

УДК 664.8.036.262

## **Исследование процесса стерилизации консервной продукции с применением программно-логического контроллера**

**Камалов Ф. А.** volshebnik\_90@mail.ru

**Пастухов А.С.** artem.pastukhov1984@gmail.com

*канд. техн. наук* **Данин В.Б.** vldimir.danin@gmail.com

*Университет ИТМО*

*Институт холода и биотехнологий*

*921002, Санкт-Петербург, ул. Ломоносова, 9*

*В статье рассмотрена автоматизированная система управления автоклавом, и приборы автоматического контроля и регулирования. Рассмотрены параметры регулирования, проблемы регулирования и их решение.*

*Ключевые слова:* стерилизация консервной продукции, автоклав, регулирование.

---

## **Investigation of the sterilization process of canned products using PLC**

**Kamalov F. A.** volshebnik\_90@mail.ru

**Pastukhov A.S.** artem.pastukhov1984@gmail.com

*Ph.D.,* **Danin V.B.** vldimir.danin@gmail.com

*University ITMO*

*Institute of Refrigeration and Biotechnologies*

*191002, Russia, St. Petersburg, Lomonosov str., 9*

*The article describes the automated control system of the autoclave, and devices of automatic control and regulation. The parameters of regulation, regulatory issues and their solution are discussed.*

*Key words:* sterilization, canned products, autoclave, regulation.

---

Пищевая промышленность является одной из крупнейших отраслей народного хозяйства, входящих в агропромышленный комплекс страны. Развитие консервной промышленности в России идёт за счёт строительства новых заводов и модернизации существующих предприятий при содействии частного сектора экономики.

Одним из самых ответственных технологических процессов в консервном производстве, от которого во многом зависит качество и сохраняемость готовой продукции, является стерилизация. При стерилизации укупоренные банки с продуктом подвергаются действию высокой температуры, в результате чего микроорганизмы, находящиеся в банках, погибают, тем самым обеспечивается сохранность пищевых продуктов. От качества проведения процесса стерилизации, являющегося наиболее важным, сложным и ответственным этапом технологии консервирования, зависит качество готовой продукции. Для стерилизации консервов чаще всего применяют аппараты периодического действия - автоклавы. Однако пособий и книг для изучения и освоения процессов стерилизации в последние годы

почти не издавалось, особенно по вопросам ведения процесса с помощью приборов автоматического контроля и регулирования.

Высокое качество консервной продукции обеспечивается четкой и слаженной работой всех звеньев процесса переработки: начиная с сортировки, мойки, бланшировки, расфасовки и заканчивая упаковкой и стерилизацией. Стерилизация – один из самых ответственных этапов переработки сельскохозяйственных продуктов. Для стерилизации консервов применяют аппараты периодического действия, к которым относятся автоклавы.

Для стерилизации консервов применяют автоклавы и стерилизаторы непрерывного действия. При стерилизации в автоклавах, консервные банки загружаются в перфорированные корзины, которые с помощью тельфера загружаются в автоклав. Применяют: одно-, двух-, трёх-, и четырёх-корзинчатые автоклавы. Продолжительность стерилизации может зависеть от вида продукции, от температуры стерилизации, от объёма банки (температура стерилизации 113-120°C).

Современные промышленные автоклавы представляют собой агрегаты с большой производительностью. Они бывают двух типов – вертикальные и горизонтальные. Наибольшее распространение в консервной промышленности получили вертикальные автоклавы, так как в них можно стерилизовать все виды консервов в жестяной и стеклянной таре[1]. При существовании различных моделей автоклавов принцип их работы един. Он состоит в нагреве до высоких температур под давлением продукта, который, как правило, расфасован в стеклянную или жестяную тару. Повышенное по сравнению с атмосферным давление в автоклаве компенсирует температурное расширение нагреваемого продукта и предотвращает разрушение упаковочной тары[2]. Величина давления рассчитывается по формуле автоклавирования и зависит от температуры стерилизации, вида расфасовки и коэффициента термического расширения продукта и т.д.

Процесс стерилизации можно разделить на несколько этапов. Первый этап – загрузка. В автоклав заливается холодная вода, которая подогревается[3]. При достижении заданной температуры в автоклав опускается продукция, и его крышка герметично закрывается. Второй этап – тепловая обработка. Нагревают до тех пор, пока температура не достигнет определенного значения. Режим обработки поддерживается в течение нескольких десятков минут. Третий этап – охлаждение. Нагрев прекращается, в автоклав подают холодную воду, происходит плавное остывание содержимого и выравнивание давления. После этого процесс пастеризации завершен.

В настоящее время на рынке промышленной автоматизации в качестве программно-управляемых устройств технологическими процессами широкое распространение находят следующие устройства:

- программируемые логические контроллеры (ПЛК);

- промышленные (в частности панельные) компьютеры.

Для процесса стерилизации наиболее подходят первые.

Программируемый контроллер – это программно-управляемый дискретный автомат, имеющий некоторое множество входов, подключенных посредством датчиков к объекту управления, и множество выходов, подключенных к исполнительным устройствам. ПЛК контролирует состояния входов и вырабатывает определенные последовательности программно-заданных действий, отражающихся в изменении выходов [4]. ПЛК нашли своё широкое распространение в пищевой промышленности за счёт того, что имеют повышенную устойчивость к воздействиям внешней среды, малые габариты, модульность и возможность расширения, высокую скорость ремонта (низкое время восстановления), применения флэш-памяти, наличие сторожевого таймера (что защищает систему управления от зависания), наличие большого количества промышленных интерфейсов и т.д.

Контроллеры традиционно работают в нижнем звене автоматизированных систем управления предприятием (АСУ) — систем, непосредственно связанных с технологией производства (рис. 1).

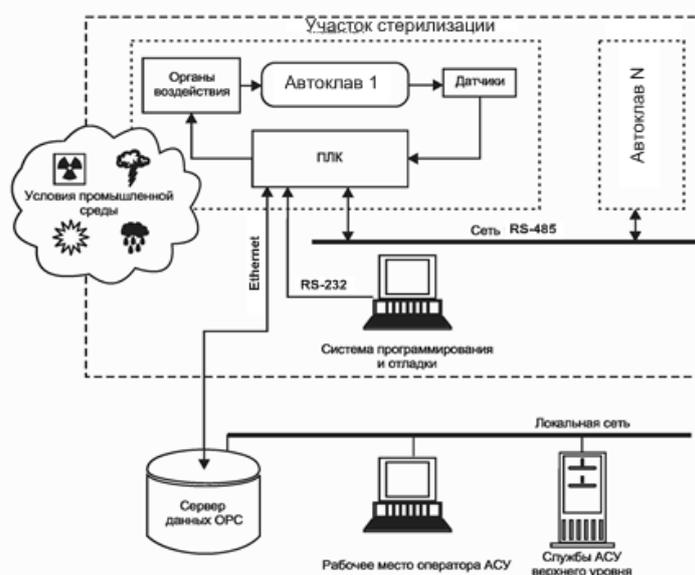


Рис.1. Структурная схема участка стерилизации консервов

Применение ПЛК в качестве управляющего устройства позволяет создать систему управления любой сложности [5], однако при её реализации возникают некоторые трудности. Главная проблема заключается в написании программы для регулирования температуры и давления в автоклаве. Существуют следующие основные критерии, которым должна соответствовать система регулирования:

- точность ведения процесса: по температуре  $\pm 0,01\Theta_{ст}$ , по времени  $\pm 1$  мин ( $\Theta_{ст}$  – температура стерилизации консервов, °С);
- поддержание противодействия изменению давления в банке с точностью  $\pm 0,01P_{ст}$  ( $P_{ст}$  – давление при стерилизации консервов, Па).

Добиться такой точности можно только с применением современных технических средств регулирования. Практически все производители контроллеров и комплексов программирования предоставляют разработчику библиотеку регуляторов, в которую традиционно входит ПИД-регулятор. Пропорционально-интегрально-дифференциальный (ПИД) регулятор – наиболее эффективный и распространенный вид регулятора, обеспечивающий достаточно высокую точность при управлении различными процессами.

На российском рынке средств автоматизации особой популярностью пользуются недорогие, но очень функциональные и надёжные ПЛК производства компании ОВЕН[6]. Данные ПЛК программируются в соответствии со стандартом МЭК 61131, в среде программирования CoDeSys [7].

Реализация системы регулирования температурой на основании ПИД-регулятора в среде программирования CoDeSys приведена на рис. 2. В качестве языка программирования выбран язык FBD.

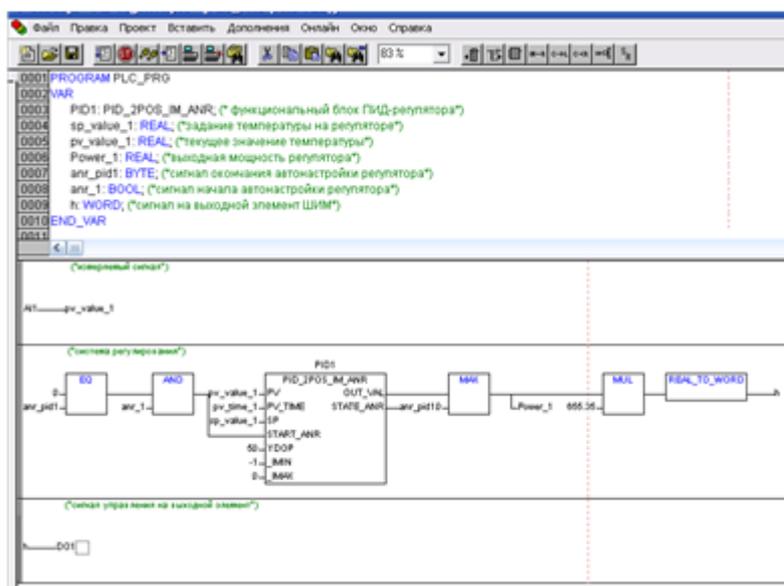


Рис. 2. Реализация системы регулирования температурой в среде программирования CoDeSys

Для проверки работоспособности функционального блока ПИД-регулятора был проведён эксперимент на нагревательном элементе, который показал, что система регулирования температуры работоспособна (рис. 3).

Однако стоит сказать, что хотя процесс регулирования не имеет статической ошибки (отклонения от заданной температуры в установившемся режиме), что крайне важно для процесса стерилизации консервов, в процессе выхода температуры на заданную уставку присутствует динамическое отклонение (перерегулирование). Так же при переходе на более низкую температуру работы происходит появление незатухающих автоколебаний. Всё это может негативно сказаться на процессе стерилизации, где требования к отклонению температуры довольно жёсткие.

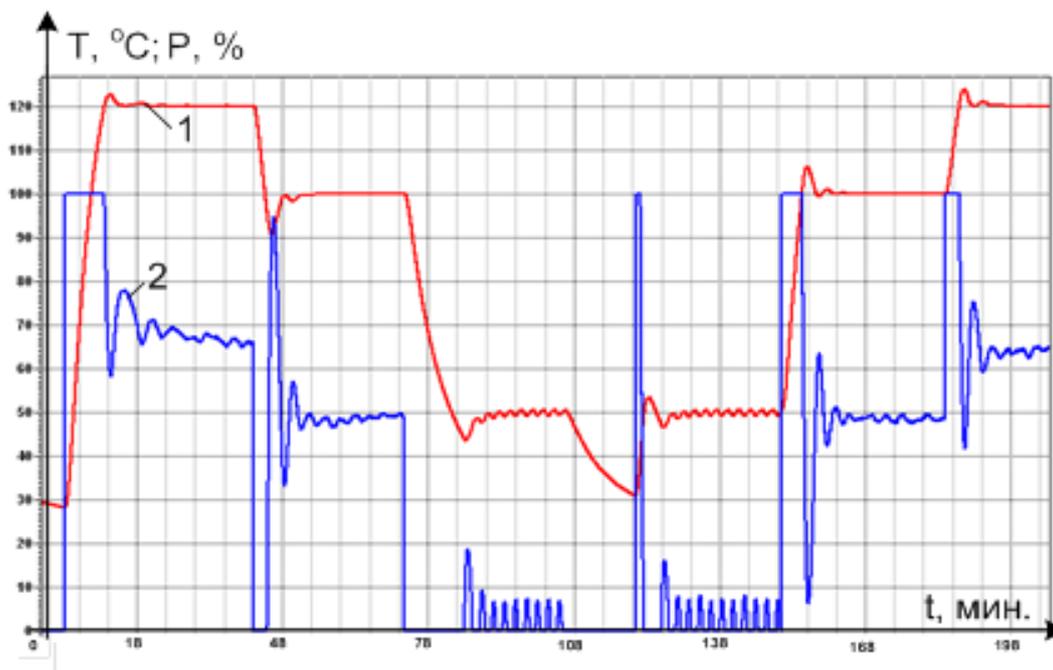


Рис. 3. Графики работы ПИД-регулятора .  
1 – Регулируемая температура,  $^\circ\text{C}$ ; 2 – Мощность на выходе регулятора, %

Можно отметить то, что работать автоклаву во время стерилизации приходится на различных температурах. Это обусловлено тем, что процесс стерилизации имеет стадийный характер (стадию нагрева, стерилизации и охлаждения). Поэтому система регулирования должна одинаково хорошо работать на любых уставках температуры.

Применение в системе управления автоклавом блоков ПИД-регулирования возможно, однако необходимо производить дополнительную коррекцию настроек регулятора в зависимости от стадии процесса для снижения перерегулирования. Для этого при составлении математической модели процесса необходимо учесть технологические параметры на различных его стадиях[8].

Повысить качество регулирования поможет применение в системе управления стерилизацией совместно с классическими законами управления (ПИД-регулятором) современных методов управления, таких как адаптивное.

Подтверждением вышеизложенному служит график регулирования давления и температуры полученный путём экспериментальных исследований в лаборатории (рис.4.). Система устойчиво работает и даже при подаче возмущающего воздействия, в виде холодной воды, система вернулась в установившееся состояние, что подтверждает наличие в ней требуемого астатизма.

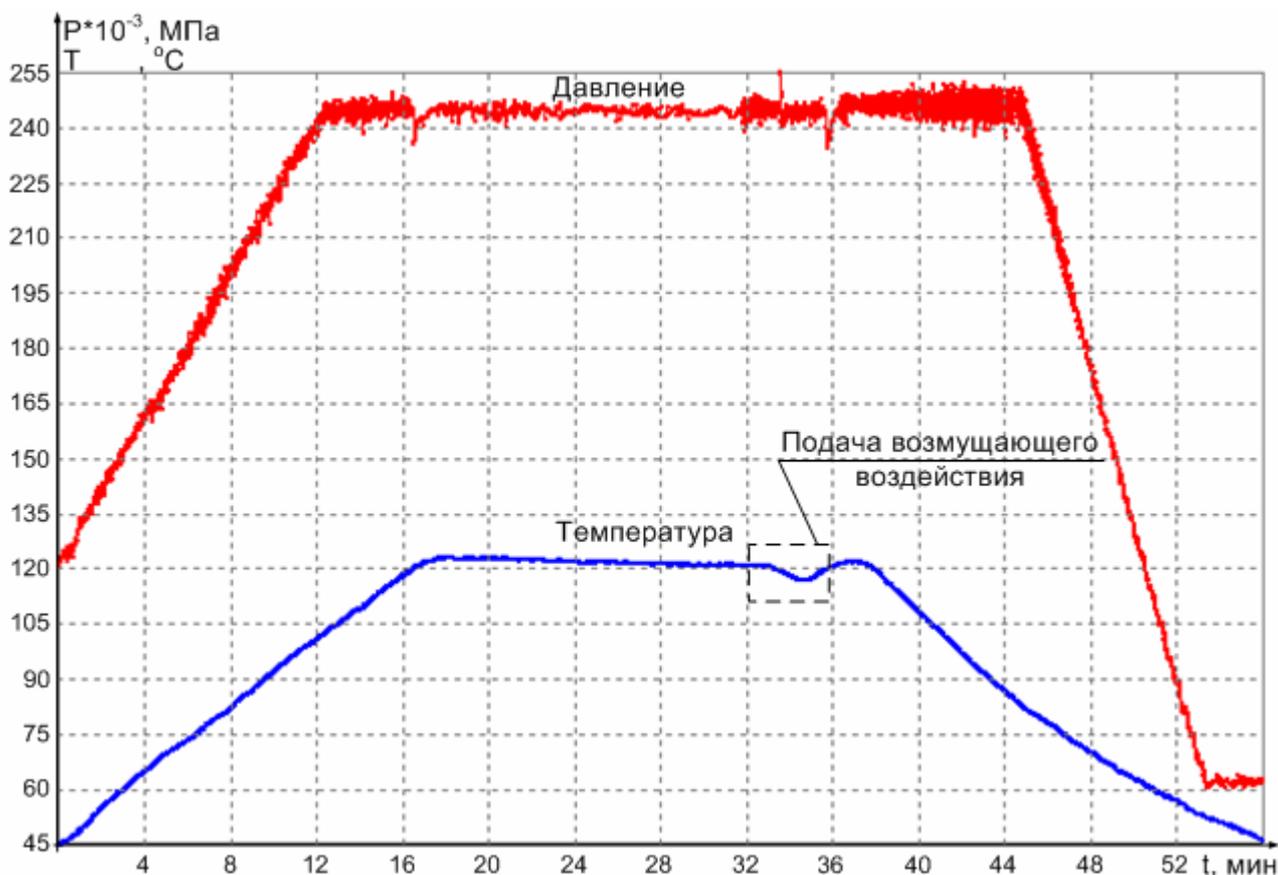


Рис.4. Графики регулирования давления и температуры в автоклаве

Задачей АСУ является управление двумя основными параметрами процесса автоклавирования: температурой и давлением. На рис. 5 представлена система автоматизированного контроля и управления процессом водяной стерилизации консервов. Она включает в себя автоматизированное рабочее место (АРМ) оператора и обслуживает все стадии стерилизации консервов: заполнение автоклава водой, ее подогрев, загрузку продукта, подъем температуры и давления, собственно стерилизация и охлаждение консервов.

В качестве главного управляющего устройства в системе используется программируемый логический контроллер – ОВЕН ПЛК150, который позволяет организовать систему управления любой степени сложности[9]. Измерение рабочего давления внутри автоклава осуществляется датчиками с выходным унифицированным сигналом (4...20 мА). Информация с них поступает на входы контроллера. Параметры регулирования – температура и давление – взаимосвязаны между собой, поэтому в системе предусмотрено два связанных канала управления. В качестве модуля управления выходными устройствами используется модуль вывода ОВЕН МВУ8, который связан с контроллером по интерфейсу RS-485.

Для исключения аварийной ситуации в режиме охлаждения продуктов при сливе горячей воды и заполнении автоклава холодной водой в магистрали холодного водоснабжения установлен датчик давления, который контролирует необходимый напор

воды. Если напор упадет ниже допустимого, то система выдаст сигнал на АРМ. Оператор должен закрыть кран, соединяющий автоклав с магистралью холодного водоснабжения, и подключить вход автоклава к запасному резервуару, после этого цикл работы автоклава продолжится по той же программе.

Передача данных и управление на верхнем уровне осуществляется по интерфейсу Ethernet. В качестве SCADA-системы для визуализации, архивирования и управления процессом используется среда программирования CoDeSys. По выбору заказчика может использоваться любая SCADA-система.

В качестве исполнительного механизма установлен мембранный односедельный пневматический клапан (МИМ). Выбор данного устройства обусловлен быстротой его срабатывания и высокой чувствительностью к управляющему сигналу. Электрические исполнительные механизмы с электроприводом в этом отношении значительно проигрывают. Так как исполнительные механизмы являются пневматическими, то для преобразования стандартного электрического сигнала (4...20 мА) в пневматический (0,02...0,1 МПа) в схеме используются электропневматические преобразователи (ЭПП).

Система автоматического управления автоклавом обеспечивает:

- централизованный сбор данных о ходе процесса и состоянии автоклавов на ПК;
- отображение необходимых данных (номер варки, ФИО оператора, давление и температуру в автоклаве) и текущей информации в текстовом и графическом виде (зависимости давления и температуры от времени) на дисплее компьютера;
- расчет и описание функций управления для реализации автоматического регулирования процессом стерилизации;
- автоматическое управление клапанами для точной реализации установленной формулы стерилизации;
- выбор из списка или ввод с панели оператора формулы стерилизации, по которой будет производиться варка, для каждого автоклава;
- формирование архива данных каждой варки консервов с возможностью просмотра и распечатки на принтере;
- наблюдение за ходом технологического процесса с компьютера оператора;
- увеличение ресурса автоклавной установки путем точного соблюдения технологического режима работы;
- надлежащее качество продукции благодаря точному поддержанию режима технологического процесса обрабатываемых изделий;
- безопасность работы установки за счет наличия автоматических защит и блокировок;
- экономию энергоресурсов благодаря оптимизации технологического режима и точного соблюдения алгоритмов работы [10];
- снижение трудоёмкости обслуживания.

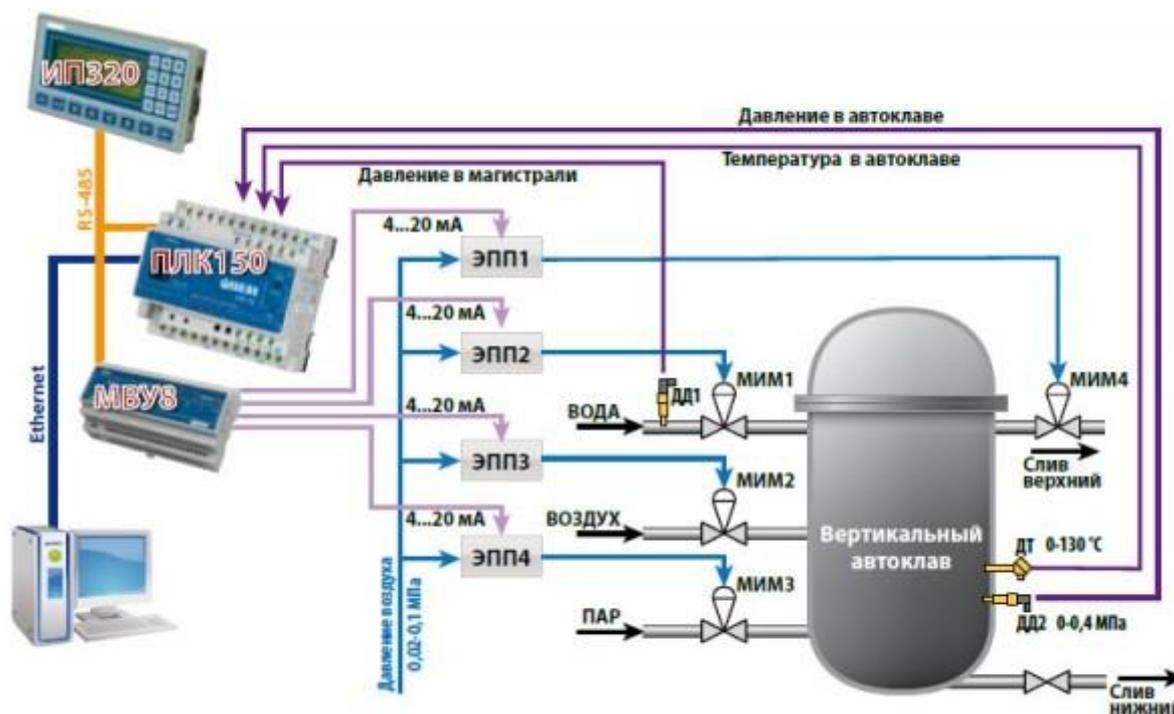


Рис.5. Система автоматизированного контроля и управления процессом водяной стерилизации консервов.

### Список литературы:

1. Верболоз Е.И. Гидродинамические характеристики перемещения тары при стерилизации консервов // Известия высших учебных заведений. Пищевая технология. 2005. № 2-3. С. 89-90.
2. Верболоз Е.И. Совершенствование тепломассообменных процессов в аппаратах для стерилизации консервов // Вестник Международной академии холода. 2005. № 1. С. 42-43.
3. Патент на изобретение RUS 2023989. Времяимпульсный уровнемер [Текст] / Скрипник Ю.А., Балюбаш В.А., Замарашкина В.Н.
4. Мокрушин С.А. Система управления процессом стерилизации на основе ПЛК // Естественные и технические. – М.: Издательство «Спутник+», 2010 г. - №4 (48). - с.309-314.
5. Данин В.В., Гуреев А.П., Пастухов А.С. Инновационные методы автоматизации управления процессами в климатических камерах // VI Международная научно-техническая конференция «Низкотемпературные и пищевые технологии в XXI веке» (Санкт-Петербург, 13–15 ноября 2013 г.): Материалы конференции. – СПб.: НИУ ИТМО; ИХиБТ, 2013. – 818 с.
6. Петров И.В. Программируемые контроллеры. Стандартные языки и инструменты // Под ред. проф. В. П. Дьяконова. — М.: СОЛОН-Пресс, 2003. — 256 с: ил.

7. Руководство пользователя по программированию ПЛК в CoDeSys V2.3. – Смоленск: ПК "Пролог", 2004. – 423 с.
8. Pastukhov A., Danin V. Model development for fresh baked bread natural and forced cooling. В сборнике: 6th Baltic Conference on Food Science and Technology: Innovations for Food Science and Production, FOODBALT-2011 -Conference Proceedings 2011. С. 209-214.
9. Данин В.Б., Пастухов А.С. Разработка вычислительной системы параметров процесса охлаждения хлебобулочных изделий на основе математического моделирования // Процессы и аппараты пищевых производств. 2012. № 1.
10. Pastukhov A. Calculation of the energy efficiency improving for the bakery products cooling process [Текст] / А. Pastukhov // Economics for Ecology ISCS'2013 : матеріали ХІХ Міжнародної наукової конференції, м. Суми, 30 квітня-3 травня 2013 р. / Ред.кол.: Д.О. Смоленніков, М.С. Шкурат. — Суми : СумДУ, 2013. — Р. 125-126.