

УДК 664.951.6

А. В. Столянов, А. В. Кайченев, А. В. Власов, А. А. Маслов

Экономичная методика разработки режимов стерилизации консервов из гидробионтов для промышленных автоклавов

A. V. Stolyanov, A. V. Kaychenov, A. V. Vlasov, A. A. Maslov

Economic method of development of canned food sterilization regimes for industry autoclaves

Аннотация. В статье описывается использование стерилизационной установки АВК-30М при разработке режимов стерилизации консервов из гидробионтов для промышленных автоклавов, в частности для АСКАМАТ 230. Также сравниваются энергозатраты автоклавов на этапах нагрева и стерилизации.

Abstract. Utilization of the sterilization equipment AVK-30M for development of sterilization regimes of canned food for industrial autoclaves, particularly for ASCAMAT 230, has been described. Energy consumption of autoclaves during stages of heating and sterilization has been compared as well.

Ключевые слова: режим стерилизации, автоклав, АВК-30М, АСКАМАТ 230.

Key words: sterilization regime, retort, AVK-30M, ASCAMAT 230.

Введение

Разработка режимов тепловой стерилизации консервной продукции является важной задачей рыбной промышленности России [1]. Режим утверждается, если уровень фактической летальности режима превышает нормативный, микробиологические показатели отвечают требованиям промышленной стерильности и сохраняются нормативные органолептические и физико-химические показатели продукта [2].

Научно-исследовательская группа кафедры автоматики и вычислительной техники (АиВТ) Мурманского государственного технического университета (МГТУ) совместно с сотрудниками кафедры технологий пищевых производств (ТПП) в настоящее время в учебно-экспериментальном цехе (УЭЦ) университета ведет исследование технологических процессов с использованием гидробионтов. Для этого используются следующие средства и технологии: лабораторный автоклав АВК-30М, измерительный комплекс Ellab и программное обеспечение PRSC ("Подбор режима стерилизации консервов").

В 2015 г. МГТУ получил заявку от рыбопромышленных предприятий Мурманской области на разработку новых режимов стерилизации консервов для промышленного автоклава АСКАМАТ 230. В связи с тем, что данный вид автоклавов используется на рыболовных судах и отсутствует возможность непосредственного использования АСКАМАТ 230 при разработке режимов, научно-исследовательской группой кафедр АиВТ и ТПП МГТУ был предложен метод использования универсального лабораторного автоклава АВК-30М для моделирования режима стерилизации промышленного автоклава фирмы ASCA и проведено его исследование.

Объекты исследования

Для проведения исследования были выбраны промышленный автоклав АСКАМАТ 230 и универсальный лабораторный автоклав АВК-30М с микропроцессорной системой управления [3]. АВК-30М позволяет гибко реализовать любые режимы стерилизации с возможностью быстрой перенастройки любого этапа стерилизации в соответствии с заданием. Благодаря этому режим работы АВК-30М (режим стерилизации) будет в полной мере соответствовать режиму на промышленном автоклаве АСКАМАТ 230. Это позволит переносить новые, разработанные на АВК-30М режимы стерилизации консервов на промышленный автоклав АСКАМАТ 230.

Программные и аппаратные средства исследования

С целью снижения количества автоклавоварок было использовано программное обеспечение "Подбор режимов стерилизации консервов" (PRSC). Данный продукт позволяет применять результаты численного моделирования в качестве пробных автоклавоварок [4].

Фактическую летальность продукта определяли с помощью комплекса Ellab TrackSense. Данный набор логгеров позволяет исследовать температуру в наименее прогреваемой области банки и непосредственно в стерилизационной камере автоклава. После автоклавоварки можно рассчитать фактический стерилизующий эффект (F-эффект), используя значения временной зависимости температуры внутри банки, и оценить степень пригодности консервов к употреблению и длительному хранению.

Описание объектов исследования

Автоклав ASCAMAT 230 производства фирмы ASCA GmbH (Германия) (рис. 1) представляет собой вертикальный автоклав емкостью 230 л и нагревом тремя ТЭНами, расположенными в донной и боковых частях.

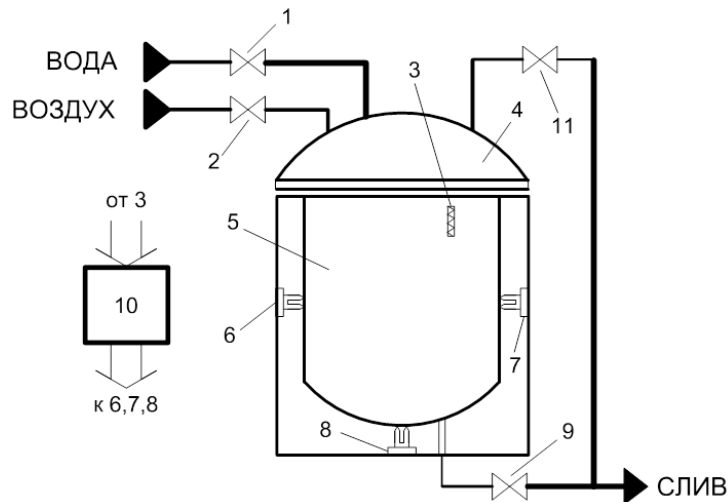


Рис. 1. Промышленный автоклав ASCAMAT 230:

1 – клапан подачи воды; 2 – клапан подачи воздуха; 3 – датчик температуры; 4 – крышка автоклава; 5 – стерилизационная камера автоклава; 6, 7, 8 – трубчатые электронагреватели; 9 – клапан слива из стерилизационной камеры; 10 – система управления; 11 – клапан спуска из стерилизационной камеры

Лабораторный автоклав АВК-30М представляет собой модернизированный медицинский стерилизатор ВК-30 (рис. 2).

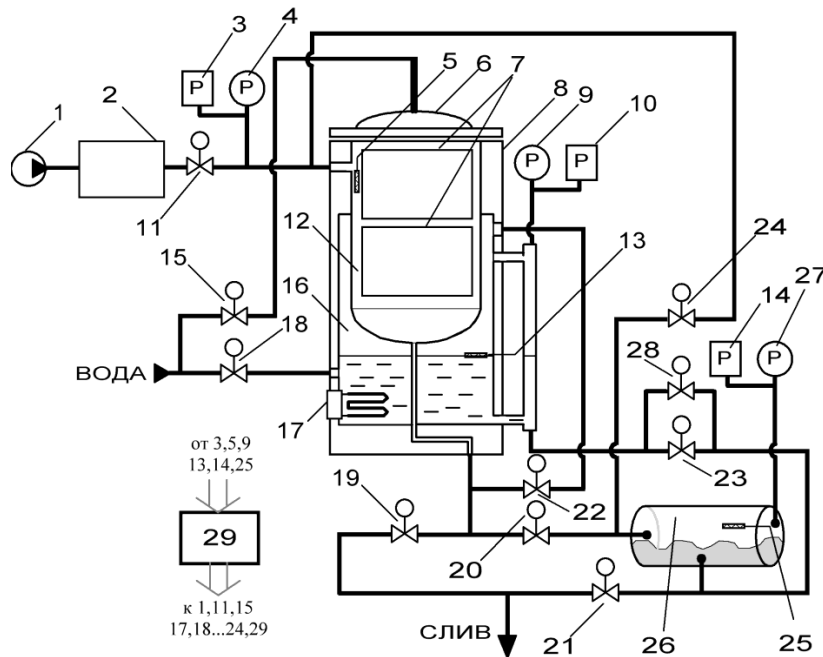


Рис. 2. Лабораторный автоклав АВК-30М:

1 – компрессор; 2 – воздушный ресивер; 3, 10, 14 – датчики избыточного давления; 4, 9, 27 – манометры; 5 – датчик температуры в стерилизационной камере; 6 – крышка стерилизационной камеры; 7 – клетки с банками; 8 – рубашка автоклава; 11 – клапан подачи воздуха; 12 – стерилизационная камера; 13 – датчик температуры в парогенераторе; 15 – клапан подачи охлаждающей воды в стерилизационную камеру; 16 – водопаровая камера (парогенератор); 17 – трубчатые электронагреватели; 18 – клапан подачи воды в парогенератор; 19 – клапан слива из стерилизационной камеры; 20 – клапан слива из стерилизационной камеры в экономайзер; 21 – клапан слива экономайзера; 22 – клапан подачи пара; 23 – клапан слива из парогенератора в экономайзер; 24 – спускной клапан; 25 – датчик температуры в экономайзере; 26 – экономайзер; 28 – клапан слива из экономайзера в парогенератор; 29 – система управления

Для проведения научных исследований и разработки режимов стерилизации АВК-30М оборудовали техническими и программными средствами отечественного производственного объединения "ОВЕН", на базе которых на кафедре АиВТ МГТУ разработана система управления автоклавом (позиция 29 на рис. 2). Она состоит из программируемого логического контроллера ПЛК-154, модуля аналогового ввода МВА-8 и модуля дискретного ввода-вывода МДВВ. В ходе процесса стерилизации система управления получает информацию с датчиков температуры и давления и осуществляет управление автоклавом с помощью электромагнитных клапанов и ТЭНов [5].

Методы и материалы исследования

На первом этапе исследования была проведена оценка временных зависимостей этапов стерилизации на АСКАМАТ 230 (рис. 3), полученных в реальных условиях эксплуатации. На основании оценки принято решение о модернизации алгоритма функционирования управляющего блока (позиция 29 на рис. 2) лабораторного автоклава АВК-30М с целью моделирования режима работы промышленного автоклава АСКАМАТ 230.

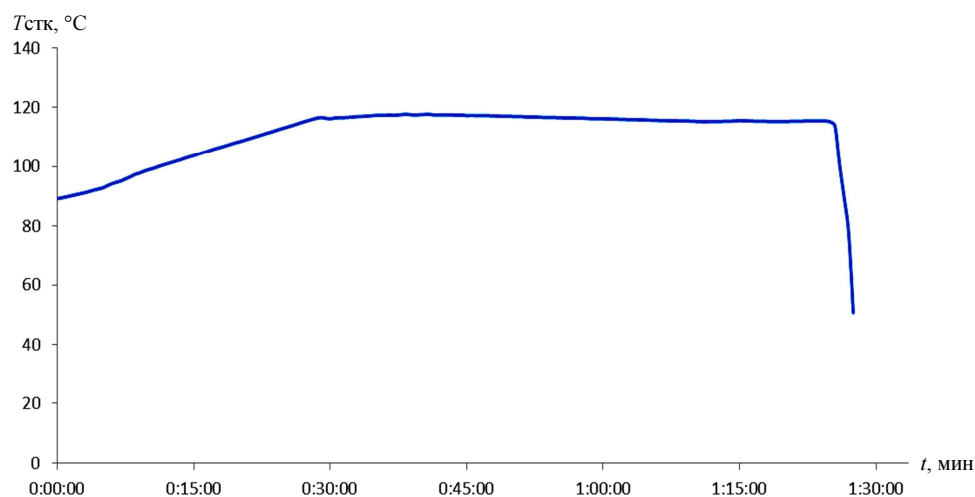


Рис. 3. График изменения температуры в автоклаве АСКАМАТ 230

Основные изменения коснулись этапов нагрева и охлаждения процесса стерилизации.

Для того, чтобы этап нагрева стерилизационной камеры АВК-30М стал подобен АСКАМАТ 230, экспериментально была подобрана функция нагрева алгоритма управления. При ее использовании АВК-30М достигает температуры стерилизации в 115 °C в среднем за 25–27 мин (рис. 4, а). Кроме того, расхождение температур прогрева продукта внутри консервной тары между лабораторным и промышленным автоклавами после 70 °C составляет менее 1 % (рис. 4, б).

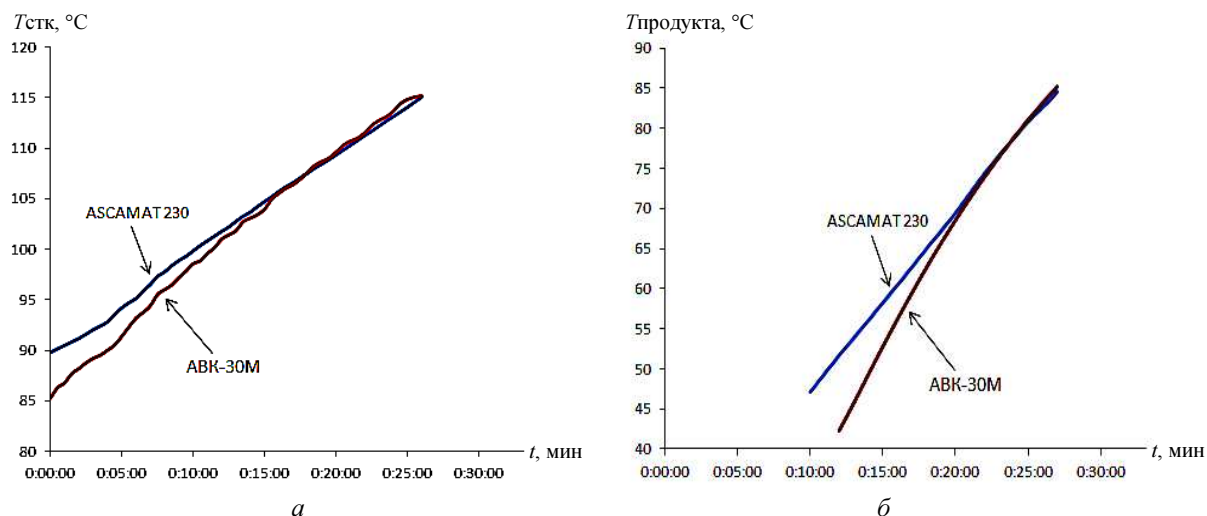


Рис. 4. График этапа нагрева АСКАМАТ 230 и АВК-30М: а – температура стерилизационных камер; б – температура продукта внутри тары

Расхождение температур стерилизационных камер автоклавов (рис. 4, а) в начале этапа нагрева объясняется тем, что меньший объем прогретой воды в АВК-30М при загрузке банок охлаждается быстрее. Расхождение начальной температуры продуктов внутри тары можно обосновать особенностью логгеров температуры, которые начинают регистрировать показания температуры после 40 °С (рис. 4, б). Тем не менее, расхождение начальных температур продуктов на этапе нагрева не оказывает влияния на конечное значение фактической летальности.

Таким образом, можно сказать, что система управления в АВК-30М на этапе нагрева всегда стремится сократить отклонение температуры автоклава от кривой нагрева промышленного автоклава ASCAMAT 230. При этом к 12-13 минуте процесса нагрева (рис. 4, а) расхождение температур автоклавов не превышает 1 %.

Аналогичные изменения алгоритма были проведены для этапа охлаждения автоклава АВК-30М. В связи с различием объемов автоклавов и систем управления (ручная – в ASCAMAT 230) удалось осуществить сходимость этапов охлаждения стерилизационных камер автоклавов для первых двух минут (рис. 5). Эксперименты показали, что за это время происходит решающий скачок температуры как в стерилизационной камере автоклавов, так и внутри консервной тары с продуктом (рис. 6, а). В конце этапа значения фактической летальности в лабораторном и промышленном автоклавах отличаются не более, чем на 0,2 усл. минуты (1–3 %) (рис. 6, б).

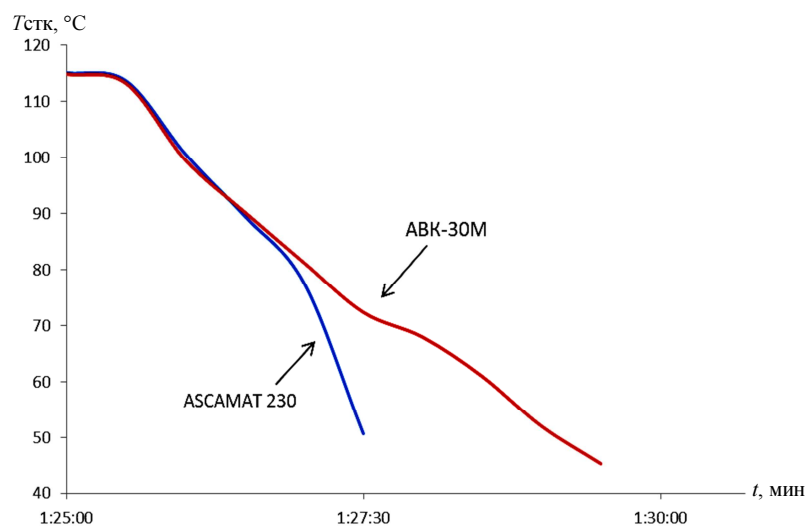


Рис. 5. Температура внутри автоклавов на этапе охлаждения

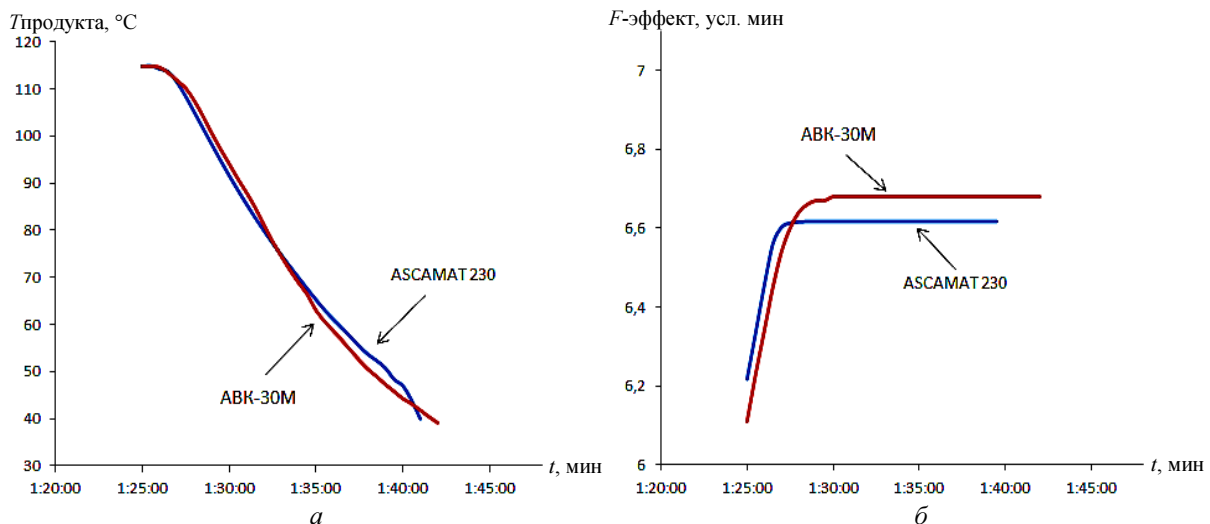


Рис. 6. Этап охлаждения автоклавов ASCAMAT 230 и АВК-30М:
а – температура продукта; б – значение фактической летальности

Следовательно, можно сказать, что температура в автоклаве АВК-30М на этапе охлаждения с погрешностью в 2 % совпадает с таковой в промышленном автоклаве ASCAMAT 230.

Тепловой расчет этапов нагрева и собственно стерилизации

На этапе нагрева энергия затрачивается на нагрев аппарата, корзин, тары (в данном случае использована банка № 3), воды, продукта и потери тепла в окружающую среду [3], [6]. В данной работе мы не будем рассматривать затраты на нагрев аппаратов, корзин и тары, поскольку количество энергии, затрачиваемое на их нагрев, значительно меньше по сравнению с энергозатратами на нагрев воды в стерилизационных камерах автоклавов. Учитывая это, расход тепла на этапе нагрева рассчитывается следующим образом:

$$Q_{\text{нагр}} = G_1 \cdot c_1 \cdot (T_{\text{к}} - T_{\text{н}}) + F \cdot \tau_{\text{нагр}} \cdot \lambda \cdot (T_{\text{ст}} - T_{\text{в}}) + G_2 \cdot c_2 \cdot (T_{\text{к,нагр}} - T_{\text{н,нагр}}), \quad (1)$$

где G_1 – масса воды, кг; c_1 – теплоемкость воды, 4,18 кДж/(кг·К); $T_{\text{н}}$ и $T_{\text{к}}$ – начальная и конечная температуры автоклава в процессе нагрева соответственно, 292,15 К (19 °С) и 388,15 К (115 °С); G_2 – масса продукта, кг; c_2 – теплоемкость продукта, 3,6 кДж/(кг·К); $T_{\text{н,нагр}}$, $T_{\text{к,нагр}}$ – начальная и конечная температуры продукта в процессе нагрева соответственно, 288,15 (15 °С) и 358,15 К (85 °С); F – площадь поверхности аппарата, м²; $\tau_{\text{нагр}}$ – время нагрева до температуры стерилизации (115 °С), 1500 с; $T_{\text{ст}}$ – температура наружной стенки изоляции стерилизационной камеры, 297,15 К (24 °С); $T_{\text{в}}$ – температура воздуха в помещении, 288,15 К (15 °С); λ – суммарный коэффициент теплоотдачи, 13,34 Вт/(м²·К).

На этапе собственно стерилизации энергия расходуется лишь на нагрев продукта и стабилизацию температуры стерилизационной камеры автоклава, т. е. компенсацию потерь в окружающую среду. Таким образом, осуществить расчет затрат тепла на этапе собственно стерилизации можно по формуле

$$Q_{\text{стер}} = G_2 \cdot c_2 \cdot (T_{\text{к,стер}} - T_{\text{н,стер}}) + F \cdot \tau_{\text{стер}} \cdot \lambda \cdot (T_{\text{ст}} - T_{\text{в}}), \quad (2)$$

где $T_{\text{н,стер}}$, $T_{\text{к,стер}}$ – начальная и конечная температуры продукта на этапе стерилизации соответственно, 358,15 (85 °С) и 388,15 К (115 °С); F – площадь поверхности аппарата, м²; $\tau_{\text{стер}}$ – время этапа стерилизации консервов, 3600 с; $T_{\text{ст}}$ – температура наружной стенки изоляции стерилизационной камеры, 297,15 К (24 °С); $T_{\text{в}}$ – температура воздуха в помещении, 288,15 К (15 °С); λ – суммарный коэффициент теплоотдачи, 13,34 Вт/(м²·К).

Подставив в формулы (1) и (2) значения параметров из табл. 1, получим расчетные значения затрат энергии для этапов нагрева и собственно стерилизации, представленные в табл. 2.

Таблица 1

Параметры автоклавов для расчета энергозатрат

Параметр	Значение	
	АВК-30М	ASCAMAT 230
G_1	30 кг	230 кг
G_2	9,2 кг	69 кг
F	0,5 м ²	1,7 м ²

Таблица 2

Энергозатраты на этапах нагрева и стерилизации

Тип автоклава	Объем, л	Затраты на этапе нагрева, кДж	Затраты на этапе стерилизации, кДж	Итоговые затраты, кДж	Итоговые удельные затраты (в пересчете на 1 л объема), кДж	Итоговые затраты, в % от затрат для ASCAMAT 230
АВК-30М	30	2420	1210	3630	120	14
ASCAMAT 230	230	17785	8180	25965	113	100

Из анализа табл. 2 следует, что энергозатраты на этапах нагрева и собственно стерилизации в пересчете на литр объема у обоих автоклавов практически совпадают. Также, согласно табл. 2, АВК-30М потребляет энергии в 7 раз меньше, чем ASCAMAT 230 при выполнении идентичного процесса стерилизации. Это позволяет существенно сократить затраты электроэнергии, сырья, тары и воды при разработке режима стерилизации с использованием автоклава АВК-30М.

Заключение

Обобщая вышесказанное, мы пришли к выводу, что автоклав АВК-30М можно эффективно использовать для разработки новых режимов стерилизации консервов из гидробионтов для промышленного автоклава ASCAMAT 230. При использовании АВК-30М экономия может составить 85 % по электроэнергии и до 90 % по расходу сырья для одной пробной автоклавоварки.

Использование методики, описанной в статье, при необходимости разработки режимов стерилизации для промышленных автоклавов больших емкостей позволит в разы снизить затраты энергии и сырья для одной автоклавоварки.

Библиографический список

1. Обзор методов многоцелевой оптимизации термической обработки продуктов / А. В. Столянов, А. В. Кайченев, А. А. Маслов [и др.] // Перспективы развития науки и образования : сб. науч. тр. по материалам междунауч.-практ. конф. М., 2014. Ч. III. С. 17–22.
2. Инструкция по разработке режимов стерилизации консервов из рыбы и морепродуктов : утв. Ком. Рос. Федерации по рыболовству : введ. 1997-01-01. СПб. : Гипрорыбфлот, 1996. 42 с.
3. Кайченев А. В. Разработка и исследование модернизированного способа стерилизации консервов из гидробионтов : автореф. дис. ... канд. техн. наук : 05.18.04 : 05.13.06. Мурманск : МГТУ, 2011. 24 с.
4. Разработка режимов стерилизации консервов из гидробионтов с использованием средств вычислительной техники / А. В. Кайченев, А. В. Власов, А. А. Маслов [и др.] // Вестник МГТУ. 2014. Т. 17, № 1. С. 46–52.
5. Технологическая инструкция по стерилизации в воде консервов в автоклаве "АВК-30М" в условиях учебно-экспериментального цеха и лаборатории "Современные технологии производства продуктов из гидробионтов" кафедры "Технология пищевых производств" МГТУ. Мурманск : МГТУ, 2011. 9 с.
6. Дикис М. Я., Мальский А. Н. Технологическое оборудование консервных заводов. М. : Пищ. пром-сть, 1969. 777 с.

References

1. 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 mezhdun. nauch.-prakt. konf. M., 2014. Ch. III. P. 17–22.
2. Instruksiya po razrabotke rezhimov sterilizatsii konservov iz ryby i moreproduktov [Instruction for developing regimes of sterilization of canned fish and seafood] : utv. Kom. Ros. Federatsii po rybolovstvu : vved. 1997-01-01. SPb. : Giproryibflot, 1996. 42 p.
3. Kaychenov A. V. Razrabotka i issledovanie modernizirovannogo sposoba sterilizatsii konservov iz gidrobiontov [Development and research of modernized method of sterilization of canned hydrobionts] : avtoref. dis. ... kand. tehn. nauk : 05.18.04 : 05.13.06. Murmansk : MGTU, 2011. 24 p.
4. Razrabotka rezhimov sterilizatsii konservov iz gidrobiontov s ispolzovaniem sredstv vychislitel'noy tekhniki [Development of sterilization regimes of canned hydrobionts using computer] / A. V. Kaychenov, A. V. Vlasov, A. A. Maslov [i dr.] // Vestnik MGTU. 2014. T. 17, N 1. P. 46–52.
5. Tehnologicheskaya instruksiya po sterilizatsii v vode konservov v avtoklave "AVK-30M" v usloviyah uchebno-eksperimental'nogo tseha i laboratorii "Sovremennyye tekhnologii proizvodstva produktov iz gidrobiontov" kafedry "Tehnologiya pishchevyykh proizvodstv" MGTU [Technological instruction for sterilizing canned foods in autoclave "AVK-30M" in water in conditions of training and experimental plant and laboratory "Modern technologies of production of aquatic products" of department "Technology of food manufacture"]. Murmansk : MGTU, 2011. 9 p.
6. Dikis M. Ya., Malskiy A. N. Tehnologicheskoe oborudovanie konservnykh zavodov [Technological equipment of canning factories]. M. : Pisch. prom-st, 1969. 777 p.

Сведения об авторах

Столянов Александр Вячеславович – ФГБОУ ВПО "Мурманский государственный технический университет", Морской институт, кафедра автоматизации и вычислительной техники, аспирант; e-mail: alendr14@gmail.com

Stolyanov A. V. – FSEI HPE "Murmansk State Technical University", Marine Institute, Department of Automatic and Computer Engineering, Ph.D. Student; e-mail: alendr14@gmail.com

Кайченев Александр Вячеславович – ФГБОУ ВПО "Мурманский государственный технический университет", Морской институт, кафедра автоматизации и вычислительной техники, канд. техн. наук; e-mail: kaychenovav@mstu.edu.ru

Kaychenov A. V. – FSEI HPE "Murmansk State Technical University", Marine Institute, Department of Automatic and Computer Engineering, Cand. of Tech. Sci.; e-mail: kaychenovav@mstu.edu.ru

Власов Александр Валентинович – ФГБОУ ВПО "Мурманский государственный технический университет", Морской институт, кафедра автоматизации и вычислительной техники, канд. техн. наук; e-mail: vlasovav@mstu.edu.ru

Vlasov A. V. – FSEI HPE "Murmansk State Technical University", Marine Institute, Department of Automatic and Computer Engineering, Cand. of Tech. Sci.; e-mail: vlasovav@mstu.edu.ru

Маслов Алексей Алексеевич – ФГБОУ ВПО "Мурманский государственный технический университет", Морской институт, кафедра автоматизации и вычислительной техники, канд. техн. наук, доцент; e-mail: maslovaa@mstu.edu.ru

Maslov A. A. – FSEI HPE "Murmansk State Technical University", Marine Institute, Department of Automatic and Computer Engineering, Cand. of Tech. Sci., Associate Professor; e-mail: maslovaa@mstu.edu.ru