Вестник МГТУ. 2017. Т. 20, № 3. С. 563–571.
DOI: 10.21443/1560-9278-2017-20-3-563-571

УДК 664.951.6

А. В. Столянов, А. В. Кайченов, Л. К. Куранова,
А. А. Маслов, В. А. Гроховский

Исследование температурного поля промышленного автоклава ASCAMAT-230

Одной из проблем при разработке нового режима термической обработки продукта на этапах предварительного подбора и лабораторного испытания является неоднородность температурного поля в стерилизационных камерах промышленных автоклавов при нагреве и охлаждении. В связи с этим было проведено исследование температурного поля промышленного автоклава ASCAMAT-230. ASCAMAT-230 представляет собой вертикальный автоклав объемом 230 литров и нагревом тремя трубчатыми электронагревателями. Определение параметров температурного поля проводилось согласно методике по изучению температурного поля греющей среды аппаратов периодического действия для стерилизации консервов. Для измерения значения температур в стерилизационной камере автоклава ASCAMAT-230 использовались шесть логгеров температуры Thermochron iButton серии DS1922. Логгер 1 размещен в месте установки штатного термометра, логгеры 2 и 3, 5 и 6 – в центре и на периферии нижней и верхней частей автоклава соответственно, логгер 4 – по центру средней части стерилизационной камеры автоклава. Измерение температуры в банках с продуктом проводилось логгерами температуры из комплекса Ellab TrackSense PRO. Логгеры установлены в двух банках с однородным продуктом, которые располагались в верхней и нижней частях автоклава. На основании полученной информации построены температурно-временные зависимости для всего процесса стерилизации, а также для этапов нагрева и охлаждения. По этим данным сделаны выводы о равномерности температурного поля внутри стерилизационной камеры автоклава ASCAMAT-230 на этапах нагрева, собственно стерилизации и охлаждения. В работе приведены рекомендации по использованию автоклава ASCAMAT-230 при предварительном подборе и проверке режимов стерилизации консервов из гидробионтов, а также при создании системы управления промышленным автоклавом.

Ключевые слова: температурное поле, ASCAMAT-230, логгер температуры.

Введение

Термическая обработка продукции и изготовления консервов в водной среде, несмотря на несколько веков развития, продолжает активно совершенствоваться. Стерилизованные консервы остаются востребованными благодаря длительному сроку хранения и удобству в реализации и потреблении.

Ключевым фактором при разработке новых режимов стерилизации является оптимальное сочетание полезного и вредного воздействия высоких температур на продукт во время процесса стерилизации. С одной стороны, тепловая стерилизация инактивирует присутствующие в продуктах питания микроорганизмы и ферменты. В то же время высокая температура снижает концентрацию термолабильных нутриентов. Поэтому исследователи находятся в постоянном поиске оптимальных температурно-временных режимов тепловой стерилизации, снижающих энергозатраты и продолжительность процесса стерилизации [1].

Одной из проблем при разработке нового режима термической обработки (стерилизации) продукта на этапах предварительного подбора и лабораторного испытания является неоднородность температурного поля в стерилизационных камерах промышленных автоклавов при нагреве и охлаждении (температура по объему автоклава различается более чем на один градус). В связи с этим сотрудниками кафедр автоматики и вычислительной техники (АиВТ) и технологий пищевых производств (ТПП) Мурманского государственного технического университета (МГТУ) были проведены исследования[1] по изучению температурного поля греющей среды автоклава ASCAMAT-230 (Германия) [2]. Автоклавами данного типа оснащены суда мурманской компании ФЭСТ, вырабатывающие рыбные консервы.

Цель работы: поиск наименее прогреваемой зоны автоклава ASCAMAT-230, необходимый для разработки новых и корректировки действующих режимов стерилизации консервов.

Материалы и методы

Объект исследования

Объектом исследования является промышленный автоклав ASCAMAT-230 производства фирмы ASCA GmbH (Германия) (рис. 1), представляющий собой вертикальный автоклав объемом 230 литров и нагревом тремя трубчатыми электронагревателями, расположенными в донной и боковых частях [3]. Камера автоклава – это цилиндрический сосуд с размерами 620 мм × 640 мм (Ш × В).

[1] Методика изучения температурного поля греющей среды аппаратов периодического действия для стерилизации консервов // Министерство рыбного хозяйства СССР, 1983.

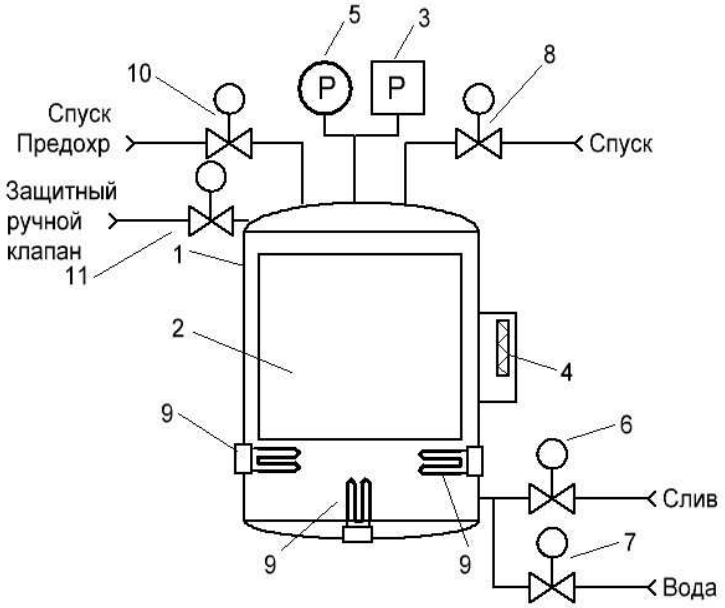

Рис. 1. Промышленный автоклав ASCAMAT-230:
1 – корпус; 2 – клеть; 3 – датчик давления; 4 – датчик температуры; 5 – манометр; 6 – клапан слива; 7 – клапан подачи охлаждающей воды; 8 – клапан спуска пара; 9 – нагревательные элементы; 10 – предохранительный клапан; 11 – защитный ручной клапан-блокиратор крышки
Fig. 1. The industrial autoclave ASCAMAT-230:
1 – the case; 2 – the stand; 3 – the pressure sensor; 4 – the temperature sensor; 5 – the manometer; 6 – the drain valve; 7 – the cooling water supply valve; 8 – the valve of steam descent; 9 – the heating elements; 10 – the safety valve; 11 – the protective manual lid blocking valve

Программные и аппаратные средства исследования

Для измерения значения температур в стерилизационной камере автоклава ASCAMAT-230 использовались логгеры температуры Thermochron iButton серии DS1922 научно-технической лаборатории "Электронные инструменты" (рис. 2).

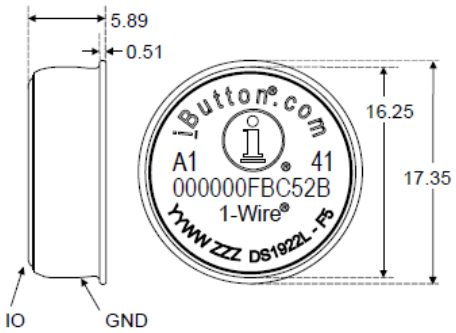

Рис. 2. Логгер температуры Thermochron iButton
Fig. 2. The Thermochron iButton temperature logger

Измерение температуры в наименее прогреваемой области банки с продуктом проводилось с помощью логгеров комплекса Ellab TrackSense PRO (рис. 3). После автоклавоварки использование данных значений позволило рассчитать фактический стерилизующий эффект (*F*-эффект).

Рис. 3. Логгер температуры комплекса Ellab TrackSense PRO (Дания)
Fig. 3. The temperature logger of the Ellab TrackSense PRO complex (Denmark)

Методы исследования

Определение параметров температурного поля промышленного автоклава ASCAMAT-230 проводилось согласно рекомендациям, изложенным в методике по изучению температурного поля греющей среды аппаратов периодического действия для стерилизации консервов [4; 5].

Логгеры температуры Thermochron iButton DS1922T-F5 располагались внутри стерилизационной камеры автоклава ASCAMAT-230, полностью заполненного банками с продуктом, как показано на рис. 4. Логгер 1 размещен в месте установки штатного термометра (карман стерилизационной камеры автоклава). Логгерами 2 и 3 производились измерения температуры в центре и на периферии нижней части автоклава. В верхней части автоклава аналогично были размещены логгеры 5 и 6. В средней части измерения температуры проводились с помощью логгера 4, расположенного по центру автоклава.

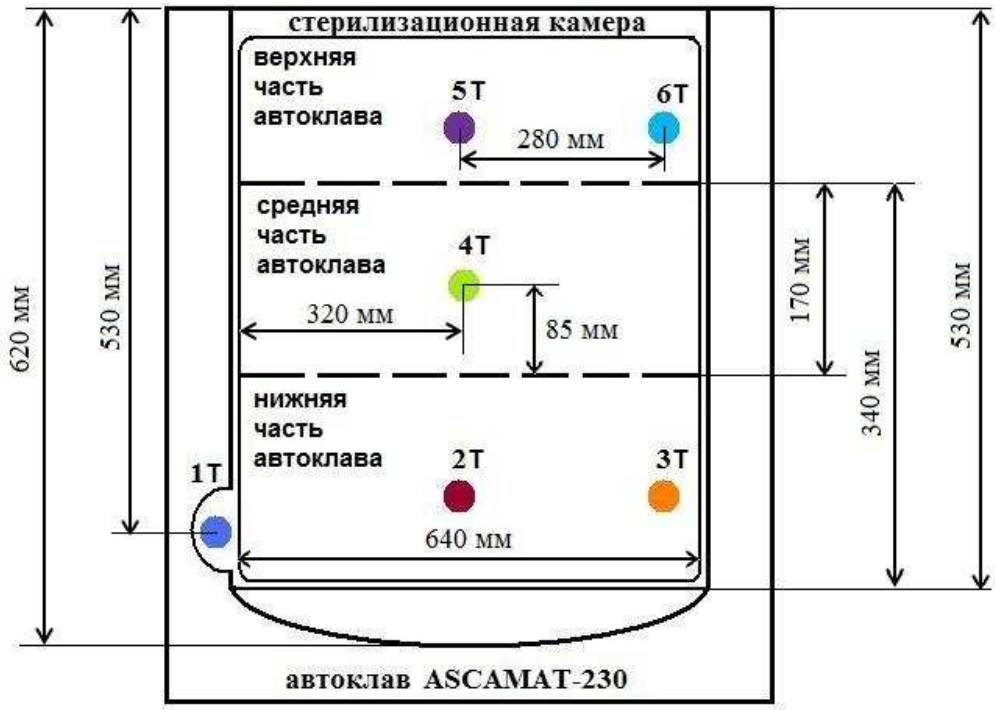

Рис. 4. Размещение логгеров температуры внутри стерилизационной камеры автоклава
Fig. 4. Placement of temperature loggers inside the autoclave sterilization chamber

Логгеры температуры комплекса Ellab TrackSense PRO были установлены в двух банках с однородным продуктом (паштет), которые располагались в верхней и нижней частях автоклава ASCAMAT-230. Эксперименты проведены в 3-кратной повторности. Отклонения температуры минимальны (в пределах ошибки прибора ± 0,01 °С).

Результаты и обсуждение

Температурно-временные характеристики всего процесса стерилизации, а также отдельно этапов нагрева и охлаждения в точках размещения логгеров Thermochron iButton DS1922T-F5 внутри стерилизационной камеры автоклава ASCAMAT-230 представлены на рис. 5, 6 и 7 соответственно.

Анализируя данные рис. 5–7, можно сказать, что на этапе нагрева температурное поле автоклава возможно считать однородным, так как температура во всех точках, где были расположены логгеры, по окончании этапа отличается не более чем на один градус Цельсия. Кривая нагрева логгера 3 отличается от остальных, поскольку логгер был расположен в той части автоклава, где наблюдается наибольший градиент температур в начале процесса нагрева.

На этапе охлаждения (рис. 7) видно, что нижняя часть автоклава (корзина 1) охлаждается быстрее всего. Это объясняется расположением клапана подачи охлаждающей воды в донной части автоклава. Логгер 4, расположенный в центре стерилизационной камеры автоклава, охлаждался с запаздыванием в 10 мин относительно логгеров нижней корзины. Верхняя корзина (логгеры температуры 5 и 6) охлаждается лишь через 15 мин после полного охлаждения нижней корзины автоклава.

Временные зависимости температуры и *F*-эффекта, полученные с помощью логгеров Ellab TrackSense PRO, представлены на рис. 8 и 9 соответственно.

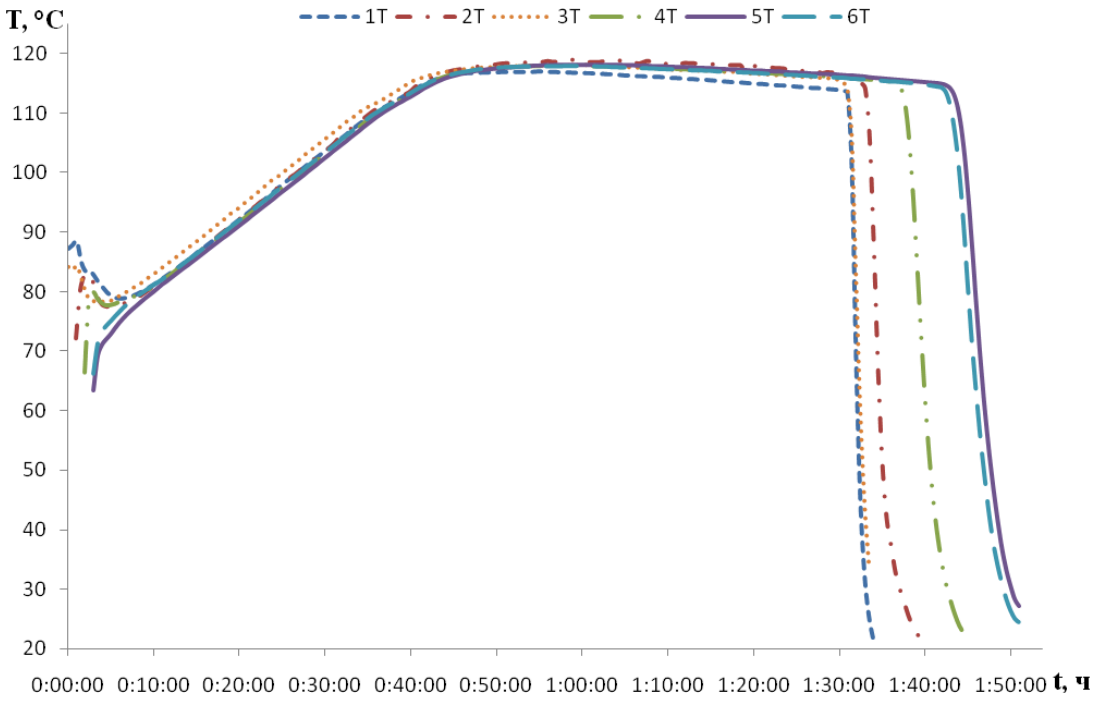

Рис. 5. Температурно-временные характеристики всего процесса стерилизации
Fig. 5. The temperature and time characteristics of the entire sterilization process

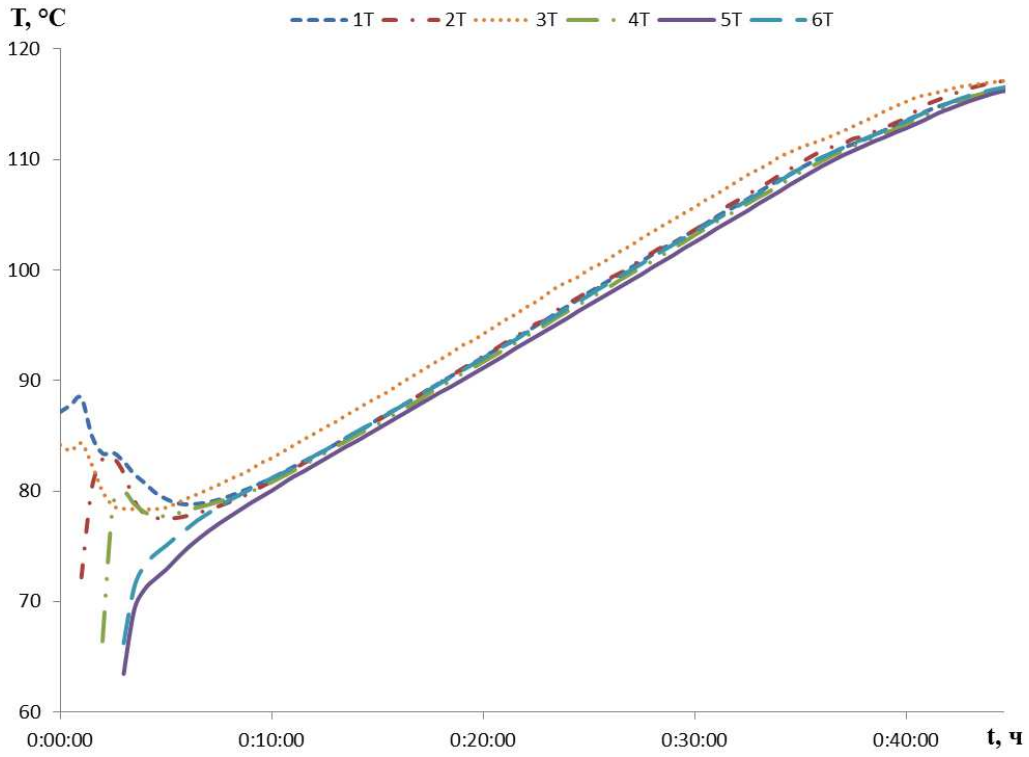

Рис. 6. Температурно-временные характеристики этапа нагрева
Fig. 6. The temperature and time characteristics of the heating stage

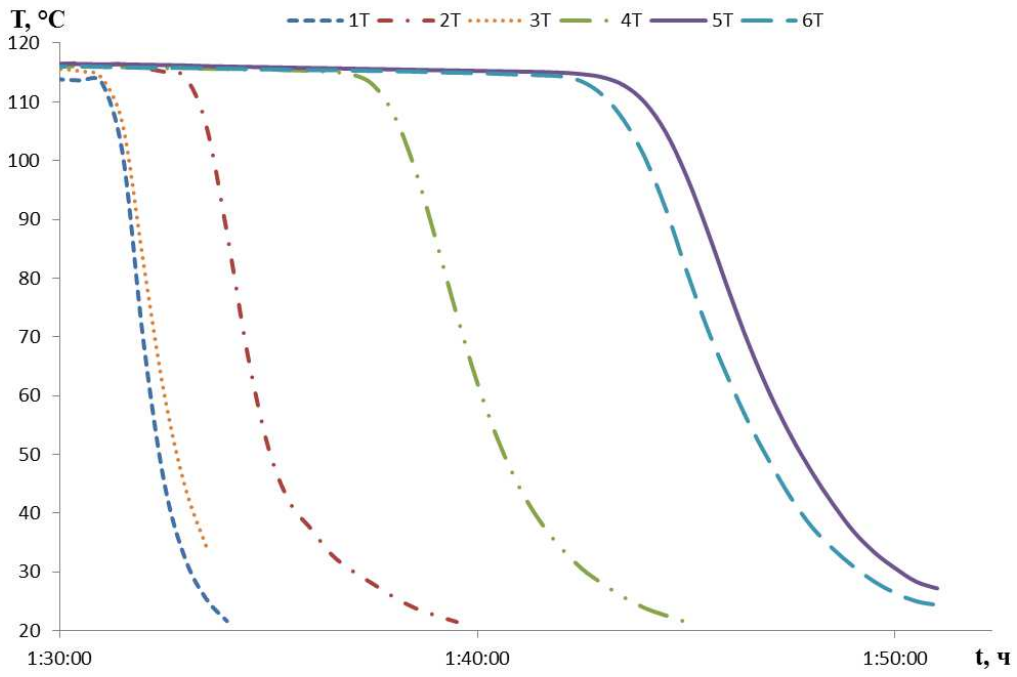

Рис. 7. Температурно-временные характеристики этапа охлаждения
Fig. 7. The temperature and time characteristics of the cooling stage

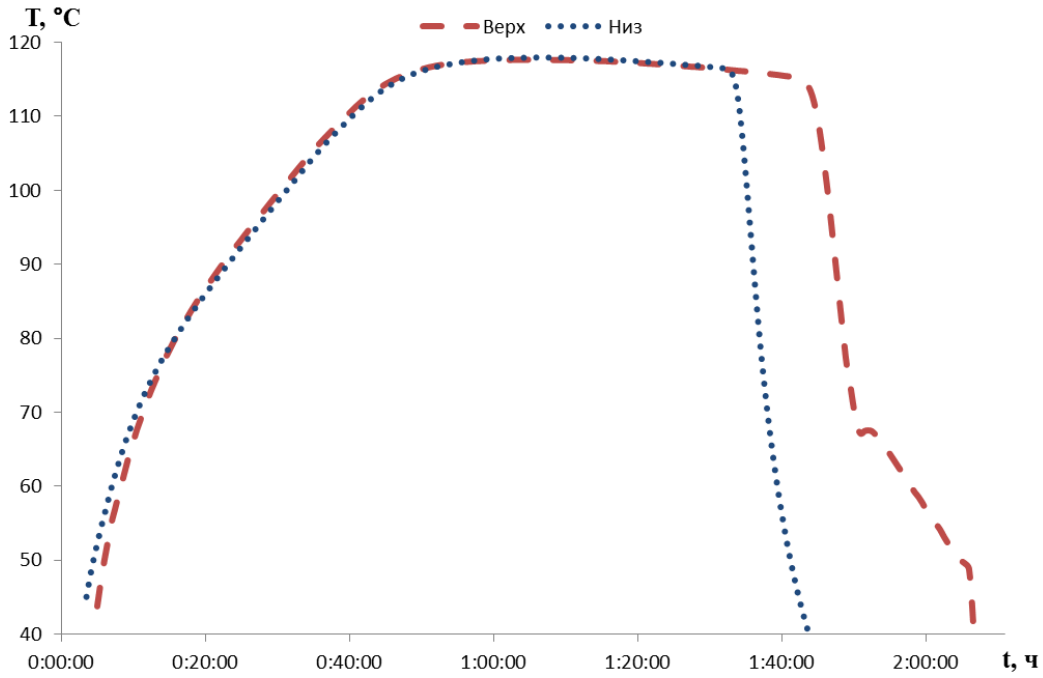

Рис. 8. Временные зависимости температуры внутри банок с продуктом
Fig. 8. The time dependencies of temperature inside the cans with the product

Как видно из рис. 8, после 10 мин процесса нагрева температура в центре банок с продуктом в верхней и нижней частях автоклава не отличается более чем на 1 °С до конца этапа собственно стерилизации. На этапе охлаждения банки с продуктом в верхней части автоклава начинают охлаждаться через 10 мин после банок с продуктом, располагающихся в нижней части автоклава. Именно этим и обусловлено различие конечных значений *F*-эффектов (рис. 9) на 10 % в различных корзинах автоклава.

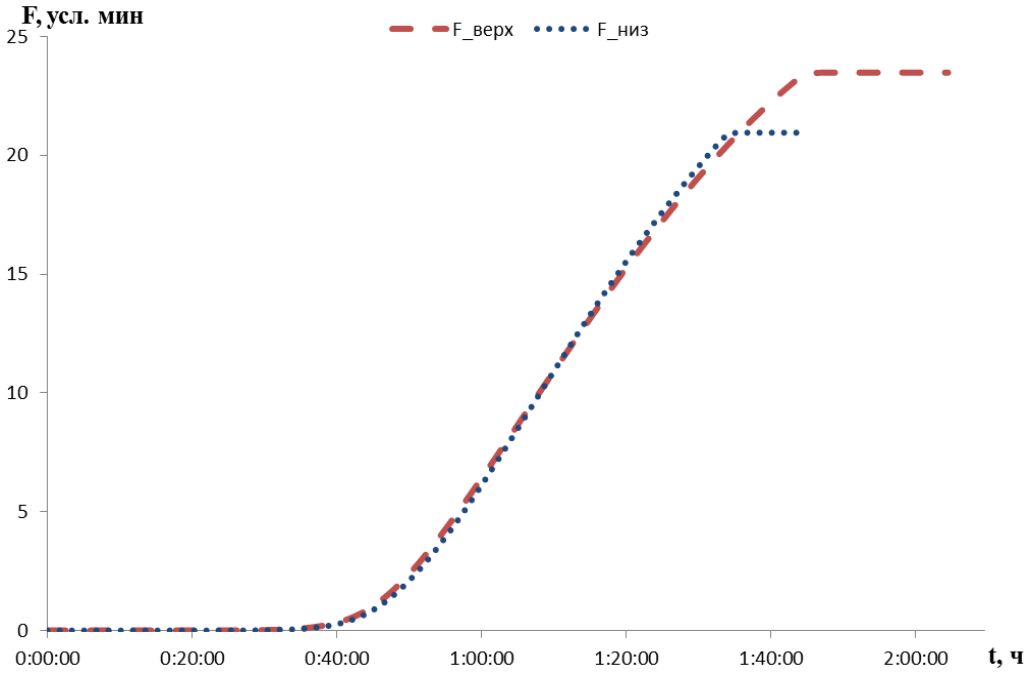

Рис. 9. Временные зависимости *F*-эффекта для банок с продуктом
Fig. 9. The time dependencies of the *F*-effect for cans with the product

С учетом полученных данных об однородности температурного поля можно предложить следующие рекомендации по использованию автоклава ASCAMAT-230:

1) на этапе предварительного подбора режимов стерилизации консервов рекомендуется банки с продуктом размещать в нижней корзине автоклава. Это позволит выдерживать заданный температурно-временной режим стерилизации на этапе охлаждения;

2) при создании системы управления автоклавом желательно располагать датчики температуры в нижней и верхней частях автоклава для поддержания температуры стерилизации на заданном значении на этапе собственно стерилизации;

3) необходимо учитывать разницу *F*-эффектов, равную 10 %, в верхней и нижней корзинах автоклава при проведении процесса стерилизации консервов.

Заключение

По результатам проведенного исследования можно сделать следующие выводы.

1. Изучено температурное поле промышленного автоклава ASCAMAT-230. С помощью данных о температуре, полученных с логгеров температуры Thermochron iButton и Ellab TrackSense PRO, построены временные зависимости температур в характерных точках автоклава для всего процесса стерилизации и отдельно для этапов нагрева и охлаждения. Также построены характеристики изменения температуры и фактического стерилизующего эффекта внутри банок с продуктом при проведении процесса стерилизации.

2. Температурное поле промышленного автоклава ASCAMAT-230 на этапе стерилизации можно считать равномерным, так как разница температур в различных областях автоклава и банках с продуктом составляет не более 1 °С. На этапе охлаждения температурное поле является неоднородным, поскольку нижняя часть автоклава охлаждается быстрее верхней на 15 мин, а банки с продуктом – на 10 мин. Причиной такой неоднородности является конструктивная особенность автоклава ASCAMAT-230 – подача охлаждающей воды осуществляется сначала в донную часть автоклава.

3. Определена наименее прогреваемая зона промышленного автоклава ASCAMAT-230.

Приведенные выше рекомендации использованы при разработке режимов стерилизации для автоклавов этого типа.

Библиографический список

1. Столянов А. В., Кайченов А. В., Маслов А. А. [и др.]. Применение моделирования режимов тепловой стерилизации для улучшения показателей качества консервной продукции // Вестник МГТУ. 2015. Т. 18, № 1. С. 110–116.
2. Власов А. В., Маслов А. А., Кайченов А. В. 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. 50–51.
3. Столянов А. В., Кайченов А. В., Власов А. В. [и др.]. Экономичная методика разработки режимов стерилизации консервов из гидробионтов для промышленных автоклавов // Вестник МГТУ. 2015. Т. 18, № 4. С. 661–666.
4. Кайченов А. В., Маслов А. А., Власов А. В. Совершенствование методики изучения температурного поля греющей среды аппаратов периодического действия для стерилизации консервов // Наука и образование – 2009 : сб. тр. по материалам междунар. науч.-техн. конф., Мурманск, 2009. С. 361–363.
5. Власов А. В., Кайченов А. В., Маслов А. А. Исследование температурного поля в стерилизационной камере автоклава с использованием теории планирования активного эксперимента // Автоматизация и энергосбережение машиностроительного производства, технология и надежность машин, приборов и оборудования : материалы III междунар. науч.-техн. конф. Вологда, 2007. Т. 1. С. 193–196.

References

1. Stolyanov A. V., Kaychenov A. V., Maslov A. A. [i dr.]. Primenenie modelirovaniya rezhimov teplovoy sterilizatsii dlya uluchsheniya pokazateley kachestva konservnoy produktsii [Application of thermal sterilization regimes simulation for improvement of canned foods quality factors] // Vestnik MGTU. 2015. V. 18, N 1. P. 110–116.
2. Vlasov A. V., Maslov A. A., Kaychenov A. V. Issledovanie temperaturnogo polya v konservah pri sterilizatsii v avtoklavah periodicheskogo deystviya [Investigation of cans' temperature field during sterilization in periodic autoclaves] // Molodezh i sovremennyie informatsionnyie tehnologii : sb. tr. VIII Vseros. nauch.-prakt. konf. studentov, aspirantov i molodyh uchenyih. Tomsk, 2010. P. 50–51.
3. Stolyanov A. V., Kaychenov A. V., Vlasov A. V. [i dr.]. Ekonomichnaya metodika razrabotki rezhimov sterilizatsii konservov iz gidrobiontov dlya promyshlennyh avtoklavov [Economic method of development sterilization regimes of canned foods for industry autoclaves] // Vestnik MGTU. 2015. V. 18, N 4. P. 661–666.
4. Kaychenov A. V., Maslov A. A., Vlasov A. V. Sovershenstvovanie metodiki izucheniya temperaturnogo polya greyuschey sredy apparatov periodicheskogo deystviya dlya sterilizatsii konservov [Improvement of studying method for the temperature field of periodic autoclaves' heating medium for sterilization of canned food] // Nauka i obrazovanie – 2009 : sb. tr. po materialam mezhdunar. nauch.-tehn. konf., Murmansk, 2009. P. 361–363.
5. Vlasov A. V., Kaychenov A. V., Maslov A. A. Issledovanie temperaturnogo polya v sterilizatsionnoy kamere avtoklava s ispolzovaniem teorii planirovaniya aktivnogo eksperimenta [Investigation of temperature field inside sterilization chamber of autoclave using theory of active experiment planning] // Avtomatizatsiya i energosberezhenie mashinostroitelnogo proizvodstva, tehnologiya i nadezhnost mashin, priborov i oborudovaniya : materialy III mezhdunar. nauch.-tehn. konf. Vologda, 2007. V. 1. P. 193–196.

Сведения об авторах

Столянов Александр Вячеславович – ул. Спортивная, 13, г. Мурманск, Россия, 183010; Мурманский государственный технический университет, ассистент кафедры; e-mail: alendrst14@gmail.com

Stolyanov A. V. – 13, Sportivnaya Str., Murmansk, Russia, 183010; Murmansk State Technical University, Junior Member of Teaching Staff; e-mail: alendrst14@gmail.com

Кайченов Александр Вячеславович – ул. Спортивная, 13, г. Мурманск, Россия, 183010; Мурманский государственный технический университет, канд. техн. наук, доцент; e-mail: ican2005@yandex.ru

Kaychenov A. V. – 13, Sportivnaya Str., Murmansk, Russia, 183010; Murmansk State Technical University, 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, канд. техн. наук, зав. научно-исследовательской лабораторией; e-mail: kuranovalk@mstu.edu.ru

Kuranova L. K. – 13, Sportivnaya Str., Murmansk, Russia, 183010; Murmansk State Technical University, Cand. of Tech. Sci., Head of Research Laboratory; e-mail: kuranovalk@mstu.edu.ru

Маслов Алексей Алексеевич – ул. Спортивная, 13, г. Мурманск, Россия, 183010; Мурманский государственный технический университет, канд. техн. наук, доцент, профессор; e-mail: maslovaa@mstu.edu.ru

Maslov A. A. – 13, Sportivnaya Str., Murmansk, Russia, 183010; Murmansk State Technical University, Cand. of Tech. Sci., Associate Professor, Professor; e-mail: maslovaa@mstu.edu.ru

Гроховский Владимир Александрович – ул. Спортивная, 13, г. Мурманск, Россия, 183010; Мурманский государственный технический университет, д-р техн. наук, профессор; e-mail: grohovskiyva@mstu.edu.ru

Grokhovsky V. A. – 13, Sportivnaya Str., Murmansk, Russia, 183010; Murmansk State Technical University, Dr of Tech. Sci., Professor; e-mail: grohovskiyva@mstu.edu.ru

Вестник МГТУ. 2017. Т. 20, № 3. С. 563–571.
DOI: 10.21443/1560-9278-2017-20-3-563-571

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

Temperature field investigation of the industrial autoclave ASCAMAT-230

Heterogeneity of the temperature field in the sterilization chambers of industrial autoclaves during heating and cooling phase is one of the problems in the development of new regime for product heat treatment on the preliminary selection and laboratory testing stages. This is the reason of studying the temperature field of the industrial autoclave ASCAMAT-230. The autoclave ASCAMAT-230 is a vertical autoclave of 230 liters capacity heated by three tubular electric heaters. Determination of temperature field parameters has been carried out according to the method for studying the temperature field of periodic devices' heating medium for sterilizing canned food. Six Thermochron iButton temperature loggers have been used to measure the temperatures in the sterilization chamber of the ASCAMAT-230 autoclave. Logger 1 has been put in the place of the standard thermometer installation, loggers 2 and 3, 5 and 6 – in the center and on periphery of the lower and upper parts of the autoclave respectively, logger 4 – in the center of the middle part of the autoclave's sterilization chamber. Temperature measurement in cans with the product has been carried out by temperature loggers from the Ellab TrackSense PRO complex. The loggers have been installed in two cans with homogeneous product located in the upper and lower parts of the autoclave. The time temperature dependences for the entire sterilization process, as well as for the heating and cooling stages have been constructed according to the acquired information. Based on these data conclusions about the uniformity of the temperature field inside the sterilization chamber of the autoclave ASCAMAT-230 during the heating, sterilization and cooling stages have been developed. Some recommendations for using the autoclave ASCAMAT-230 in the preliminary selection and verification of sterilization regimes for canned foods from hydrobionts, and also for the creation of an industrial autoclave control system have been given in the paper.

Key words: temperature field, ASCAMAT-230, temperature logger.