

На правах рукописи

**Долгий Николай Алексеевич**

**Автоматизированная система контроля герметичности консервов в  
поточном производстве**

Специальность 05.13.06 –  
«Автоматизация и управление технологическими процессами и  
производствами (в пищевой промышленности) (технические науки)»

Автореферат  
диссертации на соискание ученой степени  
кандидата технических наук

Калининград – 2019

Работа выполнена в Федеральном государственном бюджетном образовательном учреждении высшего образования «Калининградский государственный технический университет» (ФГБОУ ВО «КГТУ»)

Научный руководитель: **Сердобинцев Станислав Павлович**  
доктор технических наук, профессор, ФГБОУ ВО «Калининградский государственный технический университет», профессор кафедры автоматизации производственных процессов

Официальные оппоненты: Первый оппонент  
**Драчев Олег Иванович**  
доктор технических наук, профессор, ФГБОУ ВО «Тольяттинский государственный университет», профессор кафедры оборудования и технологии машиностроительного производства

Второй оппонент  
**Макаров Алексей Михайлович**  
кандидат технических наук, доцент, ФГБОУ ВО «Волгоградский государственный технический университет», заведующий кафедрой автоматизации производственных процессов

**Ведущая организация:**

Федеральное государственное бюджетное научное учреждение «Федеральный научный центр агроэкологии, комплексных мелиораций и защитного лесоразведения Российской академии наук» (ФНЦ агроэкологии РАН)

Защита состоится 27 июня 2019 г. в 12:00 на заседании совета по защите диссертаций на соискание ученой степени кандидата, на соискание ученой степени доктора наук Д.212.148.02 при ФГБОУ ВО «Московский государственный университет пищевых производств» по адресу 109316, г. Москва, ул. Талалихина, дом 33, конференц-зал.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке ФГБОУ ВО «Московский государственный университет пищевых производств» по адресу: 125080, г. Москва, Волоколамское шоссе, д. 11 и на сайте ФГБОУ ВО «МГУПП» <http://mgupp.ru>.

Отзывы на автореферат и диссертацию просим отправлять по адресу: 125080, г. Москва, Волоколамское шоссе, д. 11. ФГБОУ ВО «МГУПП»

Автореферат разослан « \_\_\_ » \_\_\_\_\_ 20 \_\_ года.

Ученый секретарь Диссертационного совета Д.212.148.02

Доктор технических наук, профессор Жиров Михаил Вениаминович

## Общая характеристика работы

### Актуальность темы

Важнейшей задачей пищевой промышленности является обеспечение населения безопасными пищевыми продуктами. Необходимость решения этой проблемы определена и в программе «Стратегии повышения качества пищевой продукции в Российской Федерации до 2030 года», утвержденной Правительством РФ.

Консервы из рыбы и других морепродуктов пользуются неизменным и значительным спросом у населения нашей страны. Эта продукция отличается высокими вкусовыми качествами, питательностью, усвояемостью, обеспечивая организм ценным набором веществ, необходимых для его нормальной жизнедеятельности.

Герметичность – обязательный показатель качества консервов, который может определяться с использованием разрушающих и неразрушающих методов контроля. К неразрушающим методам дистанционного контроля герметичности консервов относят визуальный осмотр, а также метод, основанный на использовании рентгенодефектоскопии. Разрушающий контроль заключается в механическом вскрытии закаточного шва и позволяет уточнить показатели качества закаточного шва. Герметизация консервов в условиях поточного производства достигается изменением параметров настройки закаточной машины.

Предложен способ контроля герметичности консервов, основанный на измерении неоднородности цвета контролируемой поверхности банки. Цветовая неоднородность измеряется с использованием средств технического зрения. Однако этот способ не позволяет контролировать внутренние параметры закаточного шва.

Измерить весь спектр показателей закаточного шва можно используя рентгенодефектоскопию и механическое вскрытие шва.

Предложенный способ обоснован компьютерным моделированием, а также результатами промышленных исследований рыбоконсервных производств.

С использованием предложенного способа контроля герметичности разработана система контроля, состоящая из подсистем технического зрения, разрушающего контроля, позиционирования, отбраковки и сигнализации (см. рисунок 8).

Подсистема позиционирования обеспечивает установку банок в контрольные позиции, в которых видеокамеры просматривают весь закаточный шов консервной банки, при этом негерметичные банки отбраковываются.

На качество стерилизованных консервов влияют сырьевые и технологические факторы. К сырьевым факторам относят условия заготовки и хранения сырья; к технологическим – способы и регламенты предварительной обработки сырья, а также стерилизацию и хранение консервов.

Показатели качества закаточного шва консервов являются случайными величинами. Исследования были направлены на выявление причин отклонения показателей качества продукции от нормативных и среднестатистических значений. Отмечено влияние процессов дозирования, предварительной тепловой обработки, укуповоривания и стерилизации на герметичность консервов.

Обзор результатов исследований и функционирования консервных комбинатов с точки зрения гарантированного выполнения герметичности как важнейшего показателя качества подтверждает целесообразность дальнейшего

совершенствования моделей, алгоритмов и устройств автоматизированных систем контроля герметичности и управления процессом укупоривания консервов в условиях поточного производства.

По результатам обследований рыбоконсервных комбинатов выявлено, что процент негерметичных изделий не превышает десятых долей процента от объема выпуска.

Большой вклад в разработку теоретических и практических основ обеспечения выпуска безопасной консервной продукции внесли Howard A, Б.Л. Флауменбаум, С.А. Артюхова, В.П. Бабарин, Л.Т. Серпунина, В.П. Ангелюк, и другие ученые. Основное внимание в работах этих авторов уделено совершенствованию технологии стерилизации, применению новых видов консервной тары, исследованию влияния качества исходного сырья и других факторов на безопасность и сохранность консервов.

Дальнейшее улучшение методов и средств герметизации консервов предполагает решение следующих *задач*:

1. Создание технической структуры системы контроля герметичности консервной тары.
2. Совершенствование алгоритма настройки закаточной машины.
3. Оценка эффективности контроля герметичности консервов средствами технического зрения, рентгенодефектоскопии и механического вскрытия шва.

Решение этих задач способствует повышению герметичности и безопасности консервной продукции в условиях автоматизированного поточного производства.

В качестве основных методов исследований процессов герметизации и контроля герметичности использовались: теория управления, системный анализ и рентгенографический контроль качества продукции. **Объектом исследования** являлись процессы контроля герметичности и управления укупориванием консервов различной вместимости в условиях переменной производительности поточного производства.

**Предметом исследования** являлись модели, алгоритмы и устройства систем контроля и управления герметизацией консервов.

**Цель работы** – обеспечение герметичности и надежности консервной тары различной вместимости в условиях переменной производительности поточного производства. Указанные проблемы решаются совершенствованием алгоритмов и технической структуры системы контроля герметичности и управления закаточной машиной.

Критерием выбора аппаратных и программных средств систем управления герметичностью является доступность и надежность технических средств для создания систем контроля герметичностью банок и управления закаточной машины.

Предложены модели и алгоритмы контроля герметичности консервов с использованием средств технического зрения, рентгенодефектоскопии и механического вскрытия закаточного шва, а также система управления процессом укупоривания консервов различной вместимости и переменной производительности поточного производства, внедрение которых вносит значительный вклад в ускорение научно-технического прогресса в области ресурсосберегающих технологий производства и обеспечения безопасности консервов.

**Научной новизной** обладают:

1. Модель и алгоритм функционирования системы контроля герметичности консервов по измерению неоднородности цвета контролируемой поверхности банки.
2. Система контроля герметичности консервов средствами технического зрения и разрушающего контроля.
3. Модель системы позиционирования для установки консервов в положение, обеспечивающее контроль всего закаточного шва консервной банки, обнаружения негерметичных банок и удаления их в накопитель.
4. Алгоритм настройки закаточной машины с использованием средств технического зрения и механического вскрытия закаточного шва.

#### **Методы исследований**

Процессы разгерметизации исследовались методами физического и математического моделирования.

При физическом моделировании исследовалось влияние геометрии неплотностей на скорость утечки субстанции продукта консервации из банки. С этой целью в корпусе банки делались проколы иглами различных диаметров и определялась масса вытекающей субстанции за определенное время при фиксированной температуре. Полученные результаты удовлетворительно описываются математическими зависимостями, представленными в работе В.Г. Айнштейна.

Для сокращения сроков разработки систем контроля герметичности и управления герметизацией создан имитатор технического зрения, который использовался для выбора технической структуры и параметров основных элементов системы.

Имитатор состоит из персонального компьютера и двух веб-камер, обеспечивающих слежение за закаточным швом. Результаты исследований показали, что камеры системы контроля должны совершать колебания угла поворота в плоскости параллельной движению ленты конвейера. При разработке программы функционирования имитатора проводились эксперименты, подтвердившие работоспособность имитатора с выбранным алгоритмическим обеспечением. В работе был проведен эксперимент, в котором исследовались выборки герметичных и негерметичных банок с различными видами дефектов.

Диссертация соответствует паспорту специальности 05.13.06 – Автоматизация и управление технологическими процессами и производствами (в пищевой промышленности) (пункты 2,7,11,12,16).

**Положения, выносимые на защиту.** На защиту выносятся следующие основные положения:

1. Концепция системы контроля герметичности рыбных консервов.
2. Способы и алгоритмы управления процессом герметизации консервной тары.
3. Управление позиционированием консервов при контроле герметичности.

#### **Апробация работы**

Основные результаты диссертационной работы на различных этапах ее выполнения докладывались и обсуждались на заседаниях кафедры автоматизации производственных процессов, ученого совета факультета автоматизации производства и управления ФГБОУ ВО «Калининградский государственный технический университет» и следующих научных конференциях:

- VI Юбилейная международная научная конференция «Инновации в науке и образовании-2008», Калининград, 2008 г.;
- VII Международная научная конференция «Инновации в науке и образовании-2009», Калининград, 2009 г.;
- 29 межвузовская научно-практическая конференция профессорско-преподавательского состава «Проблемы и перспективы совершенствования охраны государственной границы и объектов» Калининград 2011;
- III Международный Балтийский Морской Форум Калининград 2015;
- IV Международный Балтийский Морской Форум Калининград 2016;
- научная конференция с международным участием «Развитие пищевой и перерабатывающей промышленности России: кадры и наука», Москва 2017г.

Полученные в работе результаты поддержаны руководством рыбоконсервных комбинатов ООО «За Родину» и ООО «Роскон». Актуальность проблемы, решению которой посвящена диссертационная работа, подтверждается и получением гранта на выполнение научно-исследовательской и опытно-конструкторской работы в рамках государственного задания в 2016 году «Разработка микропроцессорного комплекса с системой технического зрения для целей диагностирования герметичности и качества продукции, произведённой предприятиями рыбной промышленности».

#### **Практическая значимость**

Разработаны способ и устройство контроля герметичности консервов в металлической таре средствами технического зрения (Пат. РФ 2396529), а также линия для производства рыбных консервов (Пат. на полезную модель РФ 127589) с устройством загрузки консервных банок различной вместимости на транспортер и их позиционирования в условиях переменной производительности поточного производства (Пат. на полезную модель РФ 105263 и 153576). Получено Свидетельство об официальной регистрации программы для ЭВМ 2016662244 Рос. Федерация «Программа анализа изображений дефектов консервных банок с целью контроля их герметичности».

#### **Публикации.**

По материалам диссертации опубликовано 12 печатных работ. Из них 3 в журналах, входящих в перечень ВАК, 6 докладов в сборниках международных научно-практических конференций. Получены патент РФ № 2396529 и три патента на полезные модели №127589, №105263 и №153576.

#### **ОСНОВНОЕ СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ**

Во **введении** обоснована актуальность темы диссертационной работы, определены цели и задачи исследования, показаны научная новизна исследования и практическая значимость полученных результатов.

В **первой** главе приведена структура линии производства рыбных консервов. Консервное производство рыбных продуктов организовано по принципу поточной линии. Изложены подходы по совершенствованию отдельных подсистем линии, включая загрузку продукта, передачу полуфабриката от одной подсистемы к следующей и контроль качества выполнения отдельных операций, а также средства механизации и автоматизации отдельных подсистем и линии в целом. При этом особое внимание уделяют вопросам безопасности консервов, в частности герметичности консервной тары, точности дозирования компонентов консервов, поддержания основных технологических параметров в заданном регламенте. Важной проблемой, решение которой не реализовано к настоящему времени,

является контроль герметичности консервов и отбраковка дефектных банок в процессе функционирования поточной линии, что и является целью диссертационной работы.

Технологические операции и измеряемые параметры консервной линии приведены на рисунке 1.

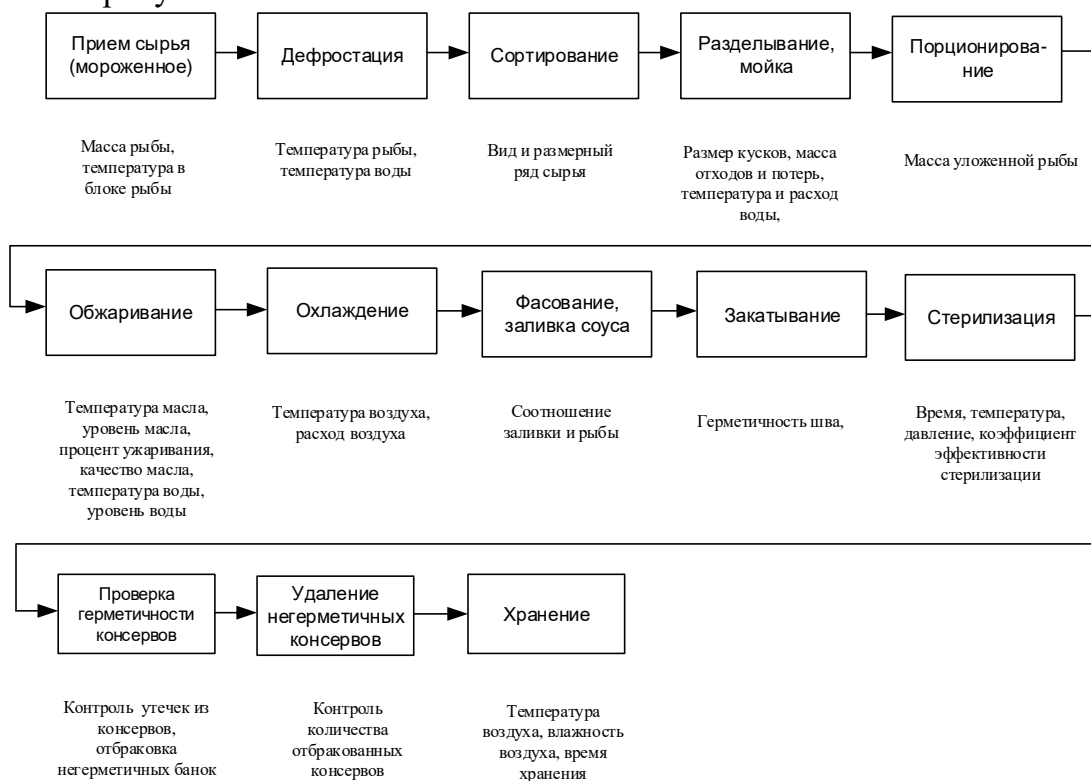


Рисунок 1. Технологическая схема и измеряемые параметры при производстве консервов из обжаренной рыбы в томатном соусе

Линия для производства рыбных консервов (рисунок 2) состоит из:

- дефростер 1;
- стол для разделки рыбы 2;
- устройство для мойки 3;
- порционирующий и фасовочный агрегат 4;
- бланширователь 5;
- маслodoзатор 6;
- дозатор вкусоароматических пищевых добавок 7;
- закаточная машина 8;
- автоклав 9;
- блок управления линией 12;
- лента конвейера 13.

Введение в линию системы технического зрения (10) и вакуумного насоса (11) позволяет повысить чувствительность систем контроля герметичности (Пат. на полезную модель РФ 127589).

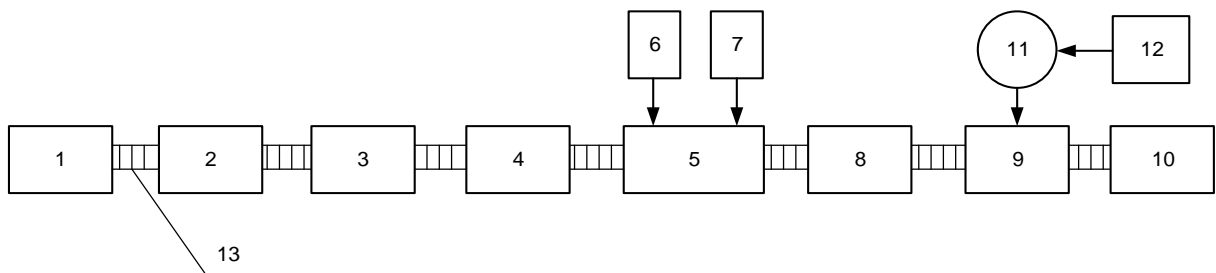


Рисунок 2. Линия для производства рыбных консервов

При создании схемы автоматизации использовалась операторная модель, элементами которой являются технологические операции. Технологическая схема рыбоконсервной линии в операторной форме показана на рисунке 3.

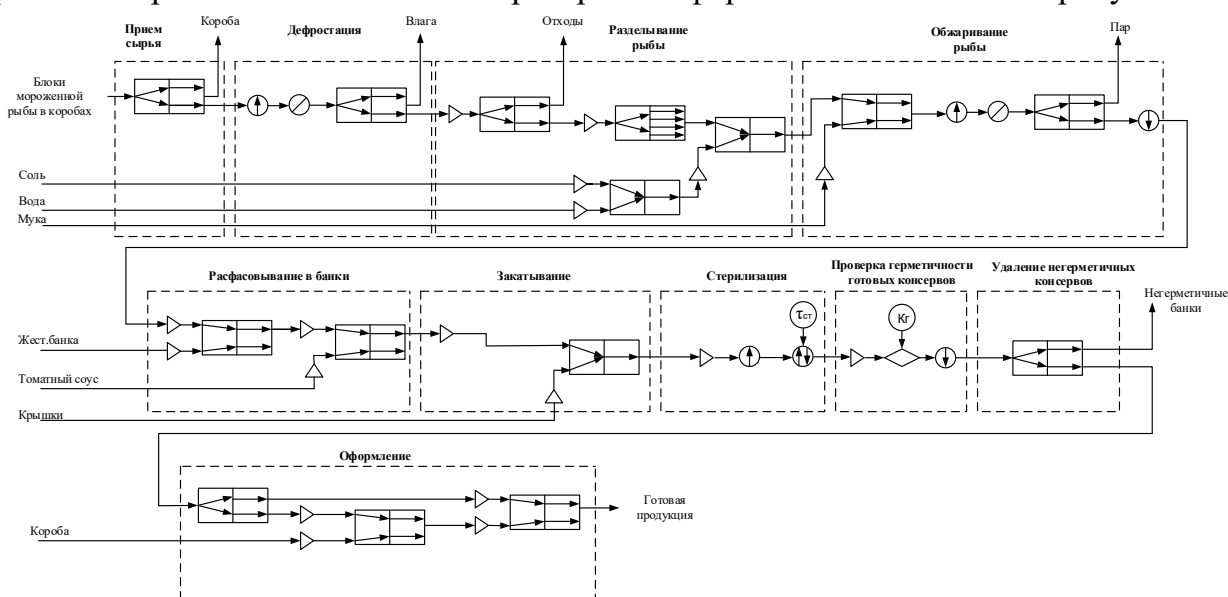


Рисунок 3. Технологическая схема рыбоконсервной линии в операторной форме

Особенностью приведенной операторной модели является включение на завершающем этапе технологического процесса производства консервов автоматизированной контрольной операции проверки герметичности и отбраковки дефектных банок. Внедрение непрерывного автоматизированного контроля герметичности повышает безопасность консервов и производительность консервной линии.

Повышение чувствительности средств контроля герметичности может быть достигнуто использованием вакуумных технологий и повышением температуры продукта. Последнее обусловлено, тем, что вязкость масел с ростом температуры существенно уменьшается (рисунок 4).



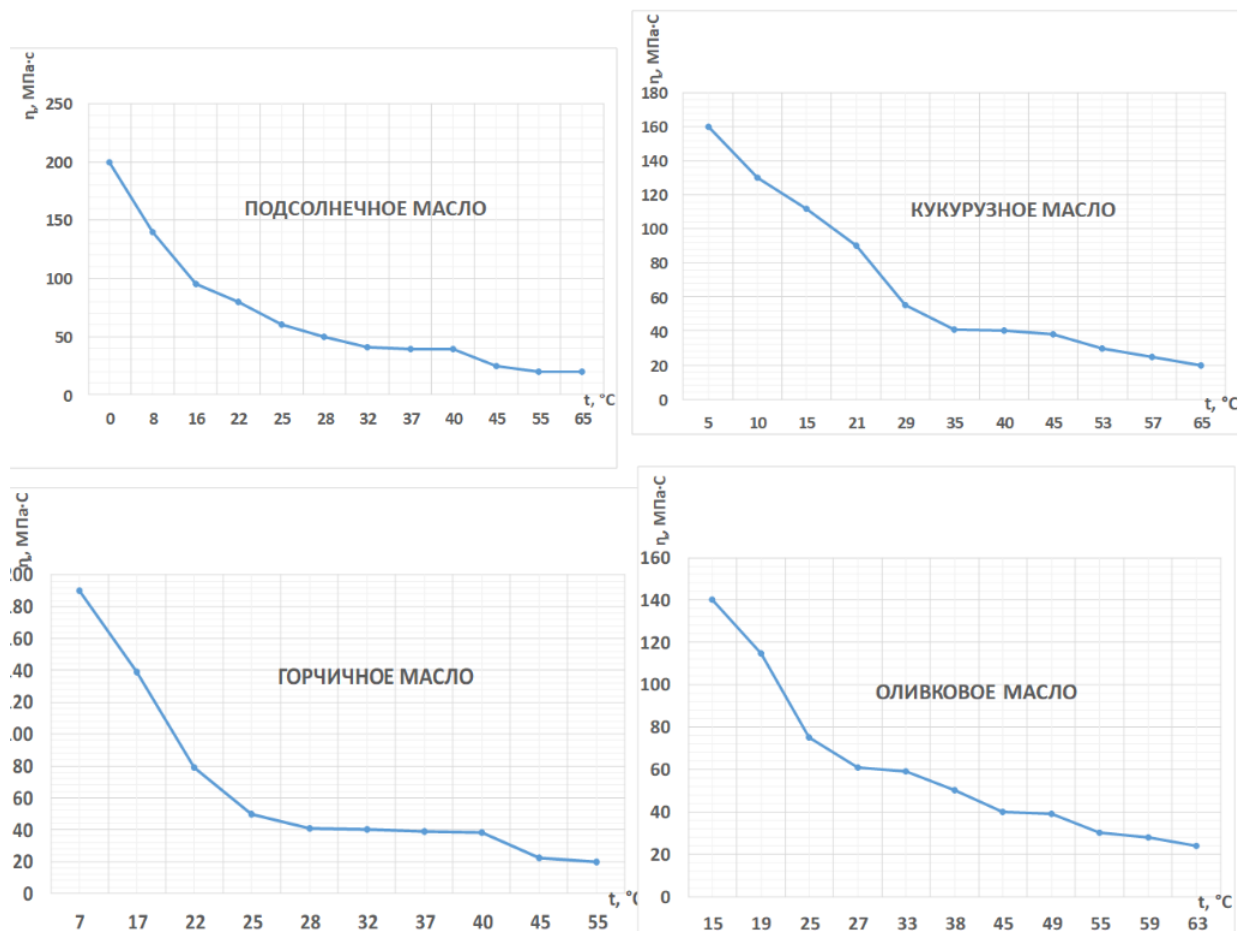


Рисунок 4. Зависимость вязкости растительных масел от температуры

Уменьшение вязкости масла при повышении температуры увеличивает утечки через неплотности в консервных банках, что упрощает фиксацию подтеков.

В работе приведен обзор факторов разгерметизации консервов.

К факторам, влияющим на разгерметизацию консервов, относятся:

- некачественная настройка закаточной машины и появление продукта на закаточном шве;
- нарушение рецептуры консервов, приводящее к изменению давления в банке при колебании температуры продукта;
- неудовлетворительное состояние тары.

Разница коэффициентов термического расширения продукта и банки приводит к изменению давления в ней, выпучиванию доньшка и крышки (рисунок 5).

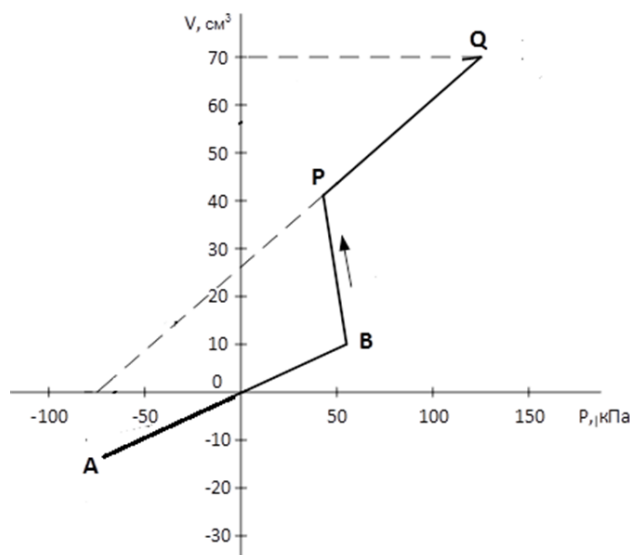


Рисунок 5. Изменение объема банки при стерилизации в зависимости от внутреннего давления

Во **второй** главе приведены основные виды дефектов закаточного шва и методы обнаружения течей консервов. В существующих нормативных документах и технологических инструкциях по производству консервов и пресервов из рыбы и нерыбных продуктов используются методы дефектоскопии консервов с применением ручных операций. Предлагается пересмотреть эту концепцию, уделяя основное внимание дистанционному контролю с использованием средств технического зрения без непосредственного участия человека. В частности, в работе предложен способ автоматического обнаружения подтеков с использованием средств технического зрения.

Герметичность банки является основным техническим свойством емкости для продукта консервации, которое должно сохраняться на протяжении всего жизненного цикла консервов, включая производство, хранение, транспортировку, потребление продукта. Консервная банка в процессе производства испытывает различные механические и тепловые воздействия при стерилизации, охлаждении. Прочность банок и соответственно их герметичность обеспечивается элементами двойного закаточного шва: ширина закаточного шва, глубина посадки крышки, ширина крючков крышки и банки, а также перекрытие закаточного шва.

Герметизация металлических консервных банок достигается закатыванием крышки в корпус в две операции: I - образование шва; II - образование двойного закаточного шва с последующим его уплотнением (рисунок 6).

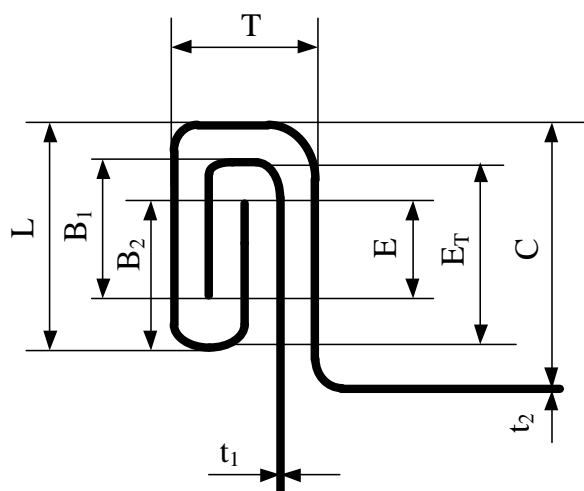


Рисунок 6. Схема двойного закаточного шва:  $t_1$  – толщина материала банки;  $t_2$  – толщина материалы крышки;  $L$  – ширина закаточного шва;  $C$  – глубина посадки крышки;  $B_1$  – ширина крючка банки;  $B_2$  – ширина крючка крышки;  $T$  – толщина закаточного шва;  $E$  – ширина перекрытия закаточного шва;  $E_T$  – теоретическая ширина перекрытия закаточного шва.

Выполнен анализ методов обнаружения течей консервов. Применение современных средств измерений и компьютерных технологий позволило автоматизировать выполнение операций дефектоскопии двойного закаточного шва. Геометрия неплотностей не позволяет характеризовать герметичность размерами неплотностей, поэтому течи определяют потоками веществ, проникающих через них:

$$Q = (\Delta P V) / \Delta \tau \quad (1)$$

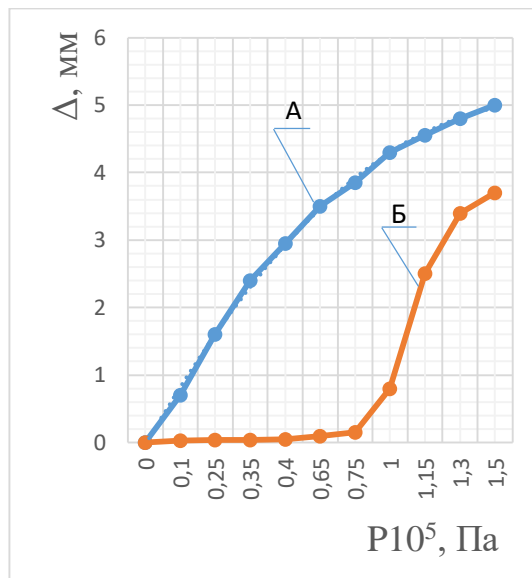
где  $V$  – внутренний объем объекта и технологической оснастки;

$\Delta \tau$  – время выдержки объекта;

$\Delta P$ - изменение давления в объекте в течении времени  $\Delta \tau$ .

В консервной промышленности используются пузырьковый и манометрический методы для обнаружения и количественной оценки течей. Диагностику герметичности консервных банок можно выполнить используя зависимость размеров баночных концов от давления в банке. На рисунке 7 приведена зависимость размера баночного конца для жести №20 при подъеме и сбросе давления. Измерить размеры баночных концов можно используя систему технического зрения.

Качество закаточного шва консервных банок исследуют и с помощью микрофокусной рентгенодефектоскопии. Однако, этот подход не позволяет диагностировать дефекты малого размера, т.к. рассеянное излучение в зависимости от энергии первичного излучателя изменяет качество снимка, снижает контрастность и четкость изображения, а, следовательно, и чувствительность самого метода.



А и Б – соответственно подъем и сброс давления в банке  
 Рисунок 7. Зависимость размера баночного конца для жести №20 при подъеме и сбросе давления

Помимо указанных способов для контроля герметичности консервов могут применяться оптические методы. Из негерметичных банок выделяется субстанция, которая на внешней поверхности банки образует подтеки. Для регистрации подтеков используются оптические методы контроля.

Оптические методы могут использоваться и для измерения геометрических размеров закаточного шва, включая толщину, ширину и глубину посадки крышки. Автоматизировать эти измерения можно с помощью системы технического зрения. Механическое вскрытие шва делает возможным определение не только внешних, но и внутренних параметров шва – перекрытие, ширина крючков крышки и банки.

При исследовании внутренней поверхности банок рационально использовать эндоскоп, позволяющий обнаруживать царапины, трещины, коррозионные пятна, выбоины и другие дефекты размером от 0,03 мм в консервных банках.

В зависимости от места образования негерметичность может контактировать с паром или жидкостью. Если негерметичность контактирует с жидкостью, то из банки вытекает жидкость, оставляя на стенках банки подтеки, которые и являются предметом исследования. Если негерметичность контактирует с паром, то из банки истекает пар, который конденсируясь образует подтеки на внешней поверхности банки.

Объем жидкости, вытекающий из банки через микродефект  $f_0$  определяется зависимостью:

$$V = K_p f_0 \sqrt{2g(h + \frac{\Delta P}{\rho g})} \quad (2)$$

Массовая скорость истечения жидкости, вытекающей из банки зависит от разности давлений  $\Delta p$  в банке и внешней среды, плотности продукта  $\rho$  и уровня продукта в банке  $h$ :

$$\frac{dm}{dt} = \rho K_p f_0 \sqrt{2g(h + \frac{\Delta P}{\rho g})} \quad (3)$$

Экспериментально установлено, что при диаметре отверстия микродефекта в корпусе банки равном 1 мкм, из банки вытекает за 5 мин при  $\Delta P = 40$ кПа и  $\rho = 1020$ кг/м<sup>3</sup>, коэффициенте расхода  $K_p = 0,31$  около 1,1 млг растительного масла.

Водяной пар перемешивается с парами масла. На поверхности жести конденсируются пары воды и масла. Давление пара воды больше, чем пара масла, поэтому на жести остаются масляные пятна. Масляные пятна фиксируются системой технического зрения, что позволяет контролировать герметичность банок дистанционно.

Известен алгоритм распознавания Виолы Джонса, который применяется, например, для распознавания лиц в таможенных пунктах пропуска. Этот алгоритм можно использовать для контроля герметичности консервных банок. На языке python была реализована программа, с помощью которой можно контролировать герметичность консервов на основе анализа изображений их дефектов.

В **третьей** главе предложена структура системы контроля герметичности консервов. Отмечено, что закаточный шов является важнейшим элементом, определяющим герметичность консервов. Закаточный шов консервов характеризуется внешними (толщина и ширина шва, глубина посадки крышки) и внутренними параметрами закаточного шва (ширина крючка крышки и корпуса, перекрытие). Качество закаточного шва формируется закаточной машиной. Модернизация управления закаточной машиной основана на использовании системы технического зрения для контроля внешних параметров закаточного шва консервов и заключается в поднастройке механизмов закаточной машины, обеспечивающих уплотнение шва.

Основная задача совершенствования технологии консервного производства заключается в достижении наибольшей воспроизводимости закаточного шва консервных банок при заданной или максимальной производительности линии, определяемой числом банок, выпускаемых в единицу времени. Воспроизводимость технологического процесса производства консервов характеризуется среднеквадратичным отклонением элементов закаточного шва от их среднестатистических значений или долей дефектных банок. Система управления качеством продукции поточного производства может базироваться на результатах сплошного или выборочного контроля. Число и последовательность банок, подлежащих выборочному контролю, определяются планом контроля. Увеличение объема выборки или частоты проверок может снизить риск незамеченной разладки, увеличивая, при этом, расходы на контроль.

С использованием технологии выборочного контроля и регулирования параметров закаточного шва определены объемы выборок и частота их изъятия, в совокупности обеспечивающие желаемое качество работы консервной линии. Рекомендуемый объем выборок от 5 до 30 банок.

В работе приведена функциональная структура системы контроля герметичности консервов с использованием средств технического зрения и механического вскрытия шва.

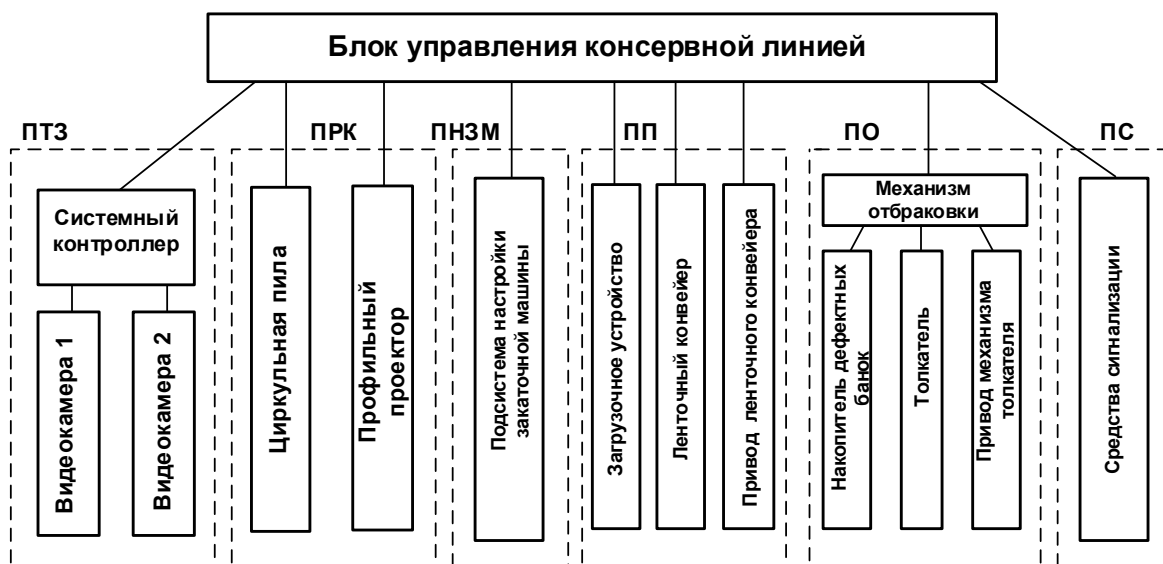


Рисунок 8. Функциональная структура системы контроля герметичности с использованием СТЗ

Подсистема технического зрения (ПТЗ), контролирующая качество закаточного шва по внешним параметрам, включает в себя системный контроллер для управления всеми элементами ПТЗ и две видеокамеры технического зрения, что обусловлено необходимостью контроля банок с внешней и внутренней стороны ленты конвейера. В подсистеме разрушающего контроля (ПРК) выполняются контрольные срезы банки и, сравнивая их с эталонными значениями размеров банки на профильном проекторе определяют причины разгерметизации банки. Подсистема настройки закаточной машины (ПНЗМ) адаптирует положение и усилие поджатия ролика закаточной машины по сигналу рассогласования между регламентированными и фактическими размерами закаточного шва.

Для установки консервных банок в зону обзора видеокамеры (рабочее положение) на ленточном конвейере используется подсистема позиционирования (ПП). Подсистема отбраковки (ПО) удаляет дефектные банки с конвейера в накопитель с помощью толкателя. Подсистема сигнализации (ПС) информирует оператора световым и звуковым сигналами о наличии и количестве бракованных банок.

Индикация подтеков осуществляется по неоднородности цвета поверхности банки с помощью системы технического зрения. Видеосъемка движущейся банки производится одновременно с двух сторон видеокамерами, поворачивающимися в плоскости, параллельной ленте конвейера. Крайние значения угла поворота видеокамер соответствуют начальной и конечной позициям банки в цикле видеосъемки (рисунок 9).

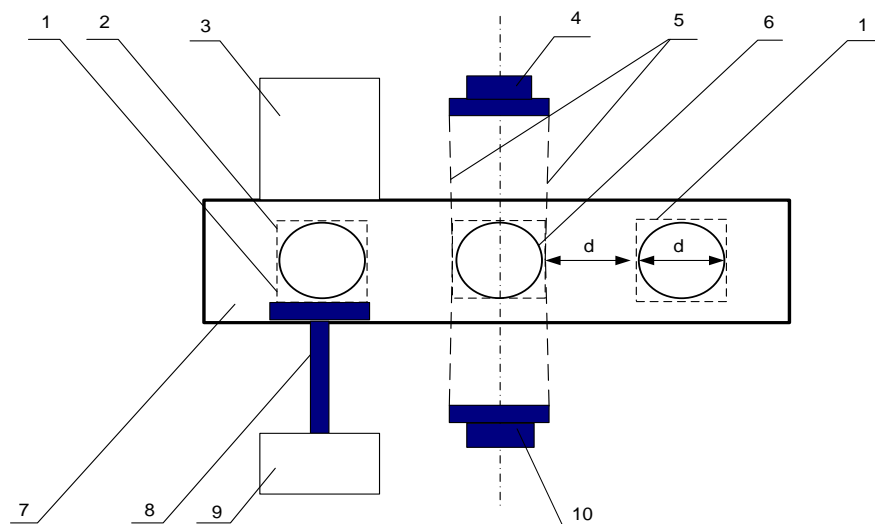


Рисунок 9. Взаимное положение видеокамер системы технического зрения с контролируемыми банками на ленточном конвейере

1 – разметка установки банки на ленточный конвейер; 2 – позиция дефектной банки; 3 – накопитель дефектных банок; 4 – видеокамера 1; 5 – зона обзора видеокамеры; 6 – контролируемая банка; 7 – ленточный конвейер; 8 – толкатель; 9 – привод механизма толкателя; 10 – видеокамера 2.

Расстояние между банками на конвейере  $d$  выбирается с учетом времени, необходимого для разворота видеокамер в исходную позицию после окончания видеосъемки (рисунок 10).

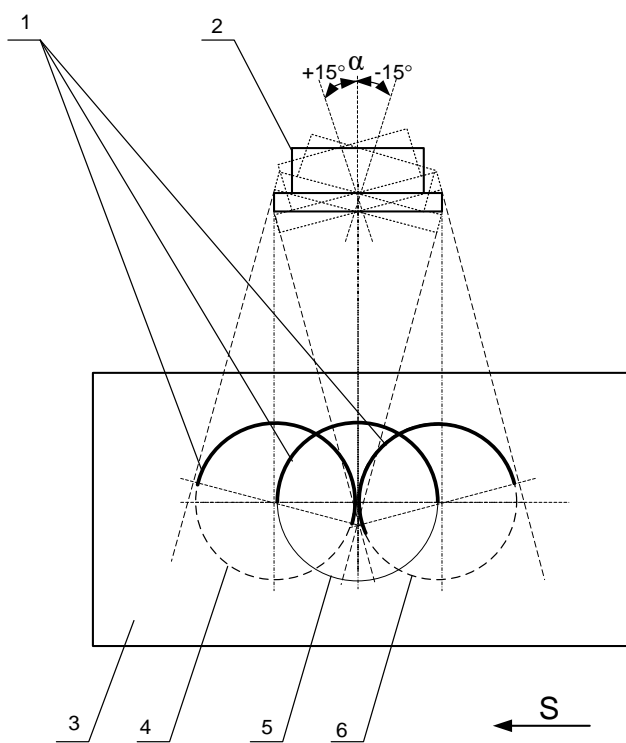


Рисунок 10. Изменение взаимного положения видеокамеры и контролируемой банки при движении ленточного конвейера.

1 – контролируемая поверхность банки; 2 – видеокамера; 3 – ленточный конвейер; 4, 5, 6 – соответственно конечная, текущая и начальная позиции банки в цикле видеосъемки.

Загрузочное устройство ленточного транспортера 3 (рисунок 11) включает питатель в форме наклонного желоба 1, средство загрузки – подающая звезда 5 с регулируемым по длине наконечниками из эластичного материала 6 и фиксатор положения банки 4. Подающая звезда механически связана с приводом конвейера. Фиксаторы установлены на конвейере таким образом, чтобы весь закаточный шов попадал в зону обзор видеокамер. Фиксаторы выполнены в виде U-образных захватов, и позволяют регулировать положение банок 2 в зависимости от их типоразмера. Фиксаторы обеспечивают позиционирование с необходимой точностью.

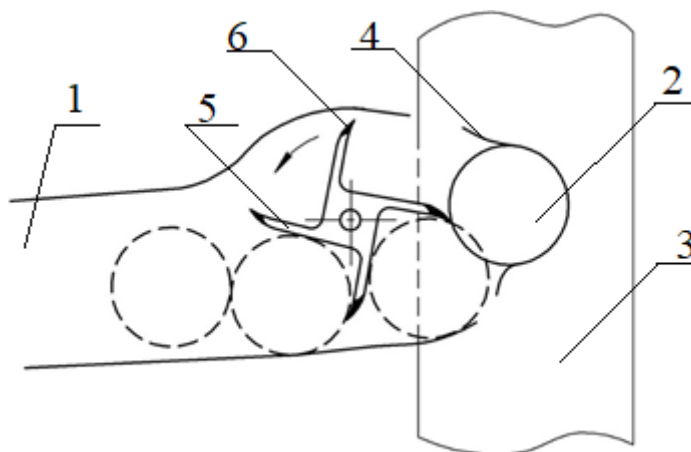


Рисунок 11. Схема загрузочного устройства банок на ленточный конвейер

В работе изложен принцип действия подсистемы позиционирования рассмотрен Разработан алгоритм автоматизированного контроля герметичности консервов с учетом схемы взаимного положения видеокамеры и контролируемой банки на движущейся ленте конвейера, приведенный на рисунке 12.



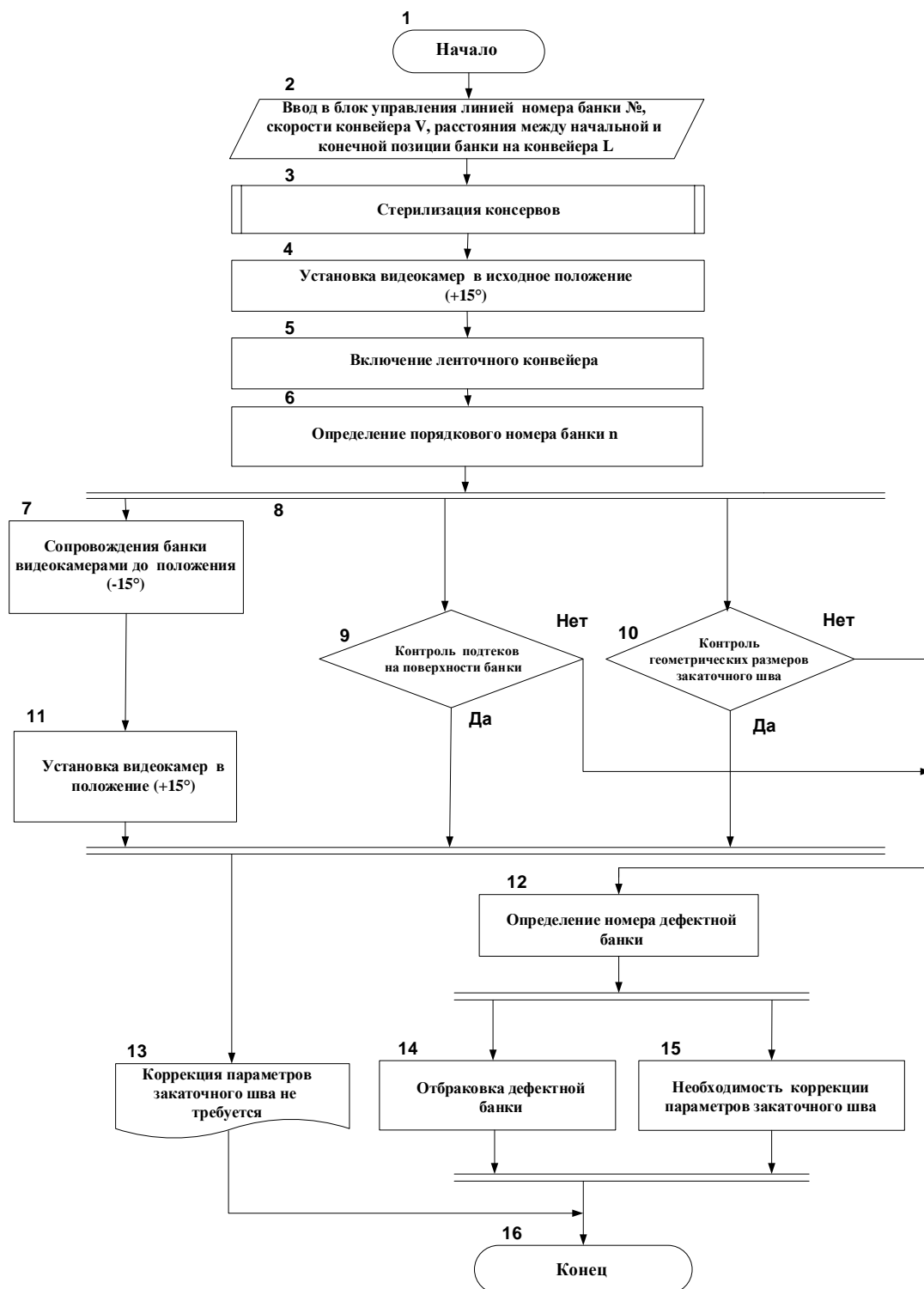


Рисунок 12. Алгоритм контроля герметичности консервов при движении ленточного конвейера

В четвертой главе приведены алгоритмы коррекции внешних и внутренних элементов двойного закаточного шва при настройке закаточной машины.

Коррекция параметров настройки закаточной машины выполнялась с применением системы технического зрения (СТЗ), рентгенодефектоскопии (РДС) и механического вскрытия шва (МВШ).

Использование СТЗ и МВШ повышает качество дефектоскопии консервов. Оценка внутренних параметров закаточного шва без нарушения целостности банки

может быть достигнута с использованием РДС, при условии, что ошибка измерения внутренних параметров закаточного шва не превышает 10% от данных, полученных с использованием МВШ.

Ошибки измерений внутренних параметров шва зависят от типа банки и толщины жести.

Алгоритм настройки закаточной машины с применением СТЗ и МВШ показан на рисунке 13.

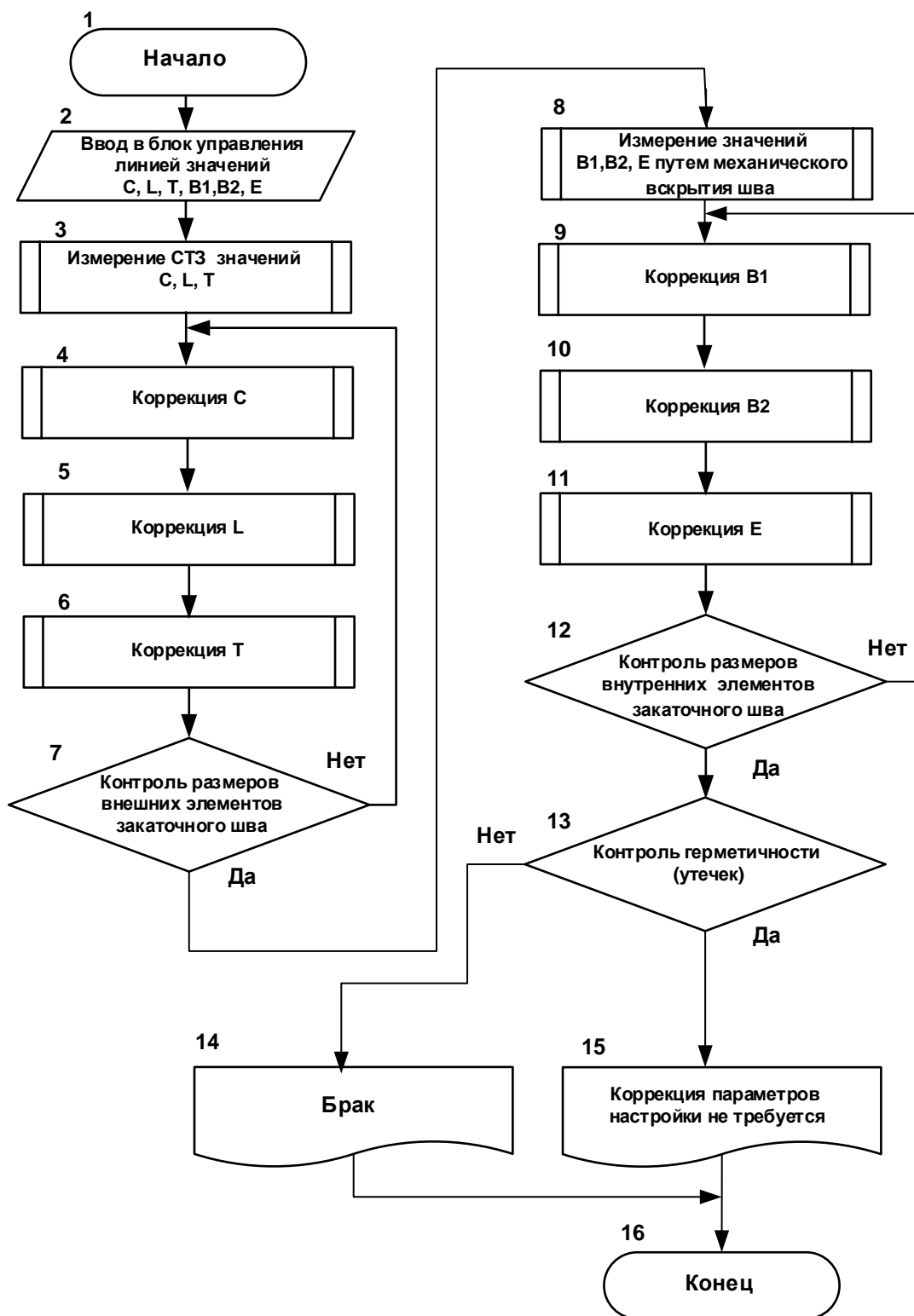


Рисунок 13. Алгоритм настройки закаточной машины

Коррекция настройки закаточной машины включает в себя:

- измерение и коррекцию внешних параметров закаточного шва;
- измерение и коррекцию внутренних параметров закаточного шва;
- контроль герметичности (утечки содержимого) консервов.

В пятой главе выполнено моделирование подсистемы позиционирования и системы перемещения конвейера.

В процессе моделирования подсистемы позиционирования изменялись расстояния: от видеокамеры до банки, между банками, а также угол поворота видеокамеры так, чтобы она регистрировала закаточный шов в пределах от начального до конечного значений. Результаты моделирования показали, что угол поворота видеокамеры для банки №6 составляет примерно  $\pm 15^\circ$ . При обратном ходе видеокамеры скорость ее поворота выбирается максимально возможной. В зону обзора видеокамеры попадает банка  $n+1$  (вторая) банка и цикл контроля повторяется.

В процессе моделирования системы перемещения конвейера использовался принцип подчиненного регулирования, реализованный с помощью обратных связей, действующих по переменным состояния объекта.

Динамика движения конвейера рассчитывалась аналитически на основе баланса сил, создаваемых двигателем конвейера, и моментов трения в подшипнике скольжения конвейера.

В работы выполнен синтез регуляторов тока  $W_{PT}$  и скорости  $W_{PC}$  применительно к системе, показанной на рисунке 14.

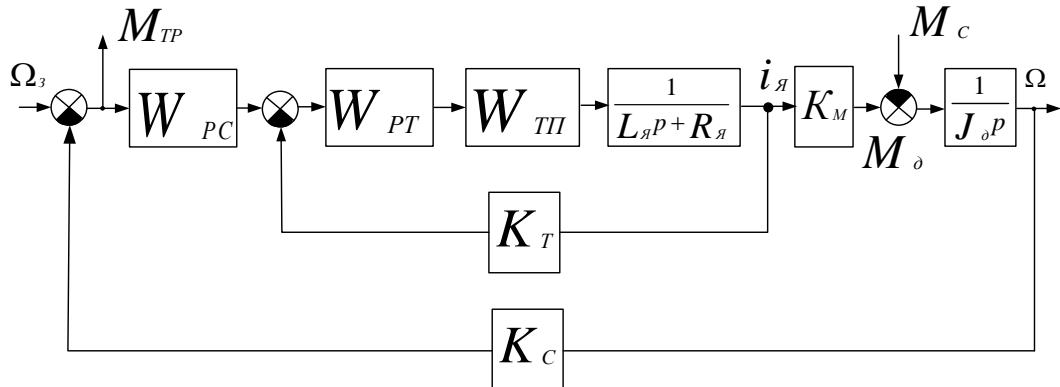


Рисунок 14. Структурная схема системы подчиненного регулирования

Основным возмущением, влияющим на скорость движения конвейера, является момент трения, определяемый трением вала о втулку подшипника скольжения  $M_{TP}$ :

$$M_{TP} = mgK_{TP}R_{рол} \quad (4)$$

где  $m$  – масса банок на ленточном конвейере,

$K_{TP}$  – коэффициент трения подшипника скольжения при движении конвейера,

$R_{рол}$  – радиус оси (вала) подшипника скольжения.

Результаты моделирования данного контура с применением пакета VISSIM 6.0 показаны на рисунке 15.

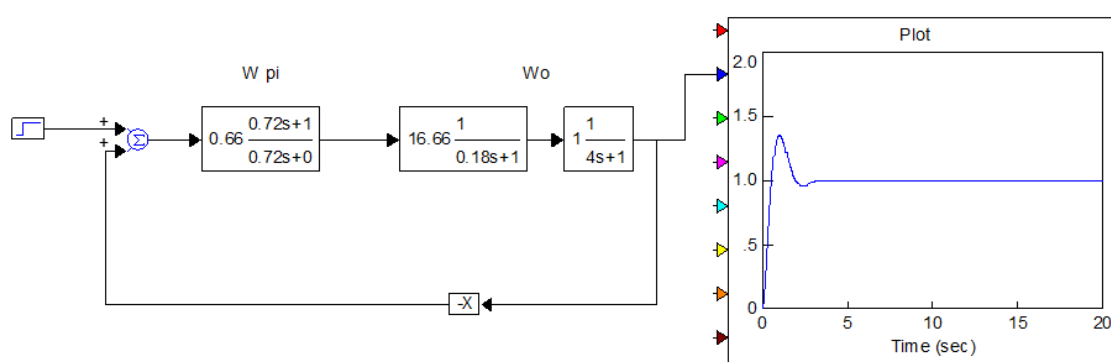


Рисунок 15. Результаты моделирования внутреннего контура

Динамическая характеристика системы перемещения конвейера по каналам управления представлена на рисунке 16.

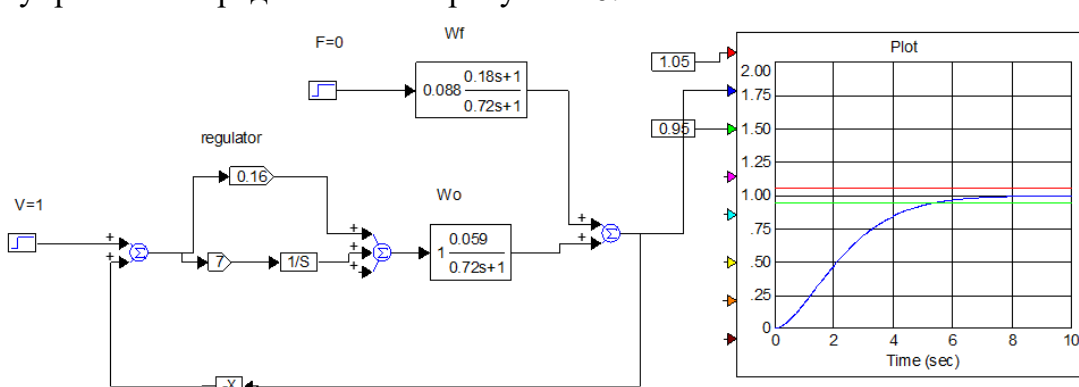


Рисунок 16. Динамическая характеристика системы по каналу управления

При изменении нагрузки на ленте конвейера ( $M_{тр}$ ) переходные характеристики по каналу возмущения представлены на рисунке 17:

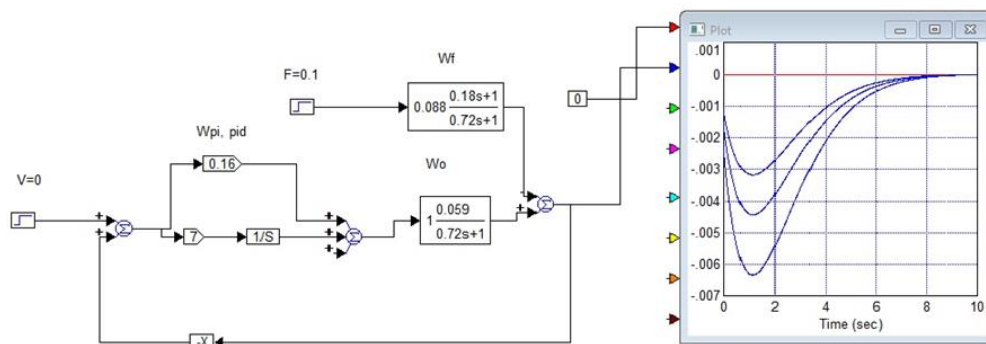


Рисунок 17. Динамическая характеристика системы по каналу возмущения при изменении нагрузки на конвейере

Разработанная система удовлетворяет требованиям точности, быстродействия и колебательности системы регулирования.

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ И ВЫВОДЫ

1. Предложено изменить технологию дефектоскопии консервов, заменив ручные операции контроля автоматизированными на основе средств технического зрения.

2. Коэффициент термического расширения продукта превышает значение коэффициента термического расширения металла, что приводит к изменению давления в банке при изменении температуры. Эти процессы могут привести к разгерметизации консервов при стерилизации. Предотвратить разгерметизацию консервов можно оптимизируя дозу продукта в банке.

3. Обосновано использование операторных моделей для систематизации процедур контроля и управления технологическими операциями консервных линий, а также повышение чувствительности контроля герметичности использованием вакуумных технологий и повышением температуры продукта.

4. Негерметичность консервов определяется потоками веществ через неплотности банки. Использование средств технического зрения позволяет автоматизировать измерение расхода среды, вытекающей из консервов, путем измерения размеров и частоты появления пузырьков газа.

5. Доказана возможность применения оптических методов для контроля герметичности, размеров закаточных швов и глубины посадки крышки, а также машинного обучения для дефектоскопии консервов.

6. Разработана система контроля герметичности и качества закаточного шва консервов при их перемещении ленточным конвейером (рисунок 8). Структура системы контроля состоит из подсистем: технического зрения, разрушающего контроля, позиционирования, отбраковки и сигнализации. Особое внимание уделено подсистеме позиционирования, обеспечивающей полный обзор закаточных швов при движении консервной линии.

7. Синтезированы алгоритмы настройки закаточной машины, обеспечивающие дефектоскопию консервов с учетом коррекции элементов закаточного шва.

8. Методом компьютерного моделирования определены условия, обеспечивающие фиксацию закаточного шва: координаты расположения фиксаторов банок от номинального значения и угол поворота видеокамер.

#### **Список работ, в которых опубликованы основные положения диссертации**

1. Долгий Н.А. Контроль герметичности и наладка закаточных машин / Н.А. Долгий, С.П. Сердобинцев // VI Юбилейная международная научная конференция, посвященная 50-летию пребывания КГТУ на Калининградской земле «Инновации в науке и образовании-2008». Труды научной конференции. Калининград, Изд. ФГОУ ВПО «КГТУ», 2008 г., С.203-206.

2. Долгий Н.А. Методы контроля герметичности консервов с пищевыми продуктами. / Н.А. Долгий // «Инновации в науке и образовании-2009» VII международная научная конференция. Труды Часть 2. Калининград, Изд. ФГОУ ВПО «КГТУ», 2009г., С. 109-111.

3. Долгий Н.А. Алгоритм автоматизированного контроля герметичности консервных банок на основе системы технического зрения / Н.А. Долгий, С.П. Сердобинцев // Известия КГТУ/Научный журнал, Калининград, Изд. ФГОУ ВПО «КГТУ», №18, 2010г., С. 18-22.

4. Долгий Н.А. Применение систем технического зрения в процессах контроля и управления / Н.А. Долгий, С.П. Сердобинцев // Информационные технологии в науке и образовании/Научно-практический сборник №29, часть3, Изд. КПИ ФСБ РФ, Калининград, 2011. Материалы 29 межвузовской научно-

практической конференции профессорско-преподавательского состава «Проблемы и перспективы совершенствования охраны государственной границы и объектов», С.88-93.

5. Долгий Н.А. Автоматизированная система контроля герметичности консервов / Н.А. Долгий, С.П. Сердобинцев // Автоматизация и современные технологии. Ежемесячный межотраслевой научно-технический журнал, Москва, Изд. Машиностроение, №1, 2011г., С.14 – 16.

6. Долгий Н.А. Принципы построения микропроцессорных систем управления безопасностью производства рыбных консервов/ Н.А. Долгий, С.П. Сердобинцев // Известия КГТУ/Научный журнал, Калининград, Изд. ФГОУ ВПО «КГТУ», №25, 2012г., С. 61-67.

7. Долгий Н.А. Элементы комплексной автоматизации консервного производства / Н.А. Долгий, С.П. Сердобинцев // Известия ВУЗов. Пищевая технология. Научно-технический журнал, Краснодар, Изд. ФГБОУ ВПО «КГТУ», №2,3, 2012г., С.106-108.

8. Долгий Н.А. Операторная модель поточной линии производства консервов из обжаренной рыбы/ Н.А. Долгий // Известия КГТУ. Научный журнал, Калининград, Изд. ФГБОУ ВПО «КГТУ», №27, 2012г., С. 69-73.

9. Долгий Н.А. Неразрушающий метод контроля герметичности консервов в поточном производстве/ Н.А. Долгий, Л.Т. Серпунина, С.П. Сердобинцев // Вестник Астраханского государственного технического университета. Серия: Рыбное хозяйство. №;1, 2016г., С.113-118.

10. Долгий Н.А. Применение методов машинного обучения к анализу изображений дефектов консервных банок с целью контроля их герметичности/ Н.А. Долгий, Д.В. Чаплыгин// Известия КГТУ. Научный журнал, Калининград, Изд. ФГБОУ ВО «КГТУ», №43, 2016г., С. 121-131.

11. Долгий Н.А. Контроль герметичности консервов в условиях поточного производства/ Н.А. Долгий, С.П. Сердобинцев // Сборник материалов научной конференции с международным участием «Развитие пищевой и перерабатывающей промышленности России: кадры и наука», Москва, МГУПП, 2017г., С.205-207.

12. Долгий Н.А. Методика диагностики герметичности упаковки пищевых продуктов в условиях поточного производства для прототипа самообучающегося программно-аппаратного-комплекса технического зрения/ Н.А. Долгий, К.Г. Кузьминов, Р.К. Поляков// Морские интеллектуальные технологии. Научный журнал. Санкт-Петербург, Изд. НИЦ «Моринтех», 2018. Т. 3, №4 (42), С.109-115.

#### **Патенты**

1. Пат. 2396529 Российская Федерация, МПК G01M3/00. Способ контроля герметичности металлических банок с пищевыми продуктами и устройство для его осуществления/ Н.А. Долгий, С.П. Сердобинцев; заявитель и патентообладатель Калининградский государственный технический университет. - № 2009128944/28; заяв. 27.07.2009; опубл. 10.08.2010, Бюл. № 22. – 8 с. : ил.

2. Пат. на полезную модель 105263 Российская Федерация, МПК 65B5/10. Устройство для загрузки консервных банок на транспортер и их позиционирования/ Н.А. Долгий, С.П. Сердобинцев; заявитель и патентообладатель Калининградский государственный технический

университет. - № 2010148482/21; заяв. 26.11.2010; опубл. 10.06.2011, Бюл. № 16.  
– 2 с. : ил.

3. Пат. на полезную модель 127589 Российская Федерация, МПК А22С29/00. Линия для производства рыбных консервов/ Н.А. Долгий; заявитель и патентообладатель Калининградский государственный технический университет. - № 2012136523/13; заяв. 24.08.2012; опубл. 10.05.2013, Бюл. № 13.  
– 1 с. : ил.

4. Пат. на полезную модель 153576. Российская Федерация, МПК В65В5/10. Система для загрузки консервных банок на транспортер и их позиционирования / Н.А. Долгий, С.П. Сердобинцев, Н.С.Будченко; заявитель и патентообладатель Калининградский государственный технический университет. – № 2014154299/13; заяв.30.12.2014, Бюл. № 21.-2с.:ил.

#### **Свидетельство об официальной регистрации программы для ЭВМ**

1.Долгий Н.А Программа анализа изображений дефектов консервных банок с целью контроля их герметичности/ Долгий Н.А., Чаплыгин Д.В.// Свидетельство о официальной регистрации программы для ЭВМ № 2016662244. Федеральная служба по интеллектуальной собственности. – 20.12.2016 г.

*Долгий Николай Алексеевич*

АВТОМАТИЗИРОВАННАЯ СИСТЕМА КОНТРОЛЯ ГЕРМЕТИЧНОСТИ  
КОНСЕРВОВ В ПОТОЧНОМ ПРОИЗВОДСТВЕ

Автореф. дис. на соискание ученой степени канд. тех. наук

Подписано в печать \_\_\_\_ . \_\_\_\_ . \_\_\_\_ Заказ № \_\_\_\_\_

Формат 60X90/16 Усл. печ. л. 1. Тираж 100 экз.

Издательство ФГБОУ ВО «КГТУ» 236022, Калининград, Советский пр-т, 1