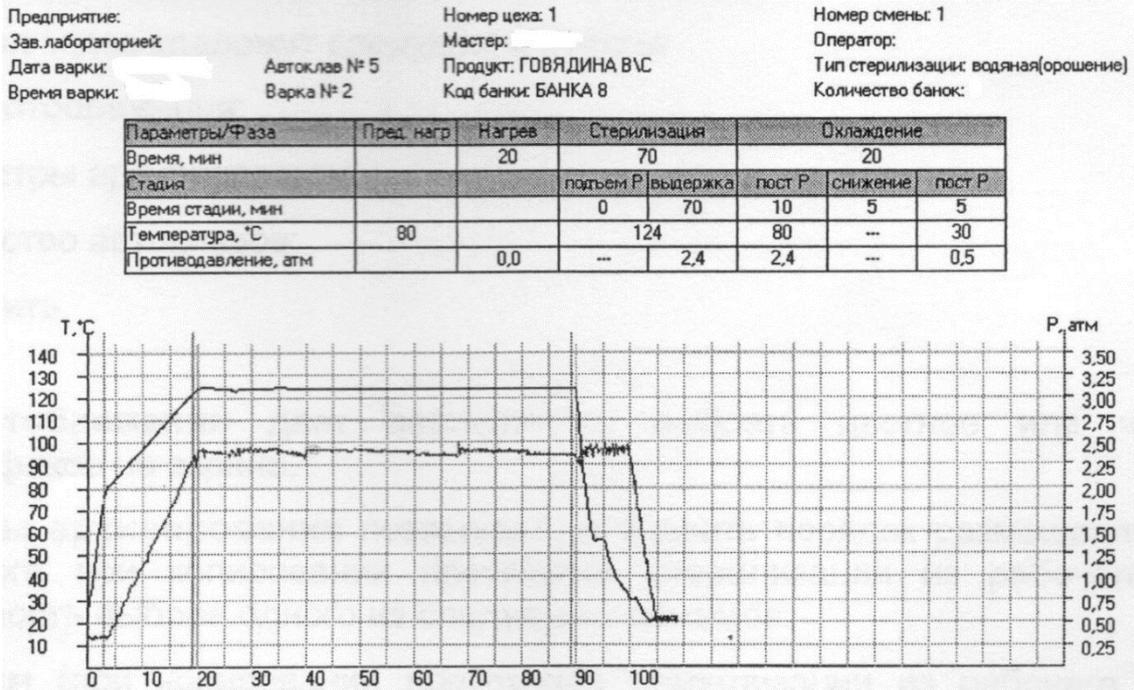


Рис. 3. Пример архивного протокола процесса стерилизации консервов
 Fig. 3. An example of an archival protocol for the sterilization process of canned food

$$W(s) = \frac{k}{T*s+1} * e^{-s*t},$$

где k – коэффициент передачи объекта управления (автоклава), $с^{\circ}C/кг$;
 T – постоянная времени, мин;
 t – время запаздывания, мин.

При нагреве автоклава передаточная функция принимает следующий вид:

$$W(s) = \frac{30}{17*s+1} * e^{-s*3}.$$

Для подтверждения адекватности математической модели температуры автоклава проведен эксперимент, в котором среда полости автоклава нагревалась в температурных диапазонах от 30 до 124 °С и от 15 до 95 °С. Используя программный продукт Solid Thinking Embed для моделирования температурных режимов работы автоклава, были определены параметры численной модели (k , T , t). Максимальное отклонение численной математической модели температуры автоклава от истинного значения в аппарате не превысило 2 °С.

По полученным значениям параметров численной модели автоклава был проведен подбор оптимальных параметров ПИД-регулятора на основе критерия максимальной степени устойчивости [15].

В результате моделирования для установки температуры 95 °С с учетом начальной температуры 15 °С были подобраны следующие коэффициенты ПИД-регулятора: $Kn = 0,09$; $Ki = 0,006$; $Kd = 0,1$. Переходная характеристика модели представлена на рис. 4.

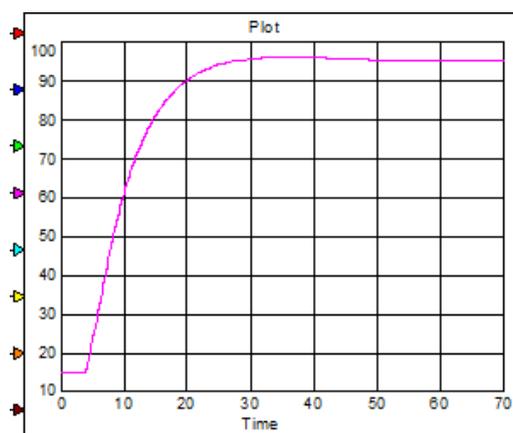


Рис. 4. Переходной процесс численной модели температуры автоклава с ПИД-регулятором с оптимальными параметрами настройки
Fig. 4. Transient process of numerical autoclave temperature model with PID controller with optimal settings

Создана программа управления горизонтальным автоклавом МАГ-3/1100 в среде разработки приложений CODESYS V3.5, а также создана необходимая база для расширения автоматизации производства консервной продукции путем создания АРМ и выбора многофункционального современного контроллера ПЛК210-04-CS. Автоматизированное рабочее место для управления горизонтальным автоклавом МАГ-3/1100 представлено на рис. 4. Визуализация изменения температуры в автоклаве показана на рис. 5.

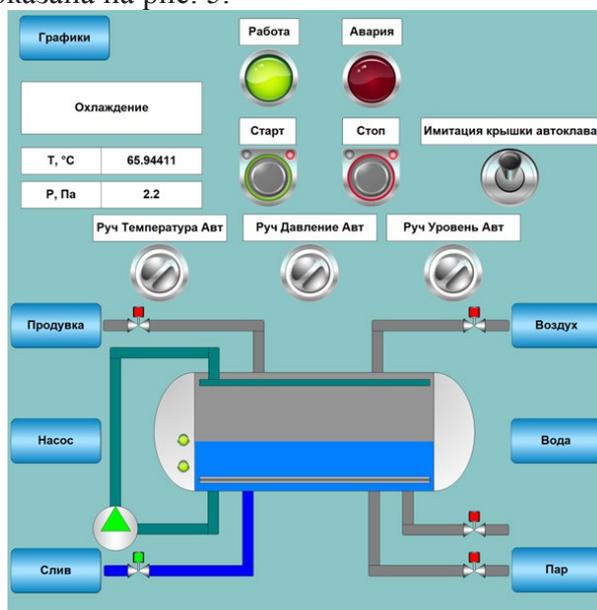


Рис. 5. Автоматизированное рабочее место для управления горизонтальным автоклавом МАГ-3/1100
Fig. 5. Automated workstation for controlling the horizontal autoclave MAG-3/1100

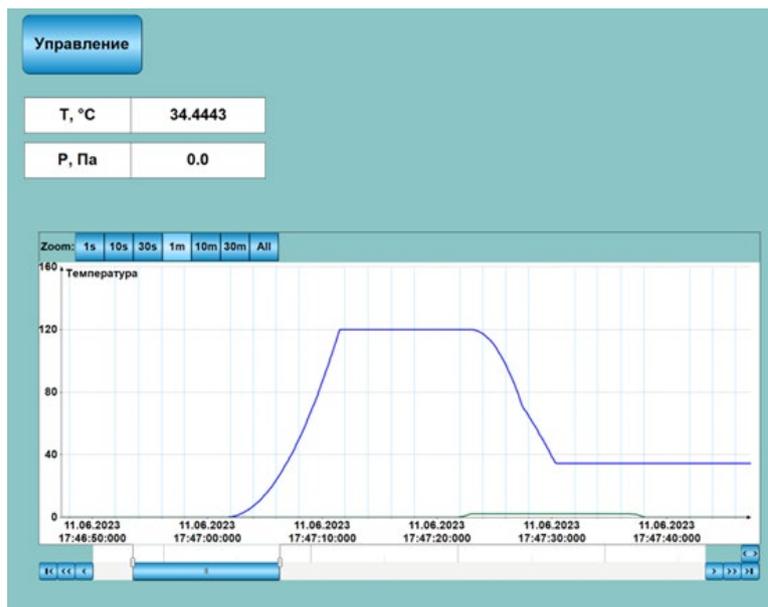


Рис. 6. График изменения температуры в автоклаве
Fig. 6. Graph of temperature changes in the autoclave

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Математическая модель представлена передаточными функциями, построенными по переходной характеристике процесса стерилизации. Информация о температуре и давлении в автоклаве поступала с датчиков в программируемый логический контроллер «ОВЕН» ПЛК210-04-CS. В математической модели максимальное расхождение значения температуры от истинного его значения в автоклаве составило не более 2 °С. С целью получения переходного процесса регулирования температуры в автоклаве при регламентированном значении отклонения ± 1 °С в системе автоматического управления был использован ПИД-регулятор, параметры настройки которого определены инженерным методом.

В результате выполненной работы получена математическая модель горизонтального автоклава МАГ-3/1100, определены параметры математической модели температуры в автоклаве, разработана программа управления автоклавом с оптимальными параметрами регулирования, с применением программной среды CoDeSys. Полученные результаты планируется использовать при модернизации САУ автоклава МАГ-3/1100.

Список источников

1. Бабарин В. П. Стерилизация консервов: справочник. СПб: ГИОРД, 2006. 305 с.
2. Мишанин Ю. Ф., Рашидова Г. М. Состав микроорганизмов при производстве мясных консервов // Современные научные исследования и инновации в области применения суб- и сверхкритических технологий: Международная научно-

техническая конференция (21 мая 2014): материалы. КубГТУ. Краснодар, 2014. С. 81–87.

3. Будченко Н. С., Долгий Н. А. Автоматизированный контроль герметичности стерилизованных консервов // Балтийский морской форум: материалы IX Международного Балтийского морского форума, 04–09 октября 2021 года. Калининград, Изд-во БГАРФ ФГБОУ ВО «КГТУ», 2021. Т. 6. С. 109–112.

4. Варламов Н. А., Назаров М. А. Математическая модель процесса автоклавирования гипсового щебня как объекта управления // Молодежь и наука: актуальные проблемы фундаментальных и прикладных исследований: II Всероссийская национальная научная конференция студентов, аспирантов и молодых ученых: материалы, 08–12 апреля 2019 года. Комсомольск-на-Амуре, Изд-во КНАГТУ, 2019. Ч. 2. С. 250–253.

5. Мокрушин С. А., Благовещенский И. Г. Разработка автоматизированной системы управления технологическим процессом стерилизации консервов в промышленном автоклаве. Курск: Закрытое акционерное общество «Университетская книга», 2022. 169 с. ISBN 978-5-907679-35-1.

6. Методика идентификации объекта управления с целью его дальнейшей автоматизации / С. А. Мокрушин, В. С. Хорошавин, А. В. Шабалин, К. А. Михайлов // Общество, наука, инновации (НПК-2013): Всероссийская ежегодная научно-практическая конференция (15-26 апреля): материалы. Киров: Вятский государственный университет, 2013. С. 1126–1130.

7. Тюков Н. И., Даутов А. И., Закурдаева Е. А. Математическая модель управления процессом разогрева автоклава при производстве изделий из композиционных материалов // Вестник Уфимского государственного авиационного технического университета. 2008. Т. 10. № 2. С. 159–163.

8. Предварительный подбор режима стерилизации консервов «Скумбрия атлантическая натуральная с добавлением масла» на основе разработанных математических моделей процесса / А. А. Маслов, А. В. Столянов, А. В. Кайченев, Л. К. Куранова // Вестник МГТУ. 2016. Т. 19. № 4. С. 861–868.

9. Stolyanov A., Zhuk A., Vlasov A. Complex for modeling and optimization the sterilization process // IOP Conference Series: Earth and Environmental Science: 12th International Scientific Conference on Agricultural Machinery Industry, INTERAGROMASH-2019, Rostov-on-Don: V. 403. P. 012016. DOI 10.1088/1755-1315/403/1/012016.

10. Исследование влияния неоднородности температурного поля при продувке стерилизационной камеры автоклава на различие стерилизующих эффектов в банках / А. М. Ершов, В. А. Гроховский, А. А. Маслов, А. В. Власов, А. В. Кайченев // Вестник Мурманского государственного технического университета. 2009. Т. 12. № 1. С. 52–57.

11. Эйкхофф П. Основы идентификации систем управления. Оценивание параметров и состояния / пер. с англ. В. А. Лотоцкого, А. С. Манделя; под ред. А. С. Райбмана. М.: Мир, 1975. 686 с. [Pieter Eykhoff. System identification. Parameter and state estimation. University of Technology. Eindhoven, Netherlands. Wiley, 1974. 555 p.].

12. Льюнг Л. Идентификация систем: теория для пользователя / пер. с англ. А. С. Манделя, А. В. Назина; под ред. Я. З. Цыпкина. М.: Наука, 1991. 432 с. [Len-

nart Ljung. System identification: theory for the user. Prentice-Hall, Englewood Cliffs. N. J., 1987. 511 p.].

13. Идентификация параметров численной математической модели стерилизационной камеры судового автоклава ASCAMAT 230 с целью разработки оптимальной системы автоматического управления / А. В. Кайченков, А. В. Власов, А. А. Маслов, А. А. Жук, В. В. Яценко // Вестник Астраханского государственного технического университета, 2018. № 1. С. 7–17.

14. Жук А. А. Численный поиск параметров математических моделей пищевых продуктов из гидробионтов для процессов пастеризации // Вестник Астраханского государственного технического университета, 2021. № 2. С. 89–98.

15. Магергут В. З., Вент Д. П., Кацер И. А. Выбор промышленных регуляторов и расчет их оптимальных настроек: монография. Белгород: Изд-во БГТУ, 2009. 239 с.

References

1. Babarin V. P. *Sterilizatsiya konservov: spravochnik* [Sterilization of canned food: reference book]. Saint-Petersburg, GIORД Publ., 2006, 305 p.

2. Mishanin Yu. F., Rashidova G. M. Sostav mikroorganizmov pri proizvodstve myasnykh konservov [Composition of activities in the production of canned meat]. *Sovremennye nauchnye issledovaniya i innovatsii v oblasti primeneniya sub- i sverkhkriticheskikh tekhnologiy: Mezhdunarodnaya nauchno-tekhnicheskaya konfe-rentsiya (21 maya 2014): materialy* [Modern scientific research and innovation in the field of application of sub- and supercritical technologies: International scientific and technical conference (May 21, 2014): proceedings]. KubGTU Publ., Krasnodar, 2014, pp. 81–87.

3. Budchenko N. S., Dolgiy N. A. Avtomatizirovanny kontrol' germetichnosti sterilizovannykh konservov [Automated control of the tightness of sterilized canned food]. *Baltiyskiy morskoy forum: materialy IX Mezhdunarodnogo Baltiyskogo morskogo foruma 04–09 oktyabrya 2021 goda* [Baltic Maritime Forum: proceedings of the IX International Baltic Maritime Forum, October 04–09, 2021]. Kaliningrad, BGARF FGBOU VO «KGTU» Publ., 2021, vol. 6, pp. 109–112.

4. Varlamov N. A., Nazarov M. A. Matematicheskaya model' protsessa avtoklavirovaniya gipsovogo shchebnaya kak ob"ekta upravleniya [Mathematical model of the process of autoclaving gypsum crushed stone as object control]. *Molodezh' i nauka: aktual'nye problemy fundamental'nykh i prikladnykh issledovaniy: II Vserossiyskaya natsional'naya nauchnaya konferentsiya studentov, aspirantov i molodykh uchenykh: materialy, 08–12 aprelya 2019 goda* [Youth and science: current problems of fundamental and applied research: II All-Russian National Scientific Conference of students, postgraduate students and young scientists: materials, April 08–12, 2019]. Komsomol'skiy-na-Amure, Izd-vo KnAGTU, 2019, part 2, pp. 250–253.

5. Mokrushin S. A., Blagoveshchenskiy I. G. *Razrabotka avtomatizirovannoy sistemy upravleniya tekhnologicheskim protsessom sterilizatsii konservov v promyshlennom avtoklave* [Development of an automated control system for the technological process of sterilization of canned food in an industrial autoclave]. Kursk, Zakrytoe aktsionnoe obshchestvo "Universitetskaya kniga" Publ., 2022, 169 p. ISBN 978-5-907679-35-1.

6. Mokrushin S. A., Khoroshavin V. S., Shabalin A. V., Mikhaylov K. A. Metodika identifikatsii ob"ekta upravleniya s tsel'yu ego dal'neyshey avtomatizatsii [Methodology for identifying a control object for the purpose of its further automation]. *Obshchestvo, nauka, innovatsii (NPK-2013): Vserossiyskaya ezhegodnaya nauchno-prakticheskaya konferentsiya (15–26 aprelya): materialy* [Society, science, innovation (NPK-2013). All-Russian annual scientific and practical conference (April 15-26): proceedings]. Kirov, Vyatskiy gosudarstvennyy universitet, 2013, pp. 1126–1130.
7. Tyukov N. I., Dautov A. I., Zakurdaeva E. A. Matematicheskaya model' upravleniya protsessom razogreva avtoklava pri proizvodstve izdeliy iz kompozitsionnykh materialov [Mathematical model for controlling the autoclave heating process during the production of products from composite materials]. *Vestnik Ufimskogo gosudarstvennogo aviatsionnogo tekhnicheskogo universiteta*. 2008, vol. 10, no. 2, pp. 159–163.
8. Maslov A. A., Stolyanov A. V., Kaychenov A. V., Kuranova L. K. Predvaritel'nyy podbor rezhima sterilizatsii konservov «Skumbriya atlanticheskaya na-tural'naya s dobavleniem masla» na osnove razrabotannykh matematicheskikh modeley protsessa [Preliminary selection of the sterilization mode for canned food «Natural Atlantic mackerel with added oil» based on developed mathematical models of the process]. *Vestnik MGTU*, 2016, vol. 19, no. 4, pp. 861–868.
9. Stolyanov A., Zhuk A., Vlasov A. Complex for modeling and optimization the sterilization process. IOP Conference Series: Earth and Environmental Science: 12th International Scientific Conference on Agricultural Machinery Industry, INTERAGROMASH-2019, Rostov-on-Don, vol. 403, p. 012016. DOI 10.1088/1755-1315/403/1/012016.
10. Ershov A. M., Grokhovskiy V. A., Maslov A. A., Vlasov A. V., Kaychenov A. V. Issledovanie vliyaniya neodnorodnosti temperaturnogo polya pri produvke sterilizatsionnoy kamery avtoklava na razlichie sterilizuyushchikh effektiv v bankakh [Study of the influence of inhomogeneity of the temperature field when purging the sterilization chamber of an autoclave on the difference in sterilizing effects in jars]. *Vestnik Murmanskogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta*, 2009, vol. 12, no. 1, pp. 52–57.
11. Eykhhoff P. System identification. Parameter and state estimation. University of Technology, Eindhoven, Netherlands, Wiley, 1974. 555 p. (Russ. Ed.: Eykhhoff P, Raibman A. S., Lototsky V. A., Mandel A. S. Osnovy identifikatsii sistem upravleniya. Otsenivanie parametrov i sostoyaniya. Moscow, Mir Publ., 1975, 686 p.).
12. L'yung L. System identification: theory for the user. Prentice-Hall, Englewood Cliffs. N. J., 1987. 511 p. (Russ. Ed.: L'yung L., S., Tsyarkin Ya. Z., Mandel A. S., Nazin A. V. Identifikatsiya sistem: teoriya dlya pol'zovatelya. Moscow, Nauka Publ., 1991, 432 p.).
13. Kaychenov A. V., Vlasov A. V., Maslov A. A., Zhuk A. A., Yatsenko V. V. Identifikatsiya parametrov chislennoy matematicheskoy modeli sterilizatsionnoy kamery sudovogo avtoklava ASCAMAT 230 s tsel'yu razrabotki optimal'noy sistemy avtomaticheskogo upravleniya [Identification of parameters of the numerical mathematical model of the sterilization chamber of the ship autoclave ASCAMAT 230 in order to develop an optimal automatic control system]. *Vestnik Astrakhanskogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta*, 2018, no. 1, pp. 7–17.

14. Zhuk A. A. Chislennyy poisk parametrov matematicheskikh modeley pishchevykh produktov iz gidrobiontov dlya protsessov pasterizatsii [Numerical search for parameters of mathematical models of food products from hydrobionts for pasteurization processes]. *Vestnik Astrakhanskogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta*, 2021, no. 2, pp. 89–98.

15. Magergut V. Z., Vent D. P., Katser I. A. Vybor promyshlennykh regulyatorov i raschet ikh optimal'nykh nastroek [Selection of industrial regulators and calculation of their optimal settings]. Belgorod, BGTU Publ., 2009, 239 p.

Информация об авторах

Н. С. Будченко – кандидат технических наук, доцент кафедры цифровых систем и автоматике

Н. А. Долгий – кандидат технических наук, доцент кафедры цифровых систем и автоматике

В. И. Устич – кандидат технических наук, доцент кафедры цифровых систем и автоматике

Information about the authors

N. S. Budchenko – PhD in Engineering, Associate Professor, Department of Digital Systems and Automation

N. A. Dolgii – PhD in Engineering, Associate Professor, Department of Digital Systems and Automation

V. I. Ustich – PhD in Engineering, Associate Professor, Department of Digital Systems and Automation

Статья поступила в редакцию 27.10.2023; одобрена после рецензирования 10.11.2023; принята к публикации 20.11.2023.

The article was submitted 27.10.2023; approved after reviewing 10.11.2023; accepted for publication 20.11.2023.