УДК: 664.8.036.26 doi: https://doi.org/10.36107/spfp.2020.157

Моделирование технологического процесса стерилизации консервов в промышленном автоклаве

Мокрушин Сергей Александрович
ФГБОУ ВО «Московский государственный университет пищевых производств»
Адрес: 125080, город Москва, Волоколамское шоссе, д. 11
E-mail: mokruschin@list.ru

Благовещенский Иван Германович
ФГБОУ ВО «Московский государственный университет пищевых производств»
Адрес: 125080, город Москва, Волоколамское шоссе, д. 11
E-mail: igblagov@mgupp.ru

Назойкин Евгений Анатольевич
ФГБОУ ВО «Московский государственный университет пищевых производств»
Адрес: 125080, город Москва, Волоколамское шоссе, д. 11
E-mail: nazojjkinea@mgupp.ru

Благовещенская Маргарита Михайловна
ФГБОУ ВО «Московский государственный университет пищевых производств»
Адрес: 125080, город Москва, Волоколамское шоссе, д. 11
E-mail: mmb@mgupp.ru

В статье представлена имитационная модель процесса стерилизации консервов в промышленном автоклаве при паровой стерилизации в воде с противодавлением. Модель учитывает взаимодействие параметров, отражающих поведение исследуемой системы. Предложенная имитационная модель адекватно отражает течение реального технологического процесса. Модель процесса стерилизации консервов позволяет учесть теплофизические свойства стерилизуемой продукции, влияние технологических возмущений в энергосистемах (паропроводах, водопроводах и воздухопроводах), а также индивидуальные характеристики автоклава. Созданы предпосылки к разработке на основании модели эффективных стерилизационных установок для малых предприятий и крупных производств. Появилась возможность совершенствования существующих стерилизационных аппаратов с использованием разработанной имитационной модели технологического процесса стерилизации консервов в промышленном автоклаве.

Ключевые слова: система управления, качество продукции, автоматизация, имитационная модель, технологический процесс, стерилизация консервов, автоклав

Введение

Известно, что процесс стерилизации является одним из самых ответственных этапов технологического процесса производства консервов, от которого во многом зависит длительность хранения и качество выпускаемой продукции (Ястребов, Массовер, 1961; Белоусов, Осипов, 1965; Аминов, 1966). При этом стерилизация консервов является сложным технологическим процессом, в котором требуется одновременно регулировать изменение давления и температуры, учитывая их влияние друг на друга. Поэтому автоклав требуется рассматривать, как объект управления, требующий создания двух взаимосвязанных контуров регулирования (Мокрушин, 2019). Как следует из анализа научно-технической и учебно-методической литературы (Флауменбаум, Танчев, Гришин, 1986; Аминов, Аминова, Горун, 1987; Лукин, 1990; Бабарин, 2006; Зонин, 2008; Пилипенко, Пелевина, 2008) до настоящего времени глубоких исследований в области автоматизации процесса стерилизации, особенно по вопросам построения систем автоматического управления, проводилось недостаточно для полного решения данной проблемы. Для эффективной организации работ в

области автоматизации данного технологического процесса авторами предлагается разработать имитационную модель, выполненную в виде структурно-функциональной схемы, которая будет учитывать взаимосвязь регулируемых параметров, а также наиболее полно соответствовать физической природе протекающих в аппарате тепло- и массообменных процессов.

Литературный обзор

Большой теоретический и практический вклад в развитие теории процесса стерилизации внесли отечественные ученые: Б.Л. Флауменбаум (Флауменбаум, 1981), М.С. Аминов (Аминов, 1966), В.П, Бабарин (Бабарин, 1994), М.Э. Ахмедов (Ахмедов, 2011) и др. Исследованиями процессов тепло- и массопереноса при стерилизации консервов, а также вопросами автоматизации процесса стерилизации занимались ученые: Б.Е. Щёкин (Щёкин, 1975), Е.В. Выскубов (Выскубов, 1996), А.В. Власов (Власов, 2010), А.В. Кайченов (Кайченов, 2011) и др. В настоящее время стерилизационные установки постоянно совершенствуются, разрабатываются новые конструкции, внедряются передовые способы стерилизации продуктов, однако до конца не исследованы способы точного и эффективного регулирования технологических параметров в установке для стерилизации консервов.

Теоретическое обоснование

Описание процесса изменения температуры при стерилизации консервов в автоклаве можно выполнить через уравнение теплового баланса при стерилизации консервов в воде, для бесконечно малого промежутка времени *dt*, имеет вид (Асмаев, Корнилов, 1982):

$$g_{ПАР}r - g_{ХВ}c_В(\Theta_В - \Theta_{ХВ}) - g_{СЛ}\Theta_В c_В - q_{ПОТ} - q_Б - q_К = m_В c_В \frac{d\Theta_В}{dt} \quad , \quad (1)$$

где:

Θ	температура воды, °С;
$\Theta_{ХВ}$	температура холодной воды, °С;
$d\Theta_В$	приращение температуры воды за промежуток времени dt;
$c_В$	удельная теплоёмкость воды, Дж/(кг °С);
$m_В$	масса воды, кг;
$q_Б$	тепловой поток, идущий к банкам, Дж/с;
$q_К$	тепловой поток, идущий к корпусу, Дж/с;
$q_{ПОТ}$	тепловые потери корпуса, Дж/с;
$g_{ХВ}$	массовый расход холодной воды через клапан, кг/с;
$g_{ПАР}$	массовый расход пара через клапан, кг/с;
$g_{СЛ}$	массовый расход паровоздушной смеси через сливной клапан, кг/с;
r	удельная теплота парообразования, Дж/кг.

Имитационная модель процесса изменения температуры в промышленном автоклаве выполняется на основании уравнения теплового баланса (1) с учетом допущений (Мокрушин, 2017, с. 1590-1596).

Давление в автоклаве состоит из трёх слагаемых: парциального давления насыщенного водяного пара, парциального давления воздуха и давления столба воды. Для упрощения системы, давление столба воды предлагается не учитывать, так как оно зависит от высоты аппарата и в месте расположения датчика незначительно. Таким образом, давление в автоклаве $P_{АВТ}$, Па рассчитывается по формуле (Выскубов, 1996):

$$P_{АВТ} = P_{ПАР} + P_{ВОЗ} \quad , \quad (2)$$

где:

$P_{ПАР}$	давление насыщенного водяного пара, Па;
$P_{ВОЗ}$	парциальное давление воздуха, Па.

Давление пара $P_{ПАР}$ зависит от температуры, поэтому, зная температуру воды в объекте исследования, по таблице состояния насыщенного пара на кривые насыщения (Ривкин, Александров, 1984) определяется его величина:

$$P_{ПАР} = 0{,}001\Theta^4_{АВТ} - 0{,}069\Theta^3_{АВТ} + 5{,}794\Theta^2_{АВТ} + 757{,}749 \quad , (3)$$

Давление воздуха определяется на основании закона Менделеева-Клапейрона:

$$P_{ВОЗ} = \frac{m_{ВОЗ} R\left(\Theta_{АВТ} + 273\right)}{V_{ВОЗ0}}, \quad (4)$$

где:

$m_{ВОЗ}$	масса воздуха, кг;
R	286 Дж/(кг · К) – газовая постоянная;
$\Theta_{АВТ}$	температура, °С;
$V_{ВОЗ0}$	0,25м³– начальный объём воздуха в автоклаве, м³.

На состояние имитационной модели влияет массовый расход пара, воды, воздуха и сброс паровоздушной смеси. Для регулирования данных параметров в трубопроводах установлены регулирующие клапана. В пищевой промышленности наиболее часто используются односедельные клапаны (Гуревич, 1968), а в качестве исполнительного устройства пневматические механизмы мембранного типа (МИМ), которые обеспечивают наибольшее быстродействие, имеют наименьшее время перехода в безопасное состояние, обладают высокой чувствительностью и создают требуемую герметичность (Мокрушин, 2015, с. 45–49.).

Массовый расход среды (пара, воды, воздуха и сброс паровоздушной смеси из аппарата) через регулирующий клапан определяется по формуле (Жежера, 2005):

$$g_{КЛ} = \mu_{КЛ} S_{КЛ} \sqrt{2\rho(P_M - P_{АВТ})}, \quad (5)$$

где:

$\mu_{КЛ}$ коэффициент расхода клапана;

$g_{КЛ}$ массовый расход среды через клапан, кг/с;

ρ плотность среды, кг/м³;

P_M давление в магистрали, Па;

$P_{АВТ}$ давление в автоклаве, Па;

$S_{КЛ}$ $\frac{3{,}14 \cdot \left(d_0^2 - \left(d_0 - \frac{X \cdot d_0}{X_{max}}\right)^2\right)}{4}$ площадь проходного сечения клапана, м²;

d_0 диаметр проходного сечения клапана, м;

X_{max} максимальный ход регулирующего органа, %;

X заданный ход регулирующего органа, %.

Выражение 5 заложено в основу имитационной модели клапана по каждому каналу.

Имитационная модель процесса стерилизации консервов приведена на Рисунке 1.

$\Theta_{ОС}$ - температура окружающей среды, °С; $\Theta_{В0}$ - начальная температура воды, °С; $\Theta_{Б0}$ - начальная температура банок, °С; $\Theta_{ХВ}$ -температура холодной воды, °С; $\Theta_{К0}$ - начальная температура корпуса автоклава, °С; $F_К$ - площадь поверхности корпуса автоклава, м²; $F_Б$ - площадь внешних поверхностей всех банок, м²; $m_Б$ - масса банок, кг; $m_В$ - масса воды в аппарате, кг; $m_К$ - масса корпуса аппарата, кг; $c_Б$ - удельная теплоёмкость банок с продуктом, Дж/(кг °С); $c_В$ - удельная теплоёмкость воды, Дж/(кг °С); $c_К$ - удельная теплоёмкость стали корпуса аппарата, Дж/(кг °С); r - удельная теплота парообразования, Дж/кг; $\alpha_{ВС}$ - коэффициент теплоотдачи вода-сталь, Дж/(м²с °С); $\alpha_{ВБ}$ - коэффициент теплоотдачи вода-банка, Дж/(м²с °С); $\alpha_{СВ}$ - коэффициент теплоотдачи сталь-воздух, Дж/(м²с°С); $g_{ХВ}$ – массовый расход

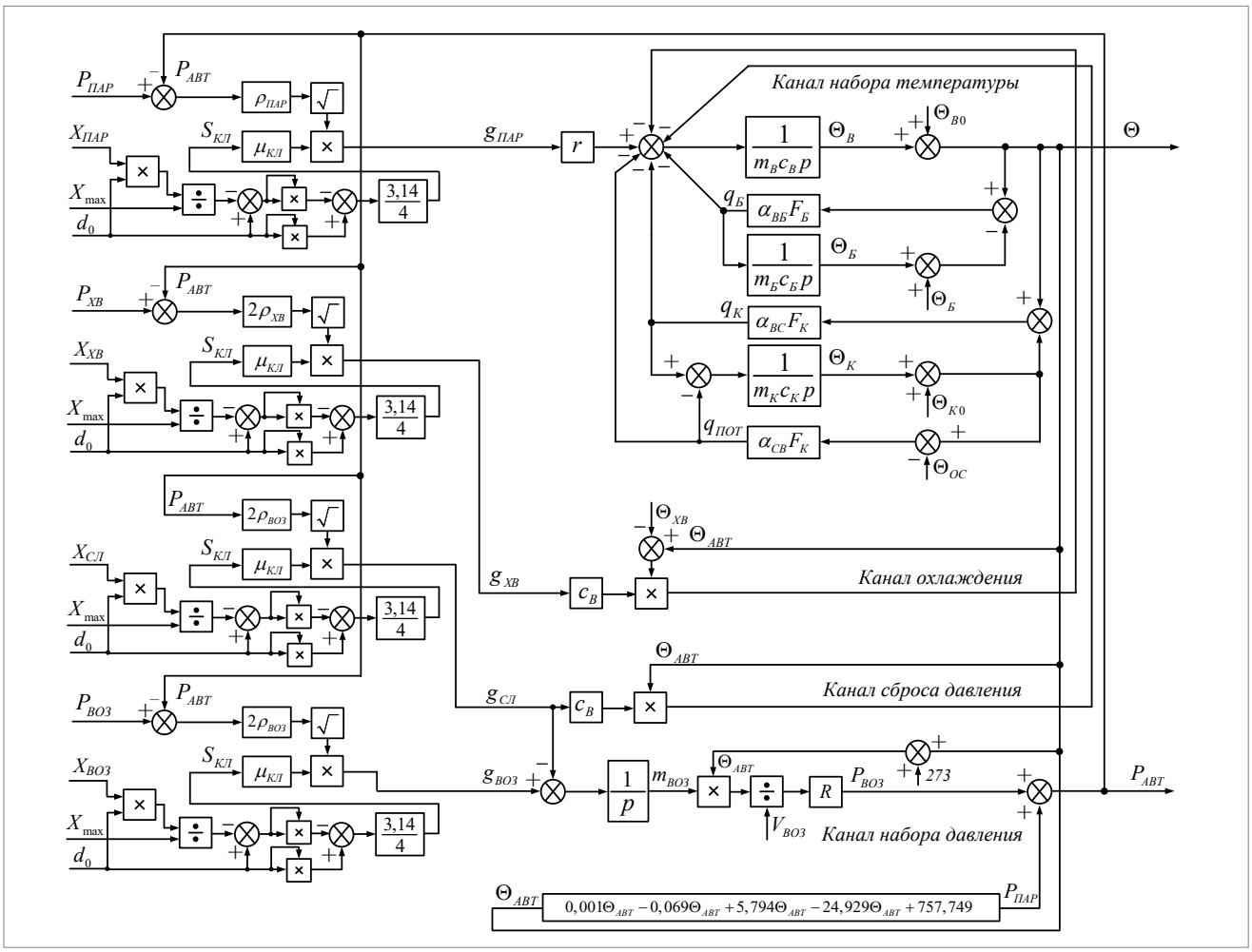

Рисунок 1. Имитационная модель процесса стерилизации консервов в автоклаве.

воздуха через регулирующий клапан, кг/с; $X_{ХВ}$ - сигнал управления клапаном подачи холодной воды, % хода регулирующего органа; $X_{ПАР}$ - сигнал управления клапаном паровой магистрали, % хода регулирующего органа; $X_{СЛ}$ - сигнал управления клапаном слива паровоздушной смеси из аппарата, % хода регулирующего органа; $X_{ВОЗ}$ - сигнал управления клапаном подачи сжатого воздуха, % хода регулирующего органа

Исследование

Для исследований имитационную модель технологического процесса стерилизации консервов (Рисунок 1) удобнее реализовать в системе моделирования Matlab в приложении Simulink. Для учёта динамических свойств мембранных исполнительных механизмов (МИМ) с электропневматическим позиционером в имитационную модель добавлен блок МІМ (Рисунок 2).

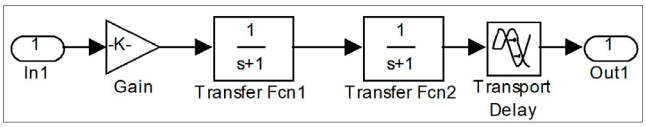

Рисунок 2. Модель мембранного исполнительного механизма в пакете Simulink.

Для обеспечения компактности имитационной модели (Рисунок 1) предлагается организовать её как подсистему Simulink, в виде блока Subsystem (Таблица 1, Рисунок 3). Звено, моделирующее исполнительные устройства, предлагается объединить в виде подсистем: MIM1, MIM2, MIM3 и MIM4. Процент открытия регулирующих клапанов моделируется при помощи блока генератора ступенчатого сигнала – Step1- Step8. Регистрация технологических параметров выводится на блок осциллографа – Scope1 и Scope1.

Таблица 1

Входные и выходные параметры блока Subsystem в имитационной модели

Обозначение порта	Описание порта	Передаваемый параметр	Размерность параметра
In1	Канал набора температуры	Сигнал управления регулирующим клапаном паровой магистрали	%
In2	Канал охлаждения	Сигнал управления регулирующим клапаном магистрали подачи холодной воды	%
In3	Канал сброса давления	Сигнал управления регулирующим клапаном магистрали слива паровоздушной смеси из автоклава	%
In4	Канал подачи давления	Сигнал управления регулирующим клапаном магистрали подачи сжатого воздуха	%
Out1	Канал измерение температуры	Температура воды в автоклаве	°С
Out2	Канал измерение давления	Давление в автоклаве	кПа

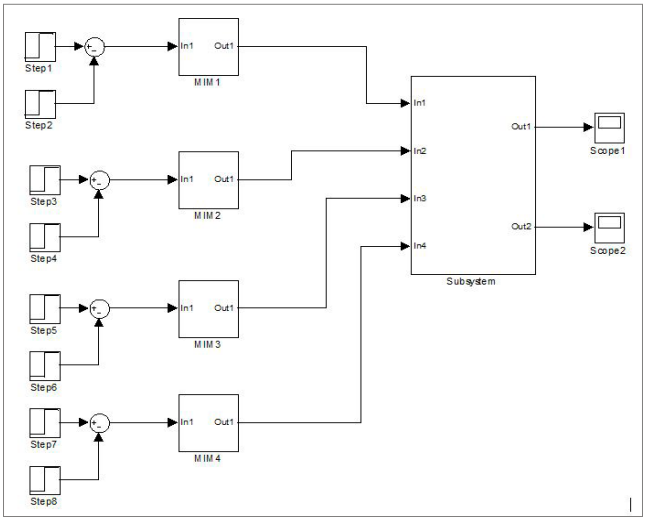

Рисунок 3. Имитационная модель процесса стерилизации консервов, реализованная в пакете Simulink.

Результаты и их обсуждение

Для подтверждения возможного использования имитационной модели в дальнейших исследованиях она проверяется на адекватность (*Лукин*, 1990). При проверке модели на адекватность с помощью различных методов устанавливается соответствие между поведением имитационной модели и реального объекта управления (Охапкин, Мокрушин, Афанасьев, 2014, с. 10-23). На Рисунке 4 представлен график изменения температуры и давления при подаче в автоклав входных воздействий в виде подачи пара и холодной воды.

Первоначальная температура банок с продуктом составляет 70°С. Температура воды в автоклаве на начало эксперимента равна 75°С. Температура окружающей среды и корпуса автоклава равна 25°С. Давление в магистрали холодной воды и магистрали подачи пара поддерживалось на уровне 4 кПа.

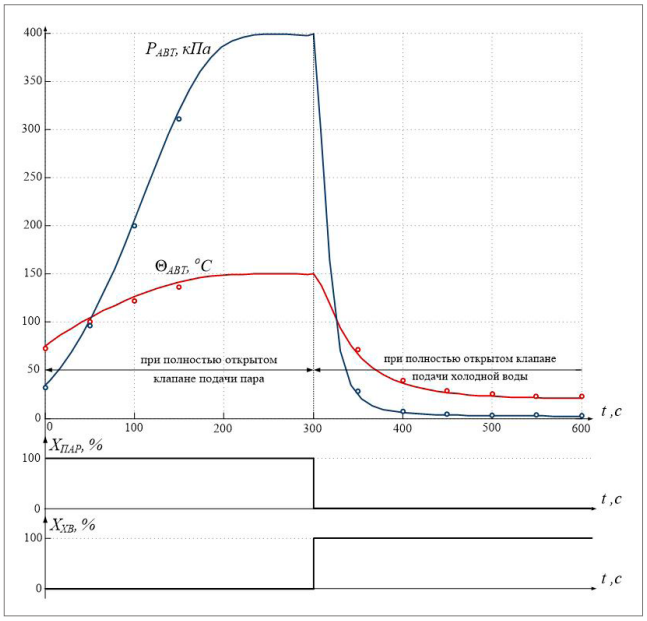

Рисунок 4. Изменение температуры и давления в модели (отражено сплошными линиями) и в реальном объекте управления (отражено в виде выколотых точек) в режиме нагрева и охлаждения автоклава.

Изменение давления в автоклаве при подаче воздуха и снижение давления при работе сливного клапана (с значения 4 кПа) отражено на Рисунке 5. Давление воздуха в магистрали 4 кПа.

Обработка данных по методу экспериментальных исследований (Грачёв, Тубольцев, 1984) показала, что данные, полученные экспериментально и с помощью имитационной модели, различаются не более чем на 5%, что свидетельствует о пригодности имитационной модели для её использования в дальнейших исследованиях.

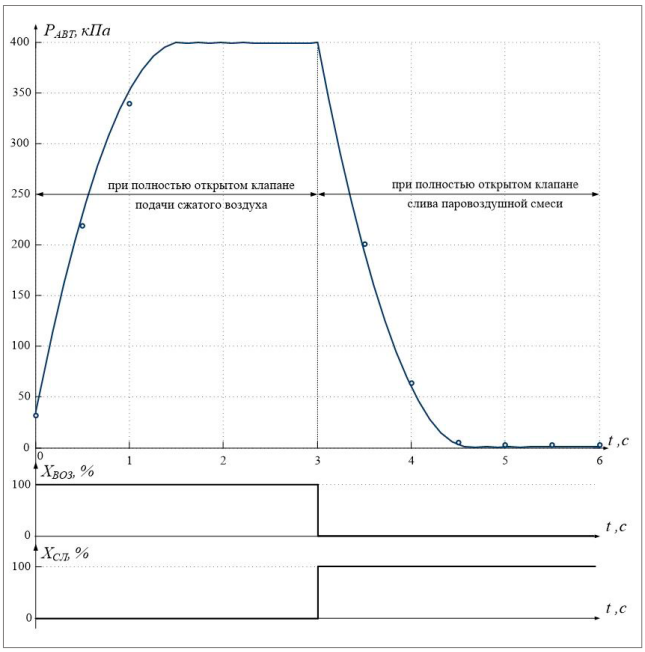

Рисунок 5. Изменение давления в модели (отражено сплошными линиями) и в реальном объекте управления (отражено в виде выколотых точек) при подаче и сбросе сжатого воздуха.

Выводы

В работе приведена имитационная модель, позволяющая достаточно точно описать процесс стерилизации консервов в промышленном автоклаве. С помощью имитационной модели по динамическим характеристикам можно производить оценку динамических свойств объекта управления с целью его дальнейшей автоматизации (Мокрушин, 2019)

В сравнении с имитационными моделями других авторов (Выскубов, 1996; Власов, 2010; Кайченов, 2011), у данной модели наблюдается ряд характерных особенностей:

1. Модель пригодна к использованию уже на стадии проектирования системы при отсутствии возможности снять реальные характеристики объекта автоматизации при помощи экспериментов на промышленном объекте. Для построения модели достаточно

знать технические (паспортные) характеристики объекта и справочную информацию. Однако в дальнейшем, для получения большей сходимости модели, требуется провести ряд дополнительных экспериментов, которые позволят уточнить имитационную модель под конкретное оборудование.

2. Имитационная модель включает в себя технические характеристики объекта управления, учитывает особенности технологического процесса, поэтому может быть использована для выбора оптимальной конструкции аппарата, узлов измерения, управления и регулирования, а также оптимизации режимов его работы.

3. Модель можно тиражировать для исследования других схожих по технологии и конструктивным особенностям процессов и аппаратов.

Литература

Аминов М.С. Аппараты для стерилизации консервов. М.: Пищевая промышленность, 1966. 120 с.

Аминов М.С., Аминова Э.М., Горун Е.Г. Производство консервов. М.: Агропромиздат, 1987. 304 с.

Асмаев М.П., Корнилов Ю.Г. Моделирование процессов пищевых производств. М.: Лёгкая и пищевая промышленность, 1982. 176 с.

Ахмедов М.Э. Разработка и создание новых ресурсосберегающих способов консервирования и эффективных устройств и аппаратов для тепловой стерилизации консервов: автореф. дис. … д-ра техн. наук: 05.18.12. Махачкала, 2011. 49 с.

Бабарин В.П. Тепловая стерилизация плодовоовощных консервов (теория и практика): дис. … д-ра техн. наук в виде научного доклада: 05.18.13 и 05.18.12. Москва, 1994. 64 с.

Бабарин В.П. Стерилизация консервов: справочник. СПб.: ГИОРД, 2006. 312 с.

Белоусов Л.П., Осипов А.М. Технология консервирования и технологический контроль. М.: Экономика, 1965. 432 с.

Власов А.В. Повышение эффективности стерилизации консервов паром в автоклавах: дис. … канд. техн. наук: 05.18.12 и 05.13.06. Мурманск, 2010. 167 с.

Выскубов Е.В. Разработка микропроцессорных систем управления периодическими процессами тепловой обработки пищевых продуктов (на примере САУ стерилизации консервов): дис. … канд. техн. наук: 05.13.07. Краснодар, 1996. 162 с.

Грачёв Ю.П., Тубольцев А.К., Тубольцев В.К. Моделирование и оптимизация тепло- и массообменных процессов пищевых производств. М: Лёгкая и пищевая промышленность, 1984. 216 с.

Гуревич Д.Ф. Конструирование и расчёт трубопроводной арматуры. Ленинград: Машиностроение, 1968. 888 с.

Жежера Н.И. Автоматизация испытаний изделий на герметичность: учебное пособие. Оренбург: ГОУ ОГУ, 2005. 475 с.

Зонин В.Г. Современная технология мясных консервных продуктов. СПб.: Профессия, 2008. 224 с.

Кайченов А.В. Разработка и исследование модернизированного способа стерилизации консервов из гидробионтов: дис. … канд. техн. наук: 05.18.04 и 05.13.06. Мурманск, 2011. 191с.

Лукин О.Г. и др. Курсовое и дипломное проектирование технологического оборудования пищевых производств. М.: Агропромиздат, 1990. 269 с.

Мокрушин С.А. Разработка автоматизированной системы управления технологическим процессом стерилизации консервов в промышленном автоклаве: дис. … канд. техн. наук: 05.13.06. Москва, 2019. 176 с.

Мокрушин С.А. Модель технологического процесса стерилизации консервов в промышленном автоклава // Общество, наука, инновации. (НПК – 2017): всерос. ежегод. науч.-практ. конф.: сб. статей, 1–29 апреля 2017 г. Киров, 2017. С. 1590-1596.

Охапкин С.И., Мокрушин С.А., Афанасьев С.Г. К вопросу о методах идентификации теплоэнергетических объектов управления // Научный журнал «Advanced science». Киров, 2014 г. №1(4). С. 10-23.

Пилипенко Н.И., Пелевина Л.Ф. Процессы и аппараты. М.: Издательский центр «Академия», 2008. 336 с.

Ривкин С.Л., Александров А.А. Термодинамические свойства воды и водяного пара: Справочник. М.: Энергоатомиздат, 1984. 80 с.

Селяков И.Ю. Повышение энергоэффективности процессов конвективного обезвоживания при производстве копчёной и вяленой рыбы: дис. … канд. техн. наук: 05.18.12; 05.13.06. Мурманск, 2015. 209 с.

Флауменбаум Б.Л. Теоретические основы стерилизации консервов: учебное пособие для вузов. Киев: Высшая школа, 1981. 196 с.

Флауменбаум Б.Л., Танчев С.С., Гришин М.А. Основы консервирования пищевых продуктов. М.: Агропромиздат, 1986. 49 с.

Щёкин Б.Е. Разработка и исследование системы автоматического управления для стерилизации консервов: дис. … канд. техн. наук: 05.13.06. Краснодар, 1975. 166 с.

Ястребов С.М., Массовер А.М. Стерилизация консервов. М.: Пищепромиздат, 1961. 67 с.

doi: https://doi.org/10.36107/spfp.2020.157

Simulation of the Technological Process of Sterilization of Canned Food in an Industrial Autoclave

Sergey A. Mokrushin
Moscow State University of Food Production
11 Volokolamskoe highway, Moscow, 125080, Russian Federation
E-mail: mokruschin@list.ru

Ivan G. Blagoveshchenskiy
Moscow State University of Food Production
11 Volokolamskoe highway, Moscow, 125080, Russian Federation
E-mail: igblagov@mgupp.ru

Evgeny A. Nazoykin
Moscow State University of Food Production
11 Volokolamskoe highway, Moscow, 125080, Russian Federation
E-mail: nazojjkinea@mgupp.ru

Margarita M. Blagoveshchenskaya
Moscow State University of Food Production
11 Volokolamskoe highway, Moscow, 125080, Russian Federation
E-mail: mmb@mgupp.ru

The article presents a simulation model of the process of sterilization of canned food in an industrial autoclave during steam sterilization in water with backpressure. The model takes into account the interaction of parameters reflecting the behavior of the system under study. The proposed simulation model adequately reflects the flow of the real technological process. The model of the process of sterilization of canned food allows to take into account the thermal properties of the sterilized products, the influence of technological disturbances in power systems (steam, water and air), as well as the individual characteristics of the autoclave. The preconditions for the development on the basis of the model of effective sterilization plants for small enterprises and large enterprises have been created. It became possible to improve the existing sterilization devices using the developed simulation model of the technological process of sterilization of canned food in an industrial autoclave.

Keywords: control system, quality of production, automation, simulation model, technological process, sterilization of canned food, autoclave

References

Aminov M.S. Apparaty dlya sterilizacii konservov [Canned food sterilizers]. M.: Pishchevaya promyshlennost' [Food industry], 1966. 120 s.

Aminov M.S., Aminova E.M., Gorun E.G. Proizvodstvo konservov [Canned food]. M.: Agropromizdat, 1987. 304 s.

Asmaev M.P., Kornilov YU.G. Modelirovanie processov pishchevyh proizvodstv [Modeling of food production processes]. M.: Lyogkaya i pishchevaya promyshlennost' [Light and food industry], 1982. 176 s.

Ahmedov M.E. Razrabotka i sozdanie novyh resursosberegayushchih sposobov konservirovaniya i effektivnyh ustrojstv i apparatov dlya teplovoj sterilizacii konservov: avtoref. dis. ... d-ra tekhn. Nauk [Development and creation of new resource-saving canning methods and effective devices and apparatus for the thermal sterilization of canned food. Abstract of Ph.D. (Techn.) thesis]. Mahachkala, 2011. 49 c.

Babarin V.P. Teplovaya sterilizaciya plodovoovoshchnyh konservov (teoriya i praktika): dis. ... d-ra tekhn. nauk v vide nauchnogo doklada [Thermal sterilization of canned fruits and vegetables (theory and practice): dis. ... Dr. tech.

sciences in the form of a scientific report]. Moskva, 1994. 64 s.

Babarin V.P. Sterilizaciya konservov: spravochnik [Sterilization of canned food: a reference]. SPb.: GIORD, 2006. 312 s.

Belousov L.P., Osipov A.M. Tekhnologiya konservirovaniya i tekhnologicheskij kontrol' [Canning technology and process control]. M.: Ekonomika, 1965. 432 s.

Vlasov A.V. Povyshenie effektivnosti sterilizacii konservov parom v avtoklavah: dis. ... kand. tekhn. Nauk [Improving the efficiency of sterilization of canned food by steam in autoclaves. Ph.D. (Techn.) thesis]. Murmansk, 2010. 167 s.

Vyskubov E.V. Razrabotka mikroprocessornyh sistem upravleniya periodicheskimi processami teplovoj obrabotki pishchevyh produktov (na primere SAU sterilizacii konservov): dis. ... kand. tekhn. nauk [Development of microprocessor control systems for periodic processes of heat treatment of food products (on the example of self-propelled guns sterilizing canned food). Ph.D. (Techn.) thesis] Krasnodar, 1996. 162 s.

Grachyov YU.P., Tubol'cev A.K., Tubol'cev V.K. Modelirovanie i optimizaciya teplo- i massoobmennyh processov pishchevyh proizvodstv [Modeling and optimization of heat and mass transfer processes in food production]. M: Lyogkaya i pishchevaya promyshlennost' [Light and food industry], 1984. 216 s.

Gurevich D.F. Konstruirovanie i raschyot truboprovodnoj armatury [Design and calculation of pipe fittings]. Leningrad: Mashinostroenie, 1968. 888 s.

ZHezhera N.I. Avtomatizaciya ispytanij izdelij na germetichnost': uchebnoe posobie [Automation of product leak testing: a training manual]. Orenburg: GOU OGU, 2005. 475 s.

Zonin V.G. Sovremennaya tekhnologiya myasnyh konservnyh produktov [Modern technology of canned meat products]. SPb.: Professiya, 2008. 224 s.

Kajchenov A.V. Razrabotka i issledovanie modernizirovannogo sposoba sterilizacii konservov iz gidrobiontov: dis. ... kand. tekhn. Nauk [Development and research of a modernized method of sterilization of canned food from aquatic organisms. Ph.D. (Techn.) thesis]. Murmansk, 2011. 191c.

Lukin O.G. i dr. Kursovoe i diplomnoe proektirovanie tekhnologicheskogo oborudovaniya pishchevyh proizvodstv [Course and diploma design of technological equipment for food production]. M.: Agropromizdat, 1990. 269 s.

Mokrushin S.A. Razrabotka avtomatizirovannoj sistemy upravleniya tekhnologicheskim processom sterilizacii konservov v promyshlennom avtoklave: dis. ... kand. tekhn. nau k [Development of an automated control system for the technological process of sterilization of canned food in an industrial autoclave. Ph.D. (Techn.) thesis]. Moskva, 2019. 176 s.

Mokrushin S.A. Model' tekhnologicheskogo processa sterilizacii konservov v promyshlennom avtoklave [The model of the technological process of sterilization of canned food in an industrial autoclave]. OBSHCHESTVO, NAUKA, INNOVACII . (NPK – 2017): vseros. ezhegod. nauch.-prakt. konf.: sb. statej, 1–29 aprelya 2017 g. Kirov, 2017. S. 1590-1596.

Ohapkin S.I., Mokrushin S.A., Afanas'ev S.G. K voprosu o metodah identifikacii teploenergeticheskih ob"ektov upravleniya [To the question of methods for identifying heat and power control objects]. Nauchnyj zhurnal «Advanced science». Kirov, 2014 g. №1(4). S. 10-23.

Pilipenko N.I., Pelevina L.F. Processy i apparaty [Processes and Devices]. M.: Izdatel'skij centr «Akademiya» [Academy Publishing Center], 2008. 336 s.

Rivkin S.L., Aleksandrov A.A. Termodinamicheskie svojstva vody i vodyanogo para: Spravochnik [Thermodynamic Properties of Water and Steam: A Guide]. M.: Energoatomizdat, 1984. 80 s.

Selyakov I.YU. Povyshenie energoeffektivnosti processov konvektivnogo obezvozhivaniya pri proizvodstve kopchyonoj i vyalenoj ryby: dis. ... kand. tekhn. Nauk [Improving the energy efficiency of convective dehydration processes in the production of smoked and dried fish. Ph.D. (Techn.) thesis]. Murmansk, 2015. 209 s.

Flaumenbaum B.L. Teoreticheskie osnovy sterilizacii konservov: uchebnoe posobie dlya vuzov [Theoretical Foundations of Canned Sterilization: A Textbook for High Schools]. Kiev: Vysshaya shkola, 1981. 196 s.

Flaumenbaum B.L., Tanchev S.S., Grishin M.A. Osnovy konservirovaniya pishchevyh produktov [Food Preservation Basics]. M.: Agropromizdat, 1986. 49 s.

SHCHyokin B.E. Razrabotka i issledovanie sistemy avtomaticheskogo upravleniya dlya sterilizacii konservov: dis. ... kand. tekhn. Nauk [Development and research of an automatic control system for sterilizing canned food. Ph.D. (Techn.) thesis]. Krasnodar, 1975. 166 c.

YAstrebov S.M., Massover A.M. Sterilizaciya konservov [Sterilization of canned food]. M.: Pishchepromizdat, 1961. 67 s.