

ФЕДЕРАЛЬНО ГОСУДАРСТВЕННОЕ БЮДЖЕТНОЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ
УЧРЕЖДЕНИЕ ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ
«МОСКОВСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ
ПИЩЕВЫХ ПРОИЗВОДСТВ»

На правах рукописи

Аитов Василий Григорьевич

**РАЗРАБОТКА ИНТЕГРИРОВАННОЙ АВТОМАТИЗИРОВАННОЙ
СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ РЫБОПЕРЕРАБАТЫВАЮЩИМ
ПРЕДПРИЯТИЕМ С ПРИМЕНЕНИЕМ УНИВЕРСАЛЬНОГО
ПРОГРАММНО-АППАРАТНОГО КОМПЛЕКСА**

Специальность 05.13.06 –
Автоматизация и управление технологическими процессами и производствами
(в пищевой промышленности)

Диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук

Научный руководитель
доктор физико-математических наук, доцент
Красинский Александр Яковлевич

Москва – 2018

Оглавление

Введение	4
1. Литературный обзор и анализ проблем автоматизации управления рыбоперерабатывающими предприятиями	12
1.1 Анализ производства как объекта автоматизации.....	12
1.2 Выявление недостатков существующей системы автоматизации управления	29
1.3 Постановка задачи создания интегрированной автоматизированной системы управления.....	49
Выводы по главе 1	55
2. Анализ и синтез интегрированной автоматизированной системы управления.....	57
2.1 Описание методики системного анализа и проектирования	57
2.2 Когнитивное моделирование.....	58
2.3 Разработка бизнес-процессов автоматизированного управления производством	74
2.4 Разработка архитектуры и информационно-логической модели.....	83
Выводы по главе 2	87
3. Разработка универсального программно-аппаратного комплекса для интегрированной автоматизированной системы управления	89
3.1 Функциональная схема автоматизации технологической линии горячего копчения рыбы.....	89
3.2 Математическая модель системы автоматического управления технологической линией горячего копчения рыбы	98
3.3 Алгоритм разработки универсального программно-аппаратного комплекса	113
Выводы по главе 3	138
4. Практическое приложение результатов исследований.....	139
4.1 Реализация универсального программно-аппаратного комплекса	139
4.2 Реализация подсистем передачи данных и контроля доступа	146
4.3 Реализация и внедрение интегрированной автоматизированной системы управления	177
Выводы по главе 4	180
Заключение.....	182
Список сокращений	184
Список литературы.....	185

Приложения	198
Приложение А. Программы для ЭВМ и конфигурационные файлы, связанные с разработкой ПАК автоматизации производственно-технологических и обеспечивающих процессов.....	199
Приложение Б. Формы интерфейса консоли удаленного управления ПАК.....	203
Приложение В. Графики переходных процессов горячего копчения рыбы, полученные в системе MATLAB.....	204
Приложение Г. Документы, подтверждающие апробацию и внедрение результатов.....	210

Введение

Актуальность темы. Задача импортозамещения в настоящее время поставлена на уровне национальных интересов России. Для ее решения одна из наиболее динамично развивающихся отраслей промышленности – пищевая – должна быть обеспечена современными высокотехнологичными средствами автоматизации и управления отечественной разработки, что позволит сделать пищевую промышленность России более конкурентоспособной и независимой от крупных зарубежных производителей промышленных автоматических устройств (Schneider Electric, Rockwell Automation, Siemens, Bosh, Mitsubishi и др.), а также от производителей коммерческих систем управления класса ERP (Microsoft Dynamics, My SAP, OEBS и др.) совместно с MES, а также BPMS (ELMA, Bizagi, K2, и др.) совместно с RPA.

В современных экономических условиях необходимо повышение эффективности пищевой промышленности. Одним из основных способов такого повышения является разработка, в том числе силами предприятия, универсальных программно-аппаратных комплексов (ПАК) автоматизации производственно-технологических и обеспечивающих процессов, функционирующих в режиме реального времени в составе интегрированной автоматизированной системы управления (ИАСУ). Такие ПАК могут управлять одновременно производственно-технологическими и обеспечивающими процессами крупных, территориально-распределенных предприятий, учитывая при этом общность критериев управления и их связи. Проблема является актуальной не только для крупных, но и для малых предприятий – автоматизация помогает им оставаться конкурентоспособными, повышать качество продукции и снижать ее себестоимость. Использование готовых решений в данном случае приводит к неоправданному вложению средств в оборудование, потенциал которого может не соответствовать потребностям предприятия. При этом приходится работать с закрытым программным обеспечением и нести дополнительные затраты на высококвалифицированный IT-персонал.

Накоплен значительный опыт научно-практических исследований в области управления производственно-технологическими и обеспечивающими процессами при помощи ИАСУ и ПАК. Большой вклад в работу по тематике комплексной автоматизации пищевой промышленности внесли О.И.Авен, М.М.Благовещенская, М.В.Жиров, Э.Л.Ицкович, Е.Б.Карпин, В.И.Карпов, А.Я.Красинский, А.Е.Краснов, К.С.Мышенков, О.А.Новицкий, В.О.Новицкий, Н.В.Остапчук, И.К.Петров, А.Т.Птушкин, А.В.Татаринов, В.Я.Черных, Б.А.Штительман и многие другие [19,20,21,22,23,38,42,43,47,48,55,62,63,64,65,66,67,68,73,88,112]. В рамках настоящего исследования был изучен и применен опыт приведенных исследований с учетом направлений дальнейшего развития, заданных авторами.

Научно-практическая работа по тематике комплексной автоматизации ведется и в вузах пищевого профиля, в том числе в Московском государственном университете пищевых производств (МГУПП). При этом активно используются различные ПАК автоматизации производственно-технологических и обеспечивающих процессов, в том числе собственной разработки.

МГУПП в силу своей специфики, помимо научно-образовательного учреждения, является фактически комплексом малых предприятий пищевой промышленности различной направленности – мини-пивоварни, пекарни, коптильни, сыроварни, кондитерские цеха, действующие модели ресторанов и др. Все эти малые предприятия в процессе своего функционирования нуждаются в автоматизации производственно-технологических и обеспечивающих процессов при помощи современных, универсальных и доступных программно-аппаратных решений. МГУПП выпускает специалистов, которые должны быть готовы к работе с современным высокотехнологичным оборудованием предприятий пищевой промышленности, поэтому такое оборудование должно быть представлено в университете на самом передовом современном уровне.

Вузы пищевого профиля, как неотъемлемая часть соответствующей группы отраслей промышленности, должны принимать непосредственное участие в разработке таких комплексов, являющихся фундаментом единого информационного пространства, и систем автоматизированного управления этим

пространством. Это позволит, в числе прочего, повысить качество подготовки будущих специалистов предприятий пищевой промышленности.

В настоящее время ОАО «Черкизовский мясоперерабатывающий завод», ЗАО «Микояновский мясокомбинат», ООО «РИФ» (рыбоперерабатывающее предприятие) и многие другие предприятия пищевой промышленности приступили к реализации концепции «от фермы до прилавка», подразумевающей управление полным жизненным циклом выпускаемых продуктов питания и интегрированное управление соответствующими взаимосвязанными производственно-технологическими и обеспечивающими процессами. Это позволяет управлять качеством продукции не фрагментарно, а системно, обеспечивая его стабильность на протяжении всего жизненного цикла. Реализация такой концепции является основой комплексной автоматизации предприятия, ее методологической базой. Однако стоимость соответствующих решений «под ключ», особенно зарубежных, является достаточно высокой для большинства предприятий пищевой промышленности, при этом растут дополнительные затраты на персонал, владеющий соответствующими навыками.

В настоящем исследовании был обобщен опыт моделирования, разработки, модернизации, внедрения и эксплуатации ИАСУ, и, как одной из ее компонент, системы контроля и управления доступом (СКУД). СКУД представляет собой ПАК автоматизации обеспечивающих процессов, на базе которого был разработан и реализован на практике универсальный ПАК автоматизации производственно-технологических и обеспечивающих процессов предприятия пищевой промышленности. В качестве примеров применения универсального ПАК были рассмотрены задачи управления процессами территориально-распределенного рыбоперерабатывающего предприятия при его комплексной автоматизации.

Из вышесказанного следует, что проблема обеспечения динамично развивающейся пищевой промышленности универсальными программно-аппаратными средствами автоматизации отечественного производства и собственными кадрами требуемой квалификации весьма актуальна.

Целью диссертационной работы является разработка и внедрение интегрированной автоматизированной системы управления рыбоперерабатывающим предприятием с применением универсального программно-аппаратного комплекса, что позволит повысить эффективность предприятия.

Для достижения поставленной цели необходимо решить **следующие задачи**:

1. Исследовать процессы рыбоперерабатывающего предприятия как объекта комплексной автоматизации, проанализировать существующий опыт применения ПАК в интегрированных системах управления на предмет использования современных разработок, элементной базы, программного обеспечения, выявить недостатки существующих решений и возможности их устранения.

2. Осуществить системный анализ ИАСУ рыбоперерабатывающим предприятием, разработать ее когнитивную причинно-следственную, концептуальную теоретико-множественную модели, стратегические карты, критерии автоматизированного управления, модели и алгоритмы автоматизированных процессов управления производством, архитектуру и информационно-логическую модель.

3. Разработать функциональную схему и математическую модель системы автоматического управления технологической линией горячего копчения рыбы с применением универсального ПАК.

4. Построить сетевую модель разработки универсального ПАК, позволяющую получать и анализировать возможные варианты. На основе выбранных рациональных вариантов разработать структурную схему модели универсального ПАК, которая позволит сохранить преемственность программного и аппаратного обеспечений и не будет предъявлять специфических требований к квалификации персонала.

5. Разработать и внедрить ИАСУ и универсальный ПАК, взаимодействующие в режиме реального времени и управляющие взаимосвязанными производственно-технологическими и обеспечивающими процессами.

Объектом исследования является система управления производственно-технологическими и обеспечивающими процессами рыбоперерабатывающего предприятия, а также используемые в настоящее время способы автоматизации управления процессами для данного типа предприятий пищевой промышленности.

Предметом исследования является совокупность теоретических и практических задач, связанных с созданием систем класса ИАСУ для рыбоперерабатывающего предприятия с универсальным ПАК в качестве основной компоненты, архитектура, информационное, программно-техническое обеспечение ПАК и алгоритм проектирования ИАСУ на его основе.

Научная новизна диссертации заключается в следующем:

1. Впервые разработана когнитивная модель ИАСУ рыбоперерабатывающего предприятия, включающая граф причинно-следственных связей и построенную на его основе концептуальную теоретико-множественную модель системы, которая позволила выявить актуальные задачи автоматизации и критерии управления предприятием.

2. В полном объеме разработаны структура целей ИАСУ рыбоперерабатывающего предприятия, ее стратегические карты, критерии автоматизированного управления, модели и алгоритмы автоматизированных процессов управления производством, являющиеся инструментом многоаспектного контроля эффективности и основой для создания ИАСУ на всем жизненном цикле – от инкубации икры до реализации продукции.

3. Разработаны функциональная схема и математическая модель системы автоматического управления технологической линией горячего копчения рыбы с применением универсального ПАК, позволившие объединить разрозненные автономные компоненты в единую систему управления с целью стабилизации качества продукции и экономии энергоресурсов.

4. Предложен алгоритм разработки универсального ПАК, функционирующего в составе ИАСУ предприятием, позволивший добиться рационального конфигурирования компонентов с возможностью модернизации при сохранении преемственности программно-аппаратного обеспечения.

Практическая значимость диссертации заключается в следующем:

1. Разработаны и внедрены на рыбоперерабатывающем предприятии (ООО «РИФ») ИАСУ и универсальный ПАК, взаимодействующие в режиме реального времени и выполняющие управление: производством, контролем доступа, перемещением персонала, оборудования, сырья и готовой продукции, локальной вычислительной сетью, материально-технической базой, матричное управление производственно-технологическими и обеспечивающими процессами на всех уровнях предприятия.

2. Разработана и используется в практикоориентированном учебном процессе, а также при управлении производственно-технологическими и обеспечивающими процессами ФГБОУ ВО «МГУПП» интегрированная информационная система управления с применением универсального ПАК.

Методология и методы исследования: теория автоматического управления, теория систем и системный анализ, теория множеств, методы когнитивного (причинно-следственного) моделирования, методика сбалансированной системы показателей (ССП) для управления предприятиями, основы процессного управления и методы автоматизированного проектирования производственных бизнес-процессов с использованием программных CASE-средств, методы информационного моделирования, теория графов, теория принятия решений, методы сетевого планирования, методы оптимизации (динамическое программирование), теория алгоритмов и методы программирования.

В процессе исследований применялось следующее **программное и аппаратное обеспечение:** серверные версии операционных систем Windows и Linux, СУБД MS SQL Server и MySQL Server, платформа 1С:Предприятие, платформа Moodle с открытым исходным кодом, система бизнес-моделирования Business Studio, программное обеспечение для построения и обучения нейронных сетей TensorFlow, система MatLab, мнемосхема мониторинга и управления опорной сетью передачи данных Dude, платформа Bitrix, языки программирования PHP, C++, C#, Python и др. В качестве аппаратного обеспечения использовалось:

парогенератор ПГЭ-40Т, дымогенератор Вихрь-М, климатическая установка ТЕОН-ПРО, активное сетевое оборудование 2-го и 3-го уровней: D-link, Cisco, Huawei, SNR, HP, Allied Telesis, сервера на базе процессоров Intel Xeon, АТС LG-Ericsson IPECS-LIK-1200, система Enterprise Wi-Fi Unifi, микроконтроллеры Arduino, Raspberry, Orange Pi, различные датчики (температуры, влажности, концентрации углекислого газа и др.), считыватели RFID-карт, турникеты, шлагбаумы, электронные замки и др.

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. Когнитивная модель ИАСУ рыбоперерабатывающего предприятия, включающая граф причинно-следственных связей и построенную на его основе концептуальную теоретико-множественную модель системы.

2. Структура целей ИАСУ рыбоперерабатывающего предприятия, ее стратегические карты, критерии автоматизированного управления, модели и алгоритмы автоматизированных процессов управления производством.

3. Функциональная схема и математическая модель системы автоматического управления технологической линией горячего копчения рыбы с применением универсального ПАК.

4. Алгоритм разработки универсального ПАК, функционирующего в составе ИАСУ предприятием.

Степень достоверности и апробация работы. Достоверность полученных результатов подтверждается использованием методов системного анализа и теории принятия решений, экспериментальными исследованиями технологических и обеспечивающих процессов, проведенными в производственных условиях ООО «РИФ», а также обеспечивается совпадением расчетных данных и результатов экспериментов.

Основные результаты диссертационного исследования докладывались автором на следующих научно-практических конференциях и семинарах: XI научно-практическая конференция с международным участием «Живые системы» (Москва, 2013); вторая Всероссийская научно-методическая конференция «Современные технологии непрерывного обучения» (Воронеж, 2015); XXXIV Международная научно-практическая конференция «Перспективы развития информационных технологий» (Новосибирск, 2017); II Международная научно-практическая конференция «Информационная безопасность и компьютерные технологии» (Украина, г. Кропивницкий, 2017); XXI Международная научно-практическая конференция «Системный анализ в проектировании и управлении» (Санкт-Петербург, 2017).

Публикации. По материалам диссертационного исследования опубликовано 13 работ, в том числе 5 статей в журналах, рецензируемых и рекомендованных ВАК, и 1 свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ.

Структура и объем диссертации. Работа состоит из введения, четырех глав, заключения, списка литературы, списка сокращений, списка публикаций по теме диссертации и 4 приложений. Общий объем диссертации 212 страниц, 49 иллюстраций, 8 таблиц. Список литературы включает 129 наименований.

1. Литературный обзор и анализ проблем автоматизации управления рыбоперерабатывающими предприятиями

1.1 Анализ производства как объекта автоматизации

Предприятия пищевой промышленности в той или иной форме ведут свою историю с начала коллективного существования человечества, и с момента их образования появилась задача эффективности управления соответствующими технологическими и производственными процессами. «Игра в бисер» Германа Гессе [32] показывает нам «Касталию» не только как республику духа, но и как сложную организационно-техническую систему, устойчивую к внешним воздействиям, «государство в государстве», для своей автономии имевшее собственное пищевое производство, и, пусть даже и с примитивными, но уже элементами автоматизации.

В нашей стране автоматизация предприятий пищевой промышленности начала приобретать некоторую системность в начале XX века, а в 60-х годах были предприняты первые попытки комплексной автоматизации крупных территориально-распределенных предприятий, когда их деятельность автоматизировалась, по возможности, системно и полностью. Не явились исключением и предприятия рыбопереработки, которые были частью динамично развивавшегося рыбоперерабатывающего комплекса СССР. В 1937 году было начато создание рыболовного флота, и к середине 60-х годов уловы рыб ценных пород, например, камчатского флота стали достигать 200-300 тыс. тонн в год. Анастас Микоян, народный комиссар пищевой промышленности, уделял большое внимание в том числе и развитию рыбоперерабатывающих предприятий, заимствуя зарубежный опыт и создавая условия для появления в стране собственных специалистов и технологий.

К моменту распада СССР рыбоперерабатывающая отрасль представляла собой большую и хорошо организованную сеть предприятий в разрезе бассейновых управлений («Запрыба», «Севрыба», «Дальрыба», «Югрыба»). Эта сеть слаженно

функционировала и выпускала большое количество качественной продукции, что позволило ввести специальные «рыбные дни» в рацион питания граждан, в том числе с целью компенсации недостатка мясных продуктов питательным и легкоусвояемым рыбным белком. В каждом бассейновом управлении существовали проектные и конструкторские предприятия, в задачу которых входила, в том числе, автоматизация вводимых в эксплуатацию рыбоперерабатывающих предприятий. Все эти действия выполнялись системно и централизованно.

Распад СССР отрицательно повлиял на рыбоперерабатывающую отрасль, численность высококвалифицированных специалистов уменьшилась в 40-50 раз, многие крупные предприятия прекратили существование или распались. Но традиции, технологии и квалифицированные специалисты остались, что помогло после этапа приватизации образовать новые устойчивые производственно-хозяйственные объединения, состоящие в настоящее время из современных предприятий рыбопереработки.

Например, на Дальнем востоке существуют целые флотилии, являющиеся рыболовными кораблями и одновременно рыбоперерабатывающими предприятиями, специализирующимися, как правило, на консервной продукции.

Однако, наравне с этим, в настоящее время вследствие истощения естественного ресурса ценных пород рыб, все чаще практикуется выращивание рыбы в искусственных условиях (в специальных садках, расположенных непосредственно в естественных водоемах), в частности, в Карелии и на Валдае. Этот этап сначала опосредованно, а затем и в качестве полноценного стал входить в жизненный цикл выпускаемой рыбной продукции и также остро нуждается в автоматизации. В результате возникла задача управления всей цепочкой взаимосвязанных процессов – от инкубации икры до реализации готовой продукции. В данной работе рассматриваются предприятия именно такого профиля. Они изначально являются территориально-распределенными, так как выращивание рыбы из-за климатических требований, наличия водных ресурсов, доступности кормов удалено от мест ее переработки и реализации готовой

продукции. Заморозка часто недопустима, так как отрицательно влияет на качество рыбных продуктов. Все это усложняет управление большим количеством процессов в условиях их территориальной распределенности и делает автоматизацию «под ключ» сравнительно дорогостоящей.

Для рыбоперерабатывающей отрасли характерна высокая степень вертикальной и горизонтальной интеграции производства и управления, что включает в себя: вылов рыбы или инкубацию икры, самостоятельное выращивание и подращивание рыбы, сопутствующую закупку кормов, транспортировку рыбы к месту переработки или хранения, предварительная обработка, приемка на хранение или обработку (потрошение, чистку, филирование, разделку), передача на переработку с целью получения рыбопродуктов или полуфабрикатов, с последующей реализацией потребителям через розничные сети или собственные магазины с сопутствующей этим операциям логистикой.

Одной из целей современного предприятия рыбопереработки является получение прибыли, и автоматизация помогает достичь этой цели посредством применения безотходных и при этом ресурсосберегающих технологий при снижении количества операций, агрегирования оборудования и повышения его производительности, коэффициента использования автоматического оборудования. Все это способствует снижению себестоимости продукции без ущерба ее качеству. Однако необходимо учитывать, что решение только технологических задач не позволит в дальнейшем быть предприятию эффективным. Необходимо также уделять внимание вопросам промышленного строительства, санитарии, технике безопасности, культуре производства, защите окружающей среды и др. Комплексная автоматизация производства оперирует всем этим и многим другим, выходя далеко за рамки непосредственно технологических процессов. Однако комплексная автоматизация должна быть экономически обоснована, соотноситься с готовностью к ней конкретно взятого предприятия. В себестоимости рыбопродуктов из всех затрат наибольшими являются стоимость электроэнергии, воды, и, соответственно, пара, опосредованно – отопления. Затраты на заработную плату, как правило не превышают 10-15% от

себестоимости продукции. Поэтому, при отсутствии альтернативы дорогостоящему автоматическому оборудованию и программно-аппаратным решениям, многие технологические операции в настоящее время экономически целесообразно выполнять вручную, что и приходится делать большинству предприятий рыбопереработки.

Одним из наиболее эффективных вариантов концепции рыбоперерабатывающего предприятия является идеология «от фермы до прилавка», при котором все стадии жизненного цикла продукции от инкубации икры до реализации рыбных продуктов потребителю находятся в одном пространстве управления, что делает такое предприятие безотходным и сбалансированным. Такую идеологию в настоящее время успешно применяет подавляющее большинство зарубежных предприятий пищевой промышленности, а также некоторые отечественные, однако при этом они используют программно-аппаратные решения зарубежного производства. Структурно-функциональная модель основных производственных процессов подобного рыбоперерабатывающего предприятия приведена на рисунке 1.

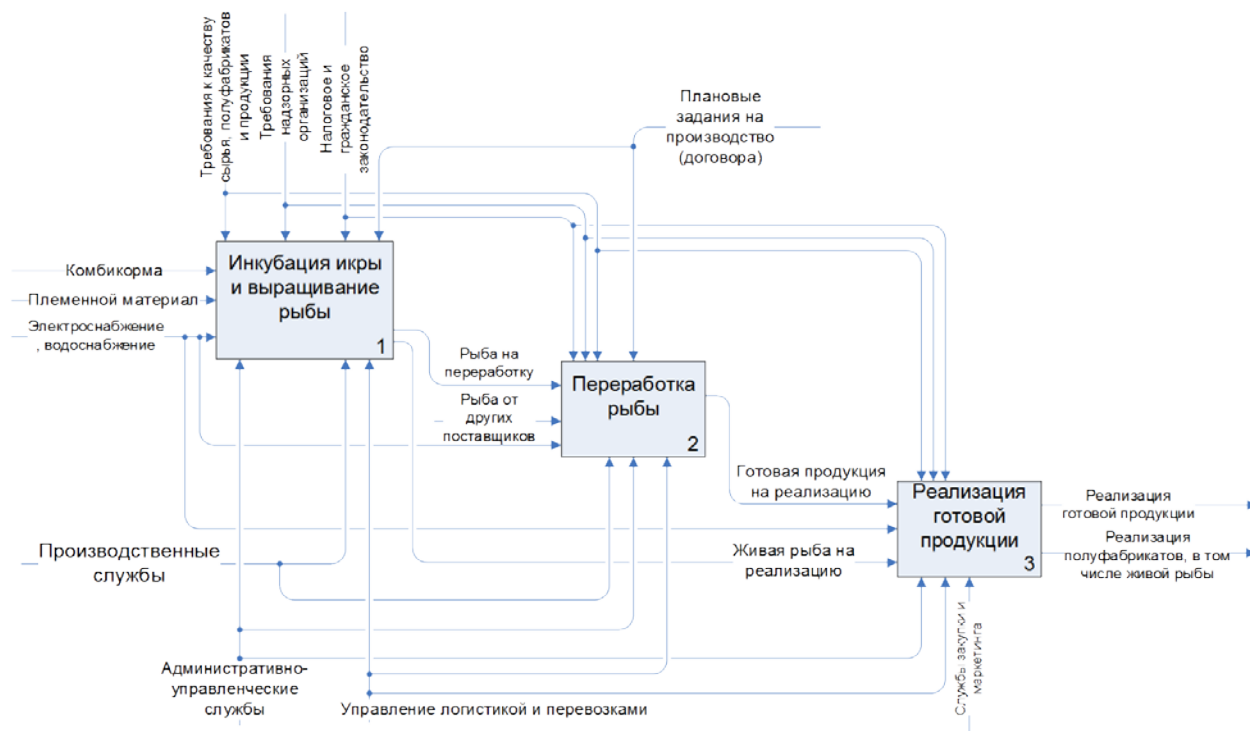


Рисунок 1 – Структурно-функциональная модель рыбоперерабатывающего предприятия

На основе изучения трудов вышеупомянутых ученых и специалистов в области комплексной автоматизации предприятий пищевой промышленности, а также на основе опыта работы коллектива работников крупного территориально-распределенного рыбоперерабатывающего предприятия – ООО «РИФ», производивших совместно с автором внедрение системы комплексной автоматизации можно сформулировать специфику рыбоперерабатывающего предприятия с позиции системы управления.

Несмотря на то, что рыбоперерабатывающее предприятие относится к предприятиям пищевой промышленности, оно дополнительно характеризуется следующими отличительными чертами:

1. Сезонность процессов в области инкубации икры и выращивании рыб определяется физиологией и биологией размножения (искусственного и естественного), интенсивностью питания в привязке к временам года и создает для предприятия напряженные периоды в течение года.

2. При этом процессы переработки и реализации переработанной продукции потребителям должны характеризоваться относительной стабильностью в течение всего года. При выращивании рыбы это приходится учитывать и создавать соответствующие запасы в специальных садках, выполняющих роль буфера между молодью рыбы и подразделениями рыбопереработки и потребителями. При этом возникает сложная задача логистики для эффективного управления системой, состоящей из нескольких подразделений выращивания рыбы, нескольких подразделений ее переработки, и нескольких точек сбыта готовой продукции (собственных и сторонних). Все это происходит в условиях территориальной разнесенности всех объектов, при этом к условиям содержания и транспортировки рыбы, как живой, так и охлажденной, предъявляются высокие требования.

3. В зависимости от партии качество выращенной рыбы может значительно отличаться из-за погодных условий (температуры) в сезоне и качества кормов, то есть имеет место быть большой разброс по показателям качества. Стабилизация качества входного сырья – рыбы, при ее выращивании, достигается надлежащим управлением сложной логистической цепочкой, состоящей из закупок кормов,

поддержания надлежащих параметров воды (температуры, содержания кислорода и минеральных веществ и др.), соблюдения правил вылова, первичной обработки и транспортировки. Передача охлажденной рыбы в подразделения переработки при соблюдении стабильности ее качества требует больших усилий от соответствующих работников предприятия, куда входят, помимо прочих, ихтиологи. Необходимо отметить, что при решении данной задачи средствами комплексной автоматизации доступен обширный технический опыт зарубежных стран, Германии, Финляндии, Норвегии и др. Стабилизация качества на этапе инкубации икры и выращивания рыбы затруднительна и даже нереализуема без применения автоматизации процессов в контексте ИАСУ, так как сложность взаимосвязанных процессов (рисунок 2) делает неэффективным применение разрозненных и автономных слабо интегрированных систем, которые часто содержат противоречивые данные.

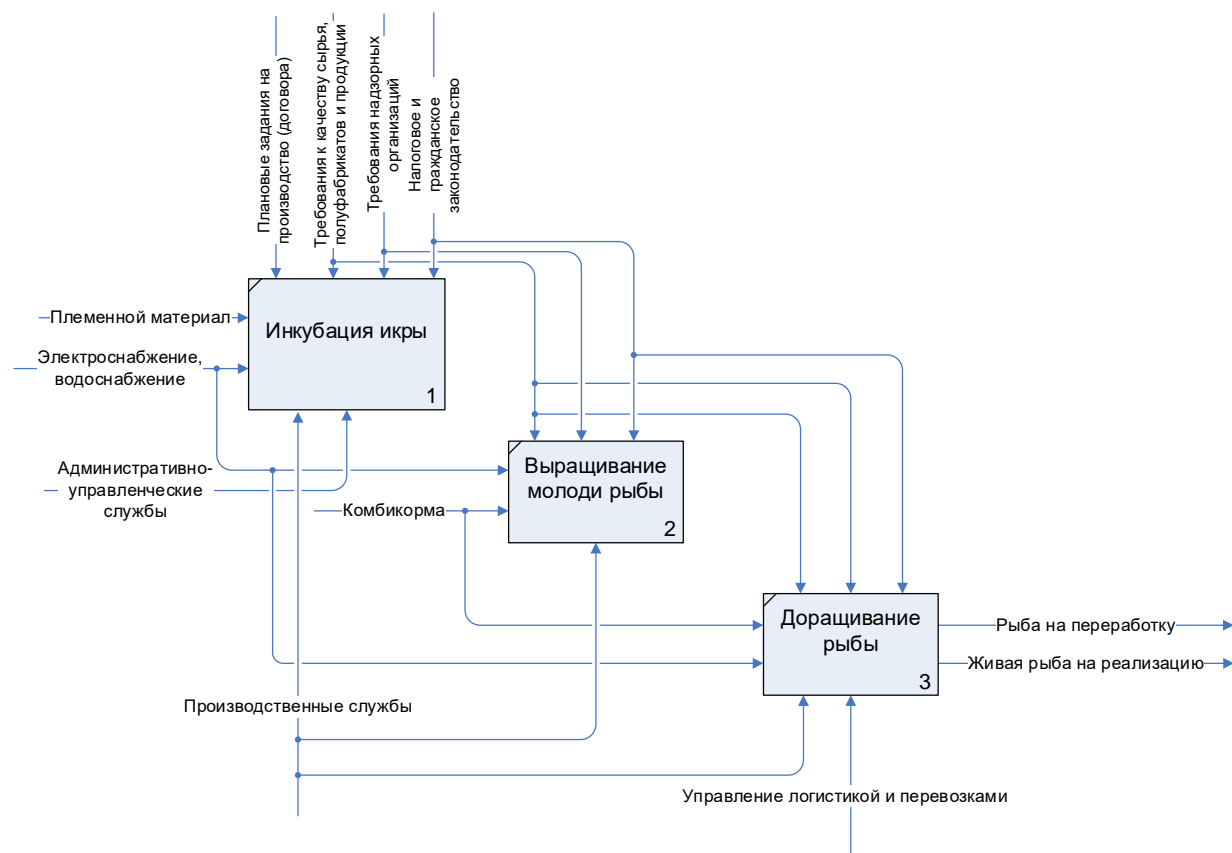


Рисунок 2 – Структурно-функциональная модель процесса выращивания рыбы

Наряду с этим контроль качества на всех этапах жизненного цикла требует измерения и записи в центральную базу данных ИАСУ соответствующей информации с датчиков и измерительных устройств. Это позволяет в дальнейшем расследовать инциденты, связанные с отклонением качества от стабильных показателей.

4. Рыбные продукты очень деликатные, что весьма усложняет комплексную автоматизацию производства – до сих пор еще многие операции выполняются вручную. Это приводит к необходимости разработки нестандартных решений, в которых ручной труд сочетается с применением современных высокотехнологичных программно-аппаратных комплексов.

5. Качество готовой продукции характеризуется большим количеством (до нескольких десятков) показателей, не только органолептических, но и касающихся микроэлементного состава, региона выращивания и др.

6. Рыба в процессе выращивания, доращивания, приемки подразделениями или потребителями разбивается на партии, количество которых может быть значительным, учитывая различные виды рыб и уровни качества внутри каждого вида. Партией рыбы может быть каждый садок при выращивании, емкость автомобильного рефрижератора при транспортировке (отгрузке и приемке), клеть при дозревании после горячего копчения. Поэтому на рыбоперерабатывающем предприятии учет рыбы ведется по партиям, что повышает требования к соответствующему программно-аппаратному обеспечению и усложняет задачу стабилизации качества. Для решения этой проблемы на всех этапах жизненного цикла при учете ценных пород рыб крупных размеров в настоящее время активно применяется чипирование при помощи RFID-меток, а именно стандарт UHF, который обеспечивает значительную (до 15 метров) дальность считывания, возможность одновременного считывания до 10 меток, возможность записи в метки информации размером до 512 бит.

7. Формирование крупных партий, необходимых для подразделений предприятия или внешних потребителей, осуществляется из мелких разнородных по качеству партий в рамках одного вида рыбы одинакового сорта (уровня

качества). Поэтому важной технологической операцией является смешивание и дозирование, причем это касается не только партий рыб, но и их кормов, а также готовой продукции. Решение этой задачи на уровне ИАСУ необходимо для стабилизации качества продукции.

8. Технологические процессы с рыбной продукцией на всех этапах являются поточными и включают в себя ряд операций, однако многие из них не являются непрерывными цепочками и разделены интервалами времени, иногда значительными. При отсутствии комплексной автоматизации невозможно сбалансированно управлять этими взаимосвязанными процессами, при этом значительно растет потребление электроэнергии и воды. Применение ПАК в контексте ИАСУ позволяет повысить энергосбережение и качество управления процессом, который насчитывает несколько технологических участков (рисунок 3).

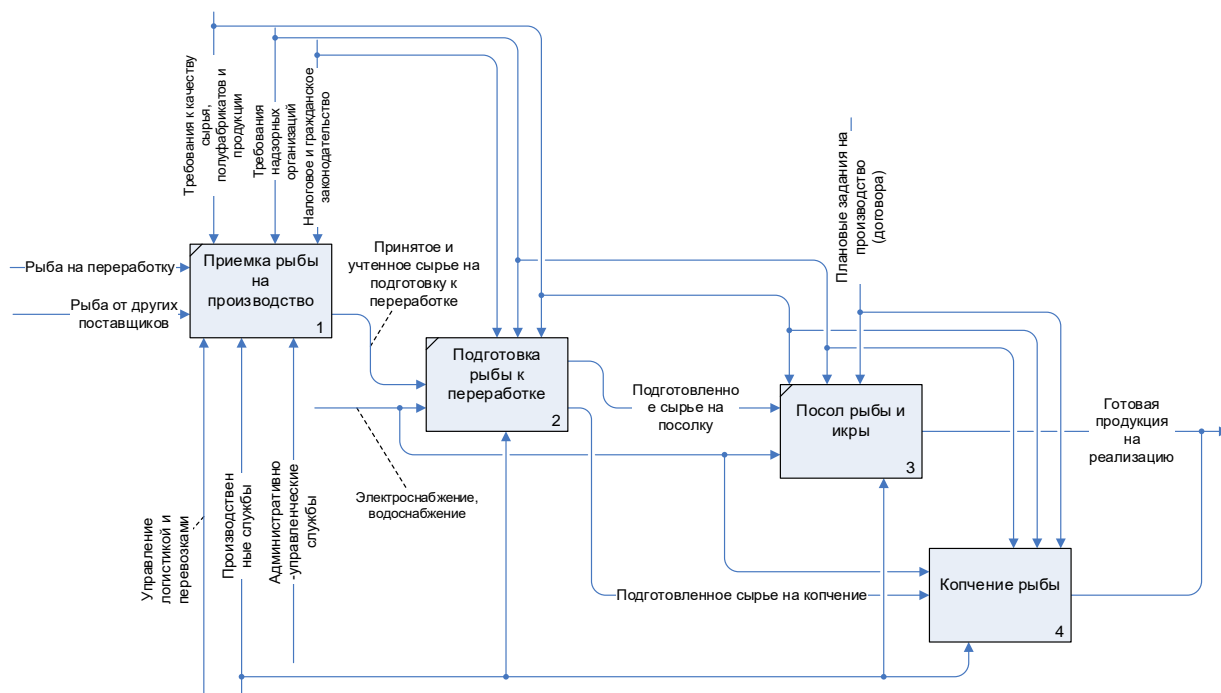


Рисунок 3 – Структурно-функциональная модель процесса рыбопереработки

Разработка общей математической модели всей системы – сложная проблема, поскольку объект должен быть описан некоторой системой дифференциальных уравнений в частных производных высокой размерности (каждая подсистема – примерно 14-20 фазовых переменных), при этом общее количество переменных составляет порядка 80-100. Даже если такая модель будет разработана, применение

ее на практике будет возможно только при задании всех размеров, материалов, вплоть до выбора радиусов изгибов трубопроводов. Поэтому в работе для выбранного технологического оборудования и исполнительных приводов целесообразно определить значения уставок регулируемых параметров, которые обеспечивают требуемый режим работы линии горячего копчения рыбы.

9. В процессе выращивания и доращивания, обработки, хранения рыбных продуктов происходит изменение их качественных и количественных характеристик, при хранении может изменяться температура, масса, влажность и другие параметры, что создает дополнительные сложности учета. То же касается нормирования отходов при переработке рыбы, их весового учета и рационального использования, например, при производстве рыбной муки для комбикормов. Такое безотходное производство позволяет повысить рентабельность предприятия.

10. В условиях территориальной распределенности производства, различных тарифов (в том числе с учетом времени суток) на электроэнергию и водные ресурсы необходима координация при загрузке мощностей, с учетом непрерывности некоторых участков технологических процессов. Эта задача может быть решена при помощи аналитического аппарата ИАСУ.

11. Реализация готовой продукции и живой рыбы состоит из большого количества взаимосвязанных процессов, нуждающихся в качественном управлении, большие требования при этом предъявляются к службе логистики (рисунок 4). Для принятия обоснованных управленческих решений высшему руководству необходима аналитическая информация, которая в надлежащие сроки может быть получена только из ИАСУ.

12. Рыбоперерабатывающее предприятие описанного формата функционирует в условиях жестких и противоречивых требований природоохранных структур, при этом в законодательстве не учтен целый ряд специфических моментов, например, связанных со статусом и использованием предприятием прибрежной береговой полосы, взаимоотношениями с торговыми сетями, которые часто навязывают невыгодную модель взаимодействия и др. Вообще говоря, многопрофильность в данном случае ведет к увеличению

контактов с проверяющими и контролирующими органами, с которыми приходится взаимодействовать, что тоже накладывает отпечаток на систему комплексной автоматизации и делает ее весьма специфичной, не позволяя слепо копировать опыт зарубежных коллег. Однако данная работа в большей степени посвящена техническим и технологическим аспектам комплексной автоматизации рыбоперерабатывающего предприятия.

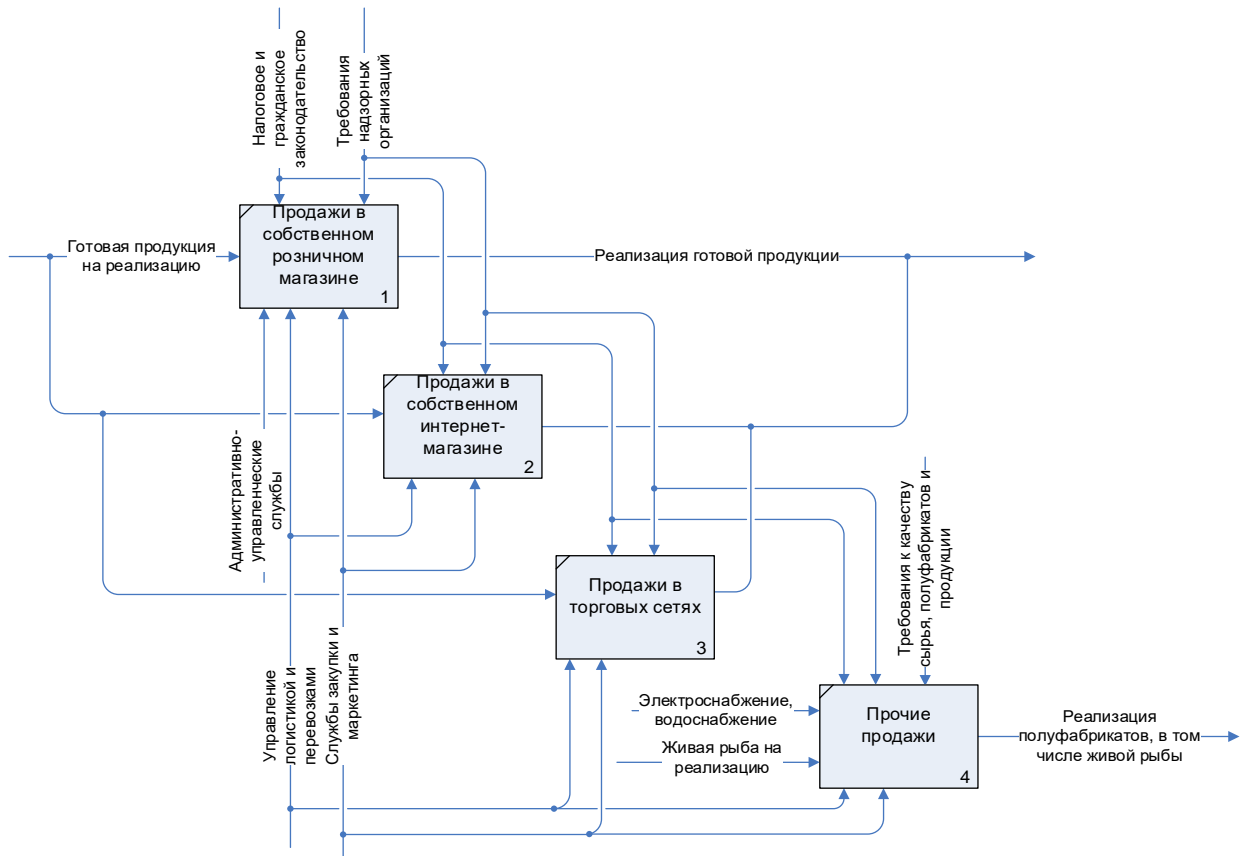


Рисунок 4 – Структурно-функциональная модель процесса реализации продукции

В настоящее время бурному развитию информационных технологий в сфере пищевой промышленности способствует научно-технический прогресс в области аппаратного обеспечения – средств вычислительной техники, и автоматического (мехатронного) оборудования, которые становятся все более надежными, мощными и доступными. Все большее развитие закономерно получает также программное обеспечение, в первую очередь операционные системы, в том числе с открытым исходным кодом. Ранее на предыдущих версиях таких программно-аппаратных комплексов с использованием различных сред разработки, в первую очередь C/C++, зарождались отдельные информационные подсистемы, которые

вскоре начали занимать свои позиции в едином информационном пространстве предприятий. Благодаря возникающим между этими подсистемами связям и интегративным свойствам, результирующая единая система получала совершенно новые функции, позволяющие управлять процессами более эффективно. Эти функции были и до сих пор еще остались на многих предприятиях, в том числе пищевых, в качестве прототипов систем поддержки принятия решений, позволяя лицам, принимающим решения, получать необходимую информацию в максимально короткий срок. При этом она стала более качественной, значительно улучшились ее полнота, достоверность, актуальность. Это повысило обоснованность принимаемых управленческих решений, и, следовательно, эффективность предприятия в целом.

Так сложилось исторически, что автоматизация многих направлений деятельности предприятия пищевой промышленности в настоящее время в некоторой степени монополизирована одной или несколькими информационными системами. В качестве примеров можно привести автоматизацию таких процессов как управление кадрами, финансовыми потоками, технологическими процессами, происходящими на оборудовании, как правило, зарубежного производства. В последнее время для этого все чаще используются системы на основе платформы 1С:Предприятие. Эти автоматизированные системы достаточно хорошо документированы, накоплен опыт их внедрения на многих предприятиях. Таким образом, при их применении можно фактически гарантировать в той или иной степени успешный результат. Данная работа построена лишь частично на анализе, описании и рассмотрении таких подсистем, гораздо более важная задача – выявить способ создания на их базе единого информационного пространства предприятия пищевой промышленности и разделить этот процесс на отдельные этапы. Особое внимание уделено вопросам организации взаимосвязей отдельных составляющих информационного пространства между собой, их интеграции, в том числе в режиме реального времени. При этом некоторые подсистемы получают статус главных, основных, остальные подсистемы будут иметь статус подчиненных. Одна из важных задач анализа объекта автоматизации – подробно рассмотреть эти связи,

улучшить их по определенным критериям, доказать, что сила и польза применения единого информационного пространства именно в повышении эффективности их функционирования, в их модификации (оптимизации).

Несмотря на важность и востребованность автоматизации административно-управленческой деятельности предприятия пищевой промышленности, его обеспечивающих процессов, особого внимания и соответствующих ресурсов требуют в первую очередь основные, производственно-технологические процессы. При этом необходимо учитывать общность критериев управления этими процессами и их взаимосвязи между собой.

Современное предприятие пищевой промышленности – это, прежде всего, высокотехнологичное пищевое оборудование, и в процессе его эксплуатации, при обслуживании и планово-предупредительных ремонтах необходимо использовать системы автоматизированного проектирования (САПР), интегрированные с различными расчетными системами (САЕ).

В настоящее время широкое распространение получили станки с числовым программным управлением, трехмерные принтеры, системы для создания статических и динамических объектов виртуальной реальности. В таком оборудовании используются виртуальные трехмерные модели, разработанные в вышеуказанных системах.

Более того, сложные изделия могут насчитывать в своем составе десятки и тысячи позиций, для управления этими инженерными данными и конструкторской документацией необходимо использовать системы класса PDM/PLM. Виртуальное трехмерное моделирование может входить составной частью в деятельность соответствующих подразделений предприятия пищевой промышленности, обеспечивая их взаимную интеграцию и преемственность технологий при введении в курс дела молодых специалистов.

Виртуальные трехмерные модели являются основой для создания мнемосхем мониторинга и управления производственно-технологическими и обеспечивающими процессами. Не вызывает сомнения, что в условиях необходимости импортозамещения остро требуются системы виртуального

трехмерного моделирования собственной разработки, это же касается систем, позволяющих работать с конструкторско-технологической документацией. Учитывая вышесказанное, в данной работе уделено некоторое внимание системам автоматизированного проектирования в пищевой промышленности и вопросам их применения при создании мнемосхем мониторинга и управления для производственно-технологических и обеспечивающих процессов предприятия.

Современное предприятие пищевой промышленности – это сложная организационно-техническая система управления, в которой активными элементами являются пользователи (руководители, административно-хозяйственный персонал, работники производства), многие параметры являются неопределенными (вероятностными, например, спрос на продукцию, или нечеткими, например, оценки качества по ранговой шкале), многие связи являются не функциональными, а опосредованными, условными (например, связь «потребительские свойства пищевой продукции – оценка»).

Система управления пищевым предприятием должна представлять собой единство организации, методов и средств, обеспечивающих достижение поставленных целей на основе решения требуемых задач.

Согласно представленной в работе методике системного анализа и проектирования анализ существующей системы управления процессами пищевого предприятия «как есть» включает в себя разработку структурно-функциональных моделей в нотации IDEF0 [59] с учетом «кусочной» автоматизации с применением различных, слабо интегрированных между собой автономных информационных систем, решающих локальные задачи учета.

До сих пор еще встречаются случаи ввода в эксплуатацию подобных систем не столько для автоматизации соответствующих процессов, сколько с целью выгрузки информации в вышестоящие системы, особенно в условиях крупных территориально-распределенных предприятий пищевой промышленности – концернов, холдингов и пр.

С помощью этих моделей для создания ИАСУ предприятия пищевой промышленности расставляются акценты и точки фокусировки, при этом

рассматриваемая система ограничивается от внешней среды. Разработанные модели также позволяют перейти к описанию внутреннего устройства ИС предприятия.

Нотация IDEF0 позволяет выполнять постепенную формализацию описываемых бизнес-процессов, увеличивая детализацию на каждом уровне сверху вниз, начиная с контекстной диаграммы верхнего уровня A0, на котором объект моделирования представлен единственным блоком с граничными стрелками

Декомпозиция этой диаграммы позволяет перейти к моделированию непосредственно технологических процессов, впрочем, тесно связанных с обеспечивающими (административно-хозяйственными) процессами.

Например, одним из основных требований, предъявляемых к СКУД предприятия пищевой промышленности, является включение ее в состав ИАСУ, содержащей данные, необходимые для принятия решения о допуске.

Фрагмент структурно-функциональной модели процессов рыбоперерабатывающего предприятия в области контроля доступа представлен на рисунке 5.

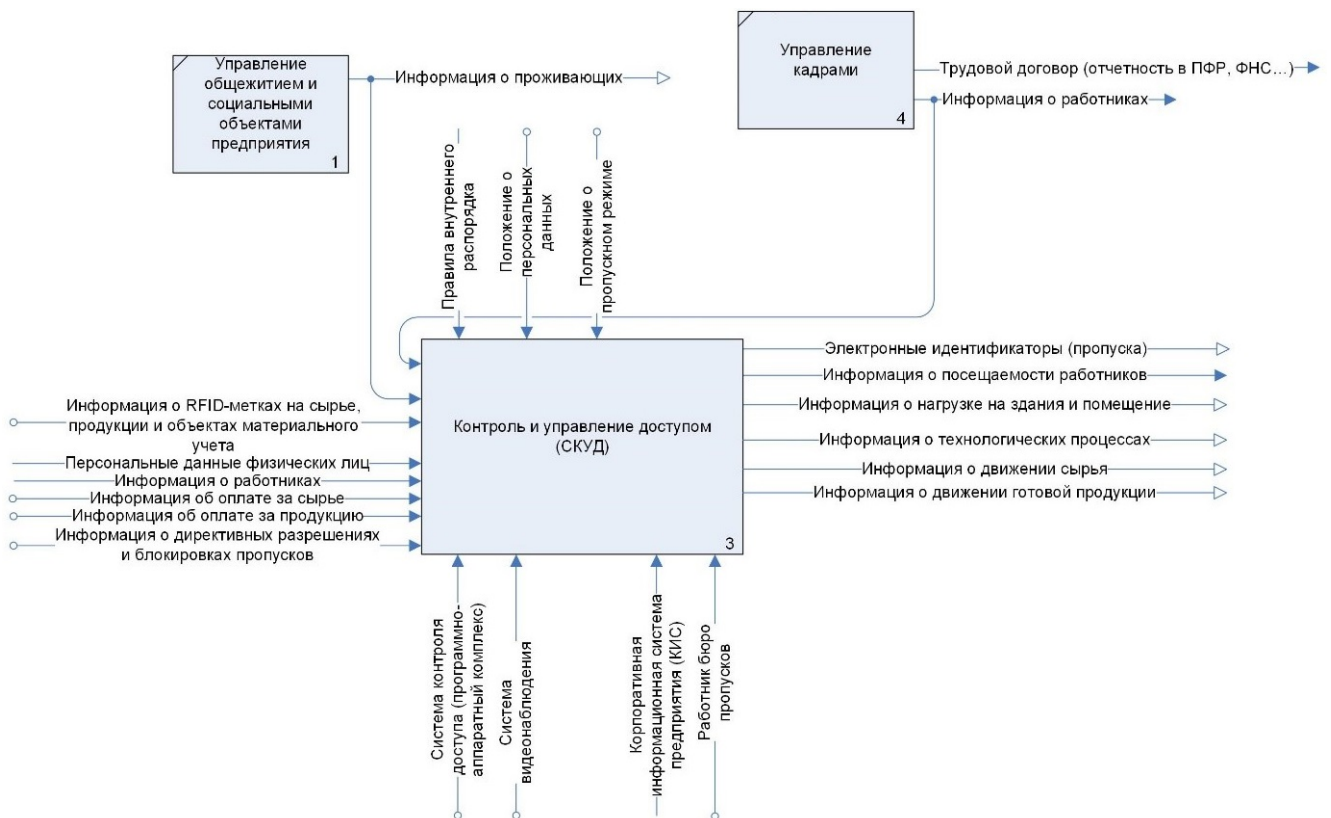


Рисунок 5 – Фрагмент структурно-функциональной модели контроля доступа

Системы комплексной автоматизации для предприятий пищевой промышленности представлены на рынке как зарубежными, так и отечественными производителями. Эти системы часто реализуются на базе промышленных платформ ERP – My SAP, Microsoft Dynamics, 1С:Предприятие и др. Системы отечественной разработки практически всегда изначально создаются с применением коммерческого зарубежного программного обеспечения. Более того, для их работы необходимы коммерческие серверные операционные системы и системы управления базами данных зарубежного производства. Все это программное обеспечение, как правило, отличается закрытой архитектурой. Высокая стоимость таких систем и политика импортозамещения значительно усложняют внедрение систем класса ИАСУ на промышленных предприятиях. Речь идет именно о системах класса ИАСУ уровня предприятия, которые не могут быть развернуты на пользовательских операционных системах, маломощных СУБД, таких как Microsoft Access, MySQL Server и др.

Однако к настоящему времени в этом направлении намечаются и положительные тенденции. Например, система комплексной автоматизации на базе платформы 1С:Предприятие может быть развернута на промышленной серверной операционной системе Linux и промышленной СУБД PostgreSQL, которые обладают открытой архитектурой. При таком варианте необходимо приобретение только самой платформы 1С:Предприятие, стоимость которой является достаточно доступной для большинства предприятий.

С другой стороны, на многих предприятиях пищевой промышленности системы на базе 1С:Предприятие уже применяются, прежде всего при управлении финансово-бухгалтерскими процессами, а также процессами управления кадрами. На данный момент количество инсталляций подобных решений в России превысило 1 млн., и это позволяет говорить о том, что платформа 1С:Предприятие стала, по факту, естественной монополией в данных областях деятельности.

Поэтому для предприятий пищевой промышленности представляется целесообразным использовать существующую развернутую инфраструктуру на базе платформы 1С:Предприятие для внедрения системы комплексной

автоматизации класса ИАСУ. Именно на это ориентирован развиваемый в диссертации подход. Одна из задач заключается в обеспечении преемственности информационных подсистем различных эшелонов предприятия, так как в настоящее время комплексная автоматизация редко реализуется «с чистого листа». Платформа 1С:Предприятие дает возможность сосредоточиться на решении задач, связанных с предметной областью, не занимаясь при этом низкоуровневыми проблемами взаимодействия с СУБД, разработкой подсистемы контроля прав доступа, собственного сервера приложений в случае применения трехзвенной архитектуры и пр.

Применение систем комплексной автоматизации актуально не только для крупных предприятий, малые предприятия за счет этого также могут значительно повысить свою эффективность (в случае доступной стоимости решений). В любом случае, система комплексной автоматизации для предприятия – это большая, сложная организационно-техническая система, оперирующая полным циклом выпускаемой продукции, для чего осуществляется автоматизированное управление соответствующими технологическими и обеспечивающими процессами. Это подразумевает необходимость системного подхода к разработке и внедрению, а также соответствующие технологические и финансовые возможности. Иначе говоря, комплексная автоматизация может оказаться неприемлемой на конкретном предприятии, например, по причинам его технологической либо финансовой неготовности.

На основании накопленной информации ИАСУ позволяет генерировать самые различные отчеты для высшего руководства, как в натуральном, так и в стоимостном выражении, делая тем самым управленческие решения обоснованными.

Система комплексной автоматизации помимо классификации процессов на производственно-технологические (основные) и обеспечивающие (административно-хозяйственные) позволяет концентрировать внимание на роли и месте каждого процесса в жизненном цикле продукции, а также на взаимосвязях процессов. При этом многие процессы выходят за границы соответствующих

подразделений и территорий, что делает применимым и эффективным матричное управление.

ИАСУ позволяет эффективно применять механизмы планирования, что помогает решать задачу увеличения доходов и уменьшения расходов. В качестве примеров планирования в ИАСУ можно привести план продаж, план производства, план закупок. При этом планы делятся на укрупненные и уточненные. Система комплексной автоматизации позволяет эффективно оперировать понятием горизонта управления и планирования – оперативным, тактическим, стратегическим.

Данная диссертация не относится к экономическим специальностям, однако при комплексной автоматизации взаимосвязанность процессов становится видна «как на ладони», то же касается их критериев управления. Производственно-технологические и обеспечивающие процессы очень сильно связаны именно с экономическими показателями. Один из первых вопросов, который задает руководство предприятия касательно ПАК и ИАСУ, является вопрос о функционале и стоимости. Наиболее распространенной целью предприятия пищевой промышленности, помимо социальных функций, обеспечения продовольственной безопасности и пр., является задача получения прибыли.

В настоящее время на рынке присутствуют и успешно продаются готовые решения для комплексной автоматизации предприятия, разработанные на базе платформы 1С:Предприятие. Это доказывает, что данная платформа может быть применена для реализации таких систем.

Одним из таких решений является система «1С:Рыбопереработка», разработанная фирмами 1С и «Палтусов». Необходимо отметить, что система является достаточно мощной, учитывает отраслевую специфику, имеет успешные внедрения.

Однако в случае ООО «РИФ» функционал системы на первом этапе оказался избыточным, более того, возникла задача интеграции с существующей учетно-статистической системой предприятия, вышедшей за рамки бухгалтерии и отдела кадров. Стоимость такой интеграции в несколько раз превышала стоимость самой

системы «1С:Рыбобпереработка». В этой связи необходимо отметить, что, к сожалению, подобные отраслевые решения разрабатываются в первую очередь с целью их продажи как можно более широкому кругу предприятий, на первое место ставятся универсальность и тиражируемость, а необходимость доработки под специфику конкретного предприятия даже приветствуется и специально несколько усложняется и бюрократизируется, опять же для получения дополнительной прибыли. В целом проблема аналогична рассмотренной выше ситуации с коммерческими СКУД. Также серьезным недостатком таких тиражируемых решений на данный момент является отсутствие в их составе ПАК автоматизации процессов. В связи с этим было принято решение создать для ООО «РИФ» ИАСУ на базе уже имеющейся на предприятии учетно-статистической системы на платформе 1С:Предприятие. При этом существующая система была модернизирована с использованием разработанной ИАСУ.

1.2 Выявление недостатков существующей системы автоматизации управления

Автоматизация управления крупным территориально-распределенным предприятием пищевой промышленности является, безусловно, комплексной задачей. В то же время и малое предприятие пищевой промышленности – это специфический объект внедрения, обладающий своими особенностями. К таким особенностям следует отнести сравнительно низкие финансовые возможности, при этом любая автоматизация требует затрат, в то время как высшее руководство требует, как правило, гарантированных результатов. Руководители на местах часто не желают брать на себя ответственность за результаты внедрения и опираются на протоколы совещаний рабочих групп и коммерческие предложения фирм-производителей аппаратного и программного обеспечения. До сих пор предпринимаются попытки внедрения даже на небольших пищевых предприятиях дорогостоящих коммерческих систем уровня ERP и им подобных, адаптированных, но изначально разработанных под другие области деятельности,

зачастую далекие от пищевой промышленности. Сторонники такого подхода, соглашаясь с его недостатками, в качестве достоинств приводят функционал и надежность подобных систем, а также уверенность в фирме-разработчике, при этом необходимость доработки под предметную область и специфику пищевой промышленности принимается как должное. Данная тема всегда вызывает бурную полемику, но в результате почти всегда оказывается, что метаданные таких систем модифицируются достаточно непросто, а готовые схемы изначально разрабатывались совсем для других областей деятельности. При этом накоплен сравнительно небольшой опыт внедрения таких систем на пищевых предприятиях, и каждое внедрение на сегодняшний день рискует получить статус поистине уникального, со всеми вытекающими из этого негативными последствиями.

Спрос на автоматизацию различных областей своей деятельности со стороны предприятий пищевой промышленности так или иначе всегда присутствовал. Результатом явилось появление базовых автоматизированных систем, своего рода конфигураций, созданных изначально для пищевых предприятий, и методик их внедрения. Появились целые научные школы, вышли в свет соответствующие учебники [20,21,42,73]. В последнее время в нашей стране сформировалась четкая тенденция, согласно которой информационные системы управления для пищевых предприятий разрабатываются на базе системы 1С:Предприятие и ей подобных, которые содержат в себе возможность конфигурирования по принципу «конструктора». Эти системы, изначально решающие локальные задачи учета, имеют перспективу стать учетно-аналитическими и, в будущем, системами поддержки принятия решений в рамках соответствующего программно-аппаратного комплекса. Разработчики такой системы для пищевого предприятия могут сосредоточиться непосредственно на автоматизации различных областей деятельности, не занимаясь вопросами низкоуровневой организации архитектуры системы, схемы хранения данных, прав доступа, и других сложных и затратных во всех смыслах задач, связанных с разработкой информационных систем. Отдельно следует выделить проблему защиты информации, связанные с этим вопросы регламентированы федеральным законом о персональных данных ФЗ-152 [105].

Получение сертификатов ФСТЭК (защита от несанкционированного доступа) и ФСБ (криптография и межсетевое экранирование) для информационной системы, разработанной самостоятельно – это весьма трудоемкая и дорогостоящая задача. Из вышесказанного видно, что единые системы для автоматизации пищевых предприятий, разработанные «с нуля», почти отсутствуют. Возможно, это объясняется тем, что пищевые предприятия, особенно малые, не обладают достаточными финансовыми возможностями, и тем самым не могут сформировать спрос на такие информационные системы, в то же время, не имея финансовых возможностей для привлечения специалистов, квалификация которых позволяет вести такую разработку. Конечно, эта ситуация не так однозначна, некоторые фирмы-разработчики программного обеспечения для пищевых предприятий начинали свою деятельность в том или ином вузе пищевого профиля, но это не меняет общей ситуации и тенденции в целом. Таким образом, не в последнюю очередь под влиянием экономических факторов сложилась практика разработки информационных систем для пищевых предприятий на базе платформы 1С:Предприятие с возможностью конфигурирования метаданных и сравнительно легкой реализацией алгоритмов на встроенном языке программирования.

В настоящее время экономическая ситуация в нашей стране и необходимость импортозамещения значительно упростили задачу критики зарубежных информационных систем для комплексной автоматизации предприятий пищевой промышленности. Но даже если исключить из рассмотрения эти два фактора, необходимо в любом случае принять во внимание следующее.

Значительную роль в комплексной автоматизации предприятия пищевой промышленности играет персонал. При выборе и разработке программно-аппаратных решений необходимо планировать не только их встраивание в уже имеющуюся инфраструктуру предприятия, но и кадровые вопросы. Проведенный анализ современных предприятий пищевой промышленности показывает, что предпочтительными являются программно-аппаратные решения, с которыми может работать существующий персонал предприятия, обладающий базовой инженерной подготовкой. Это обуславливает выбор промышленных решений с

открытой архитектурой, которые, помимо условно низкой стоимости, могут быть вертикально и горизонтально масштабированы силами предприятия.

В начале 1960-х годов, при значительном ускорении темпов научно-технического развития, резко выросло количество персонала, выполняющего функции контроля, принятия решений и координации в различных отраслях промышленности, в том числе в пищевой. Исследования, проведенные академиком В.М. Глушковым, показали, что к 1970-м годам численность таких сотрудников могла стать равной численности всего трудоспособного населения страны [33]. Остро встала задача разработки человеко-машинных автоматизированных систем управления (АСУ) во всех отраслях народного хозяйства, в том числе на предприятиях пищевой промышленности, при автоматизации технологических и обеспечивающих производственных процессов.

На многих предприятиях были начаты инициативные работы по разработке информационных систем. С их помощью руководство предприятий и их объединений получало информацию, которая помогала принимать более эффективные управленческие решения. Руководством СССР была осознана необходимость активизации таких работ, обобщения и систематизации их результатов, создания на их базе единой АСУ для всех промышленных предприятий страны.

По определенным причинам далеко не все области деятельности предприятия пищевой промышленности возможно автоматизировать в единой, целостной информационной системе. На практике единое информационное пространство любого предприятия состоит из различных информационных подсистем. Структурно некоторые подсистемы группируются вокруг одной (или нескольких) систем, занимая свое место в качестве подчиненных. Это может напоминать устройство вселенной, не случайно один из крупных коммерческих программных продуктов в области комплексной автоматизации называется «Галактика».

В качестве примера можно привести такие системы, как My SAP, OEBS (Oracle), Microsoft Dynamics, Галактика, 1С:Предприятие и другие. На основании

проведенного анализа есть возможность констатировать, что на данный момент на многих предприятиях пищевой промышленности происходит консолидация различных локальных автоматизированных систем вокруг своего рода основной, центральной системы (1С:Предприятие или другой). Необходимо заметить, что применение системы 1С:Предприятие в таких подразделениях предприятия, как отдел кадров или финансово-бухгалтерское управление (что очень часто и имеет место быть) автоматически делает ее кандидатом на «центральную» информационную систему, остальные системы, получают статус подчиненных. Следует отметить, что это не относится к большинству западных компаний, являющихся владельцами многих крупных отечественных предприятий пищевой промышленности (в этом случае центральными являются My SAP, OEBS, Microsoft Dynamics и другие крупные зарубежные системы). Тем не менее, 1С:Предприятие почти полностью заняла определенную нишу, образовав в ней, по сути, монополию. Это далеко не единственный случай в области автоматизации деятельности предприятия – например, многие предприятия общественного питания работают в системах «Рарус-общепит», «Iiko» и «R-keeper». В данной работе системе 1С:Предприятие уделено значительное место и внимание, но лишь потому, что она была выбрана в качестве базовой системы с возможностью конструирования, конфигурирования и программирования в конкретном комплексе пищевых мини-предприятий, на основании анализа и соответствия критериям, введение и обоснование которых будет рассмотрено ниже. Одной из сильных сторон данного решения является мощный базовый механизм платформы для реализации партионного учета, что является актуальным для предприятий рыбопереработки. Возможно применение и другой системы-конфигуратора в качестве базовой платформы, такая система – всего лишь часть модели, которая будет представлена в данной работе. Модель эта, безусловно, подлежит улучшению по определенным критериям. Архитектура и другие характеристики уровня ядра определены в базовой системе-платформе, и при создании информационной системы предприятия пищевой промышленности не меняются. На первый взгляд, в этом есть определенный недостаток, но, как показывает опыт,

большинство известных информационных систем спроектированы по одинаковой идеологии для решения универсальных технических задач. Не меняет дела придание по сути одним и тем же технологиям различных названий, использование различных операционных систем и СУБД. Более того, хорошая и мощная базовая система-конструктор, как правило, позволяет сравнительно легко выбрать определенную операционную систему для своего функционирования. То же касается web-сервера, СУБД, типов клиентских приложений и т.д.

Системы класса ИАСУ (или КИС) для предприятий пищевой промышленности принято делить на коммерческие и собственной разработки, однако в данной работе при классификации создаваемой ИАСУ ее возможно определить как симбиоз этих двух типов систем. С одной стороны – платформа ИАСУ является коммерческой (1С:Предприятие), однако ИАСУ является в некотором смысле децентрализованной, и помимо 1С:Предприятие в ней используется в качестве платформ система MOODLE (модульная объектно-ориентированная электронная образовательная среда) с открытым исходным кодом. MOODLE используется в качестве платформы для электронной образовательной среды предприятия (E-learning), являющейся компонентой ИАСУ. Эта компонента содержит в себе базу знаний предприятия, наравне с электронными учебными курсами для работников, в том числе для введения молодых специалистов в предметную область. При этом охватываются различные области деятельности – от сдачи обязательных экзаменов по технике безопасности до повышения квалификации и даже переподготовки. Также в качестве платформы используется программно-аппаратный комплекс системы контроля доступа и видеонаблюдения собственной разработки, реализованный на языках программирования С# и С/С++ с применением различных микрокомпьютеров, микроконтроллеров, датчиков, исполнительных устройств и пр.

Разработчики, хорошо знающие предметную область и специфику предприятия пищевой промышленности, имеют возможность сосредоточиться непосредственно на решении задач автоматизации бизнес-процессов, не занимаясь сложными вопросам низкоуровневого взаимодействия СУБД, серверов

приложений, клиентских интерфейсов. Выбранная модель компоновки ИАСУ из платформ различных типов (в том числе собственной разработки) является частью представленной в работе методики системного проектирования, структурирующей не только процессы моделирования и теоретической подготовки ИАСУ предприятия пищевой промышленности, но и подробно затрагивающей процессы ее разработки, внедрения, эксплуатации, развития.

Часто бывает, что разработчики программных продуктов, которые автоматизируют деятельность предприятия пищевой промышленности, говорят о специфичности предметной области, и даже о ее уникальности. Однако, это верно лишь в некоторой степени. Например, реализация ядра системы контроля и управления доступом является полностью стандартной, не отличающейся от других предметных областей. Отличие состоит только в способе принятия решения о возможности допуска – это решение принимается на основании информации из информационной системы предприятия, естественно, в режиме реального времени. Также отличительной особенностью СКУД предприятия пищевой промышленности является интегрированный контроль доступа и перемещений не только для персонала и объектов материального учета, но и для продукции на всех этапах ее жизненного цикла – от инкубации икры до реализации. Поэтому при наличии исходного кода ядра системы контроля и управления доступом адаптация этой системы под нужды предприятия не является настолько сложной задачей, как это может представляться вначале. Данный пример призван показать, что разработчики (или идеологи) единого информационного пространства предприятия пищевой промышленности обязаны на высоком уровне разбираться в предметной области, представлять, какие области деятельности будут автоматизированы теми или иными подсистемами, и как эти подсистемы будут связаны между собой. Также необходимо иметь четкое представление, какая система (или системы) будут выступать в качестве главной, то есть ядра единого информационного пространства. В случае применения облачных технологий ядро как таковое может отсутствовать, однако все равно имеет место быть слой бизнес-логики в виде распределенной мультисервисной структуры.

При рассмотрении предприятия пищевой промышленности в качестве объекта управления мы будем считать его сложной организационно-технической системой, состоящей из подсистем, решающих широкий круг задач и использующихся в различных подразделениях – автоматизация работы отдела снабжения, производства, сбыта, отдела кадров, бухгалтерии, службы планово-предупредительных ремонтов и обслуживания оборудования (применение систем автоматизированного проектирования), электронная образовательная среда предприятия (E-learning) и многие другие подсистемы и области деятельности предприятия. Все это образует автоматизированную систему управления единым информационным пространством предприятия пищевой промышленности. Эта система повышает эффективность функционирования предприятия, способствуя образованию более тесных связей между производственно-технологическими и обеспечивающими процессами не только на бумаге, но и на практике. При этом оба типа процессов используют единую инфраструктуру обеспечения.

Создать и внедрить полноценную интегрированную информационную систему управления, взаимодействующую в режиме реального времени с сотнями или даже тысячами экземпляров ПАК невозможно без ранее разработанных и внедренных прототипов, являющихся своеобразным фундаментом комплексной автоматизации. Пищевая промышленность оперирует процессами, которые могут длиться месяцами, и даже годами (созревание вина, выращивание рыбы), и в течение всего этого времени необходимо осуществлять управление с целью стабилизации качества. Поэтому нельзя говорить о комплексной автоматизации в контексте разработки соответствующих решений «с нуля», которые при апробации могут вызвать сбой процессов, что приносит убытки и даже может поставить под угрозу дальнейшее функционирование предприятия. Это касается не только ИАСУ, но и самих ПАК. Задача автоматизированного управления одновременно двумя типами процессов на одном экземпляре ПАК мало исследована, применение классических ПЛК для ее решения неэффективно по причине незрелости механизма многопоточности и функционала аппаратных прерываний. Можно констатировать, что в случае ПАК задача его разработки для пищевой

промышленности также не может быть реализована эффективно без наличия ранее созданных, проверенных на менее значимых процессах прототипов, по тем же причинам, что и ИАСУ, только на более низком уровне абстрагирования.

Обеспечивающие процессы сравнительно легко могут быть подвергнуты декомпозиции с целью дальнейшей частичной автоматизации, часто они представляют собой один и тот же многократно повторяемый процесс, что повышает эффективность разработки и отладки программно-аппаратных решений. При этом, как правило, не требуется дорогостоящих стендов для опытной эксплуатации. Напротив, при автоматизации технологических процессов, даже обладая качественными и адекватными математическими моделями, при апробации приходится в итоге работать с реальной пищевой продукцией, что приводит к соответствующим рискам и сложностям. Например, в случае процесса горячего копчения себестоимость одной загрузки (клетки) осетровых рыб составляет порядка 200 тыс. руб. Часто в качестве оправдания отсутствия результатов реального внедрения можно услышать, что на том или ином предприятии пищевой промышленности не разрешили провести эксперимент по внедрению нового решения, чтобы не поставить под угрозу течение технологических процессов. При этом эксперимент мог быть хорошо подготовлен с теоретической точки зрения, имелись все основания ожидать положительный результат. Для решения выше описанных проблем существует, как минимум, два варианта.

Первый вариант предполагает приобретение соответствующих программно-аппаратных решений у известных производителей, чья репутация проверена временем. Однако, особенно в случае малых предприятий, эти решения имеют неоправданно высокую стоимость, функционал их часто либо недостаточен, либо избыточен, без возможности приобретения промежуточной версии. Элементная база подобных решений в большинстве случаев реализована на зарубежных компонентах, с большинством фирм-производителей которых невыгодно работать из-за высокой стоимости вследствие текущего курса валют, и, что не менее актуально, требований политики импортозамещения.

Важное значение играет также предложение Минпромторга о введении заградительных пошлин на пищевое оборудование зарубежного производства. Учитывая, что доля импортного оборудования в отдельных отраслях (и предприятиях) пищевой промышленности, по самым скромным оценкам, составляет 70-100%, проблема создания аналогичного оборудования отечественного производства и соответствующих средств автоматизации имеет большую актуальность. Все вышеизложенное приводит к рассмотрению второго варианта.

Второй вариант, как результат поиска решения проблем первого варианта, подразумевает выполнение разработки решения силами предприятия, с привлечением в команду разработки выпускников вузов пищевого профиля, умеющих работать на стыке специальностей, готовых учиться самостоятельно и перенимать знания у существующих опытных работников производства. Сформированный таким образом коллектив, как показал опыт подготовки диссертации, может, непрерывно обучаясь, успешно решать задачи комплексной автоматизации.

В качестве аппаратной части для современных доступных решений в данный момент возможно приобрести недорогую элементную базу с открытой архитектурой, в том числе производства России и КНР [61,71]. Такие микрокомпьютеры недорогие и весьма надежные: зафиксирован случай бесперебойной работы промышленного ПАК более 2-х лет (приложение 2). В случае дополнительных требований к надежности за счет низкой стоимости возможна реализация аппаратной избыточности (дублирования).

Что касается программного обеспечения, то данные и аналогичные им микрокомпьютеры полностью поддерживают работу с широко используемыми в промышленности языками программирования C/C++, а также с языками более высоких уровней абстрагирования, например, C#.

В качестве платформы для ИАСУ на данный момент стоит рассмотреть систему 1С:Предприятие, которая давно выросла по функционалу из класса бухгалтерских систем и приближается к классу ERP.

Эффективную комплексную автоматизацию предприятия пищевой промышленности невозможно рассматривать без квалифицированного персонала. Множество соответствующих проектов были в той или иной степени неудачными именно по причине недостатка системности в подходе к работе с персоналом, обеспечения преемственности, создания базы знаний предприятия, предоставления возможности непрерывного обучения и повышения квалификации. Такую возможность предоставляет компонента ИАСУ – электронная образовательная среда.

Электронная образовательная среда успешно применяется не только в вузе, но и на предприятии пищевой промышленности, сочетая в себя базу знаний, систему повышения квалификации и переподготовки без отрыва от производства, проверочную систему по технике безопасности и др. В качестве ЭОС имеет смысл обратить внимание на MOODLE.

Отдельного внимания заслуживают датчики и другие измерительные устройства, необходимые для решения задач автоматизации. Благодаря научно-техническому прогрессу и конкуренции производителей в данный момент происходит неуклонное снижение их стоимости при повышении качества и надежности. Например, датчик концентрации углекислого газа в атмосфере МН-Z19 [35] на данный момент имеет стоимость 1500 руб., а полгода назад он стоил 7000 руб.

ПАК автоматизации и ИАСУ не могут быть абсолютно универсальными, в любом случае их ограничивает специфика той отрасли промышленности, где они будут применяться. Хотя в диссертации объектами исследования являются разработанные ПАК и ИАСУ, они рассматриваются исключительно в привязке к управлению процессами предприятия пищевой промышленности. Примеры процессов выбраны по принципу «от более простого к сложному», «от меньшего к большему». В диссертации рассмотрены три проекта, или этапа (и соответствующие им процессы), связанные с автоматизацией предприятий пищевой промышленности при помощи разработанных ПАК и ИАСУ (рисунок 6).

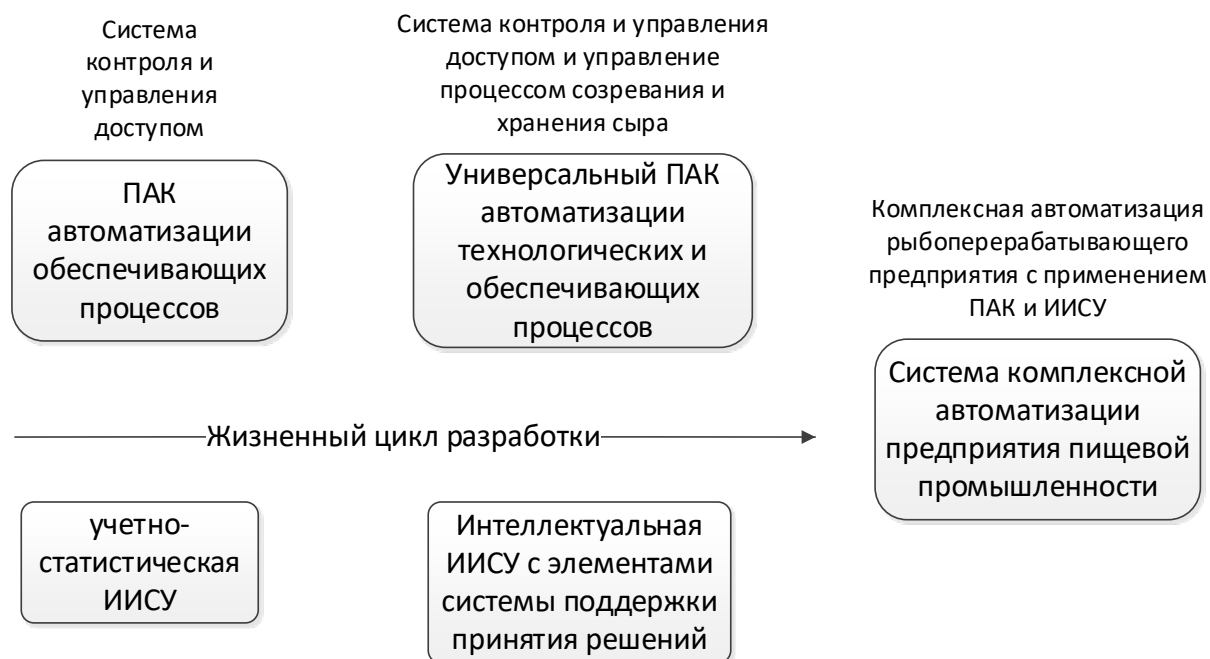


Рисунок 6 – Этапы автоматизации технологических и обеспечивающих процессов с применением разработанных ПАК и ИАСУ

1 этап. На первом этапе, в качестве примера управления обеспечивающими процессами предприятия пищевой промышленности, была выбрана система контроля и управления доступом (СКУД), функционирующая в составе ИАСУ. Решение было разработано и введено в промышленную эксплуатацию. В течение 6 лет проводилась непрерывная модернизация и развитие ПАК, всего было выпущено 8 версий. К настоящему времени разработанная СКУД в составе ИАСУ является надежным, масштабируемым решением с открытой архитектурой.

2 этап. На втором этапе, ПАК СКУД был применен в качестве прототипа для универсального ПАК автоматизации не только обеспечивающих (СКУД, управление освещением, управление водоснабжением и др.), но и технологических процессов на примере управления процессами созревания и хранения твердых сортов сыра. Исходный ПАК был подвергнут значительной доработке для решения задачи одновременного управления этими взаимосвязанными процессами. Также при решении задач интеграции в режиме реального времени были внесены значительные изменения в программное обеспечение ИАСУ. Именно на этом этапе ИАСУ стала представлять собой не только учетно-статистическую систему, но и интеллектуальную, имеющую в своем составе модель поддержки принятия

решений на основе гибридной нейросетевой модели: для обеспечения автономной работы при потере связи с ИАСУ копия такой обученной сети стала размещаться непосредственно на разработанных в рамках второго этапа экземплярах ПАК, которые являются, по факту, нечеткими регуляторами. В качестве фреймворка нейронной сети было применено программное обеспечение TensorFlow, обладающее открытой архитектурой. По результатам второго этапа было разработано универсальное программно-аппаратное решение для управления взаимосвязанными производственно-технологическими и обеспечивающими процессами, взаимодействующее в режиме реального времени с ИАСУ.

3 этап. В настоящее время многие предприятия пищевой промышленности реализуют концепцию «от фермы до прилавка», например, ОАО «Черкизовский мясоперерабатывающий завод», ЗАО «Микояновский мясокомбинат», ООО «РИФ» и др. Речь идет об управлении полным жизненным циклом выпускаемых продуктов питания и интегрированном управлении соответствующими взаимосвязанными производственно-технологическими и обеспечивающими процессами. Реализация такой концепции является фундаментом комплексной автоматизации предприятия, ее методологической базой. К сожалению, стоимость таких решений «под ключ», особенно зарубежных, является слишком высокой для большинства предприятий пищевой промышленности.

Реализация третьего этапа была начата, когда второй был завершен примерно на 80%. Был обобщен опыт предыдущих этапов, и на его основе проработана и реализована комплексная автоматизация и управление протяженными во времени производственно-технологическими и обеспечивающими процессами территориально-распределенного рыбоперерабатывающего предприятия – ООО «РИФ». Эта компания в полной мере реализует концепцию «от фермы до прилавка» при управлении процессами на всех этапах жизненного цикла – от инкубации икры рыб ценных пород до продажи готовой продукции в собственных магазинах и сторонних розничных сетях.

В процессе реализации третьего этапа было уделено значительное внимание надежности и автономности универсального ПАК. Например, при автоматизации

процессов выращивания ценных пород рыб (осетр, сиг, форель) в специализированных кормушках, находящихся в открытых природных водоемах Валдая и Карелии, были решены задачи повышения энергоэффективности, надежности за счет дублирования некоторых датчиков и даже исполнительных устройств. Это потребовало внесения значительных изменений как в аппаратную, так и в программную часть универсального ПАК, многочисленных экспериментов в реальных условиях. Новая версия ПАК позволила осуществлять идентификацию ценных пород рыб и готовой продукции при помощи меток UHF-RFID.

Необходимо отметить, что использование предыдущих, ранее разработанных ПАК позволило не решать локальные задачи, связанные с устранением ошибок и реализацией базового функционала, а сосредоточиться на решении проблем предметной области. Второй и третий этапы оперировали технологиями и решениями, прошедшими апробацию на предыдущих этапах.

При этом управление многими процессами не потребовало значительных изменений в ПАК. Предложенная в диссертации методика создания ПАК и ИАСУ показала свою эффективность. Заложённая универсальность позволила после соответствующей доработки и адаптации применить его при управлении самыми различными обеспечивающими и производственно-технологическими процессами предприятия – от управления турникетами и электронными замками, до управления процессами копчения рыбной продукции и ее доставки в розничные сети.

Разработанная на предыдущих этапах ИАСУ была интегрирована с существующей на предприятии системой 1С:Предприятие. При этом был применен накопленный научно-практический опыт разработки и внедрения ИАСУ в ФГБОУ ВО «МГУПП». Вследствие большого объема изменений в результате была реализована новая версия ИАСУ, третья по счету за всю историю разработки.

Управление обеспечивающими процессами предприятия пищевой промышленности в данном исследовании рассматривается на примере системы контроля и управления доступом. Система контроля и управления доступом управляет важнейшими процессами предприятия, хотя они и относятся к категории

обеспечивающих. Достаточно часто говорится, что театр начинается с вешалки, а предприятие пищевой промышленности – не с производственных линий и технологических процессов, а с электронной проходной.

Интеллектуальная СКУД – это не только турникеты и электронные замки, это контроль перемещения персонала, объектов материального учета, сырья и продукции на всех этапах жизненного цикла, возможность получения аналитических отчетов и рекомендаций по принимаемым управленческим решениям.

Имеющиеся коммерческие системы контроля доступа объединяет закрытость протоколов и структуры собственной базы данных, большая стоимость как программной, так и аппаратной части, построение архитектуры систем в угоду повышению результирующей стоимости за счет введения дополнительных модулей (например, отсутствие возможности подключения считывателей магнитных карт непосредственно к контроллеру). Специалисты на местах, эксплуатирующие систему, не имеют возможности ее модернизировать, развивать, ввиду закрытости архитектуры, любое нововведение ведет к длительному согласованию с фирмой-разработчиком решения и большим финансовым затратам. В результате покупка такого решения приводит к привязке к определенному производителю (вендору) и дальнейшей работе на его условиях.

Специфика крупного предприятия такова, что системе контроля доступа для эффективной работы при принятии решения о допуске необходима информация из вышестоящей единой информационной системы. Это задача успешно решается посредством интеграции ПАК и ИАСУ в режиме реального времени. Это требует микро-ЭВМ, обладающей значительными вычислительными ресурсами наравне с наличием современных промышленных интерфейсов.

Необходимо отметить, что на российском рынке присутствуют не только зарубежные программно-аппаратные комплексы, наравне с ними представлено значительное количество решений отечественной разработки. В качестве примеров можно привести программно-технические комплексы на базе программируемых

логических контроллеров отечественной разработки «УМИКОН», «ОВЕН», «ДЕКОНТ», «КОНТАР», «КРУГ-2000», «КРУИЗ», «ТЕКОН», и многие другие.

К сожалению, многие из этих ПЛК обладают недостаточной гибкостью, и, несмотря на заявленную отечественную разработку, созданы на элементной базе производства США, Японии, европейских стран. Под недостаточной гибкостью, прежде всего, необходимо отметить отсутствие возможности программно задать определенную цифровую или аналоговую линию в качестве входной или выходной. Это явилось одной из причин отказа от реализации ПАК на микроконтроллере, и замены его на микрокомпьютер, где задача задания направления линии является предельно простой (рисунок 7). Цена на такие ПЛК на данный момент находится в районе 30000 руб. [85], что достаточно дорого, особенно с учетом того, что заявленная цена не включает в себя датчики и исполнительные устройства, а также программное обеспечение для настройки, и функционирования в качестве вышестоящей информационной системы.

BCM	wPi	Name	Mode	V	Physical	V	Mode	Name	wPi	BCM
		3.3v			1 2			5v		
12	8	SDA.0	ALT5	0	3 4			5V		
11	9	SCL.0	ALT5	0	5 6			0v		
6	7	GPIO.7	ALT3	0	7 8	0	ALT3	TxD3	15	13
		0v			9 10	0	ALT3	RxD3	16	14
1	0	RxD2	ALT3	0	11 12	0	ALT3	GPIO.1	1	110
0	2	TxD2	ALT3	0	13 14			0v		
3	3	CTS2	ALT3	0	15 16	0	ALT3	GPIO.4	4	68
		3.3v			17 18	0	ALT3	GPIO.5	5	71
64	12	MOSI	ALT4	0	19 20			0v		
65	13	MISO	ALT4	0	21 22	0	ALT3	RTS2	6	2
66	14	SCLK	ALT4	0	23 24	0	ALT4	CE0	10	67
		0v			25 26	0	ALT3	GPIO.11	11	21
19	30	SDA.1	IN	1	27 28	1	IN	SCL.1	31	18
7	21	GPIO.21	OUT	1	29 30			0v		
8	22	GPIO.22	OUT	1	31 32	1	ALT2	RTS1	26	200
9	23	GPIO.23	IN	0	33 34			0v		
10	24	GPIO.24	IN	0	35 36	1	ALT2	CTS1	27	201
20	25	GPIO.25	OUT	1	37 38	1	ALT2	TxD1	28	198
		0v			39 40	1	ALT2	RxD1	29	199

Рисунок 7 – Визуализация типа линий, их направления и текущего состояния на микрокомпьютере Orange Pi One

Вызывает сожаление, что в подавляющем большинстве курсовых и даже выпускных квалификационных работ во многих вузах пищевого профиля данные ПЛК рассматриваются классически, как трехуровневая система. Такое же деление принято производителями ПЛК.

1. «Полевой уровень» - датчики, прочие измеряющие устройства, исполнительные устройства, конвертеры сред и интерфейсов.

2. «Уровень микроконтроллера» - ядро системы управления, для управления технологическими процессами посредством получения информации с датчиков и устройств измерения.

3. «Уровень АРМ» - АРМ технолога или иного специалиста, контролирующего технологических процесс.

В этой классификации присутствуют два основных недостатка.

Во-первых, на второй уровень устанавливают не микрокомпьютер с полноценной промышленной операционной системой, промышленной СУБД, мощным процессором, большим объемом оперативной памяти, а более дешевый микроконтроллер, для программирования которого необходимо использовать специализированную среду разработки, изучать соответствующий язык программирования, нюансы компиляции и пр. Является очевидным, что микрокомпьютеру доступен гораздо больший объем задач промышленной автоматизации, чем микроконтроллеру (ПЛК).

Во-вторых, на третий уровень традиционно выводятся АРМ специалистов, различные мнемосхемы мониторинга и управления. Это программное обеспечение как правило является автономной, закрытой разработкой фирмы-производителя, внесение в него каких-либо изменений и улучшений силами предприятия пищевой промышленности не допускается. Для повышения эффективности работы предприятиям пищевой промышленности необходимо применять на третьем уровне не локальные, автономные АРМ визуализации и контроля технологических процессов, а вышестоящие информационные системы класса ИАСУ. Такая возможность хотя и декларируется производителями программно-технических комплексов (ПТК) в рекламных буклетах и на своих сайтах, по факту используется на практике только зарубежными производителями в крупных, дорогостоящих ПТК. Также декларируется возможность интеграции с различными вышестоящими информационными системами, некоторые ПТК обладают прикладным программным интерфейсом (API), однако наряду с весьма небогатым

функционалом такие предложения отличает весьма высокая стоимость лицензий. Является очевидным, что для эффективной работы ПАК автоматизации должен изначально проектироваться для работы в режиме реального времени с вышестоящей интегрированной информационной системой управления. В случае аварии на линиях связи должна быть предусмотрена возможность автономной работы, при этом качество управления процессами и журналирования не должны деградировать.

Микрокомпьютер с исполняемой на нем промышленной операционной системой может решать задачу визуализации процессов на соответствующих мнемосхемах при помощи широко распространенного, открытого протокола SNMP. Стоимость подобных микрокомпьютеров ненамного превышает, а часто равна стоимости обычных ПЛК.

Разработка собственной СКУД является необходимым этапом в комплексной автоматизации предприятия и является своеобразным экзаменом для разработанных и внедренных на этом этапе ПАК обеспечивающих процессов (СКУД) и ИАСУ.

Именно эти решения, прошедшие промышленную апробацию, в дальнейшем могут быть адаптированы к управлению более критичными к надежности и стабильности процессами – производственно-технологическими.

Известны различные способы автоматического управления процессом копчения рыбы. Один из способов [75] включает в себя измерение влажности, расхода и температуры сырья после каждой стадии термообработки, а также измерение температуры и расхода теплоносителя с возможностью коррекции параметров.

На первой стадии сушки рыбы воздух подогревается в конденсаторе теплонасосной установки, а затем в теплообменнике-рекуператоре за счет теплоты отработанного коптильного дыма. Коптильный дым используется для проварки рыбы и копчения, затем поступает в теплообменник-рекуператор.

Охлаждение рыбы осуществляют в замкнутом контуре по охлажденному воздуху в испарителе теплонасосной установки. Часть отработанного

охлажденного воздуха из замкнутого контура направляют на смешивание с коптильным дымом, подаваемым с проварки на копчение.

В данном способе учитывается стабилизация параметров теплоподвода при всех стадиях обработки рыбы – воздух подают сначала на подогрев в конденсатор теплонасосной установки, далее в теплообменник-рекуператор, и затем в камеру подсушки рыбы; охлаждают рыбу воздухом, полученным после охлаждения его в испарителе теплонасосной установки; способ предусматривает подачу части отработанного охлажденного воздуха на смешивание с коптильным дымом после проварки с подачей образовавшейся дымовоздушной смеси на копчение.

Однако в рассматриваемом способе существуют следующие недостатки:

- отмечается невысокая температура коптильного дыма, что снижает скорость процесса варки;
- проварка рыбы коптильным дымом не обеспечивает равномерную гидротермическую обработку продукта;
- низкая энергетическая эффективность теплонасосной установки за счет организации подсушки в замкнутом цикле по воздуху с последовательным его осушением в рабочей секции испарителя и подогревом в конденсаторе;
- отсутствие двух секций испарителя с возможностью попеременной работы в режиме конденсации и регенерации;
- отсутствие автономной системы подготовки насыщенного пара для осуществления процесса проварки и регенерации секции испарителя.

Поэтому Остриковым А.Н. и соавторами [77] был усовершенствован способ управления процессом горячего копчения рыбы, который включает подогрев воздуха в конденсаторе теплонасосной установки и в теплообменнике-рекуператоре и подачу его в камеру подсушивания. Оттуда отработанный воздух попадает в двухсекционный испаритель теплонасосной установки. Необходимо отметить эффективную работу двухсекционного испарителя, так как рабочая и резервные секции работают попеременно в режиме конденсации и регенерации. Также предусмотрен парогенератор для получения насыщенного пара – часть пара подается в камеру проварки, другая часть направляется на регенерацию

охлаждающей поверхности резервной секции испарителя. Отработанный пар попадает в теплообменник-рекуператор для нагрева воздуха, который подается в камеру подсушки, образовавшийся при этом конденсат отводят в сборник конденсата и оттуда попадает обратно в парогенератор.

Потоки воздуха после подсушки и охлаждения рыбы объединяются и подаются в рабочую секцию испарителя, после которой охлажденный воздух делится на 2 потока, один из которого направляют на подогрев и в камеру подсушки рыбы, второй – в камеру охлаждения.

Сам этап копчения проводится в соответствии со способом автоматического управления процессом копчения рыбы [76].

Лыткиной и соавторами [78] был предложен способ горячего копчения рыбной продукции с использованием пароэжекторной холодильной машины в состав которой входит эжектор, испаритель, холодоприемник, теплообменник-рекуператор, конденсатор, терморегулирующий вентиль, парогенератор и сборник конденсата.

Полученный в парогенераторе пар под давлением направляют в сопло эжектора, создавая при этом в испарителе пониженное давление и температуру. Образовавшуюся смесь паров хладагента и рабочего пара направляют в конденсатор для предварительного подогрева воздуха.

Охлажденный и осушенный воздух подается на подогрев в конденсатор пароэжекторной холодильной машины, а затем в теплообменник рекуператор, где он продолжает нагреваться за счет тепла отработанного насыщенного пара после камеры проварки.

Часть воды из конденсатора направляют в испаритель, а другую вместе с конденсатом, образованным при охлаждении воздуха в холодоприемнике, отводят сначала в сборник конденсата, а затем в парогенератор с образованием замкнутого цикла. Сам процесс копчения остается неизменным по способу [76]

В то же время использование пароэжекторной холодильной машины не традиционно, а обслуживание компрессора не является трудозатратным. Задачи энергосбережения в способе [77] оправдано. Таким образом в настоящей работе

автоматизация способа приготовления рыбы горячего копчения будет проводится по данному процессу.

Экземпляры ПАК, посредством которых осуществляется управление процессом горячего копчения рыбы, являются неотъемлемой частью системы комплексной автоматизации предприятия, и работают совместно с вышестоящей информационной системой, при этом осуществляется двусторонний обмен информацией.

1.3 Постановка задачи создания интегрированной автоматизированной системы управления

Текущая экономическая ситуация в стране и задача импортозамещения буквально заставляет предприятия пищевой промышленности искать более доступные средства промышленной автоматизации. Однако требования к функционалу, качеству и надежности таких решений не просто остаются такими же, как к коммерческим зарубежным аналогам, они непрерывно повышаются.

В процессе работы над диссертацией были проведены исследования в области создания мнемосхем мониторинга и управления для визуализации процессов предприятия пищевой промышленности. Классические мнемосхемы реализуются в двухмерной проекции, часто без возможности движения и масштабирования объектов. В случае создания мнемосхем для визуализации одновременно технологических и обеспечивающих производственных процессов такая визуализация неудобна и ненаглядна. На данный момент является перспективным использование на мнемосхемах виртуальных трехмерных моделей пищевого оборудования, производственных помещений, датчиков, исполнительных устройств и пр. Такие модели, разработанные в САПР, наглядны и удобны в работе, при этом доступны операции масштабирования, изменения положения в пространстве, выполнения по команде необходимых разрезов и сечений. Все это позволяет повысить эффективность применения мнемосхем мониторинга и управления на предприятиях пищевой промышленности.

В качестве примера на рисунке 8 приведена мнемосхема фильтра отработанного коптильного дыма, разработанная в рамках диссертации.

Выбор второго и третьего уровней не в последнюю очередь обусловлен тем, что разработка, модернизация и развитие ПАК автоматизации и ИАСУ могут (и должны) осуществляться силами предприятия пищевой промышленности.

То же касается эксплуатации, планово-предупредительных замен и ремонтов, постановок экспериментов при развитии и модернизации ПАК с целью повышения эффективности процессов. ИТ-служба предприятия пищевой промышленности, работая совместно с технологами, работниками производства, способна эффективно решать подобные задачи с точки зрения качества, стоимости, времени.

При разработке представленного в работе ПАК и ИАСУ были применены знакомые специалистам пищевого предприятия по типовому учебному плану инженерной подготовки элементная база, среды и языки программирования, операционные системы, СУБД, предложена методика создания ИАСУ силами предприятия.

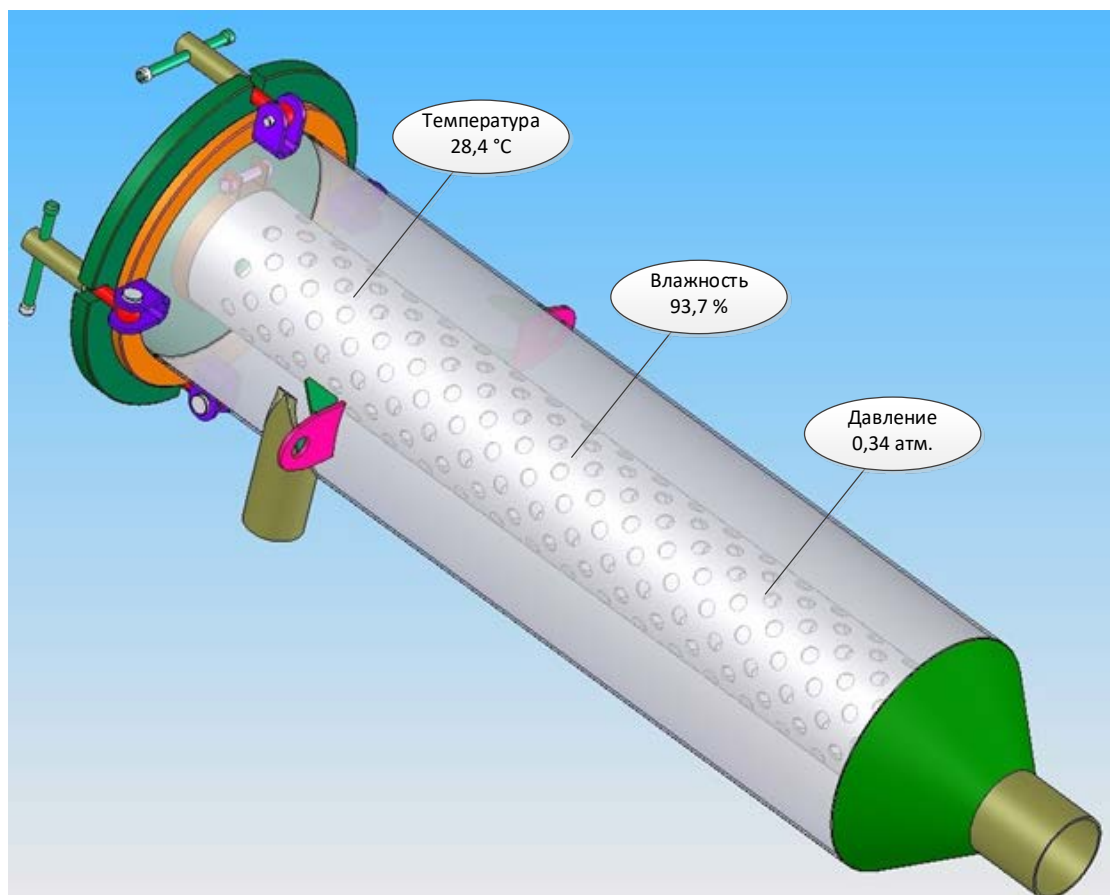


Рисунок 8 – Фрагмент мнемосхемы фильтра отработанного коптильного дыма

Разработанный ПАК автоматизации обеспечивающих процессов был апробирован и впоследствии введен в промышленную эксплуатацию в рамках системы контроля и управления доступом. В настоящее время существуют инсталляции, центральный журнал событий которых насчитывает свыше 20 млн. записей, при этом время бесперебойной работы отдельных экземпляров ПАК составляет порядка одного года.

Все вышесказанное позволило использовать данное решение в качестве прототипа для разработки универсального ПАК автоматизации производственно-технологических и обеспечивающих процессов, функционирующего в качестве компоненты интегрированной автоматизированной системы управления. Управление производственно-технологическими процессами плохо сочетается с научными экспериментами и разработками, затрагивающими при отладке течение процесса, так как в случае неизбежных на первых порах ошибок и отклонений под угрозу будет поставлена работа всего предприятия. Создание тестового стенда часто сопряжено с большими техническими сложностями и отличается высокой стоимостью, так как при этом необходимо почти полностью воссоздать то или иное производственное оборудование. Учитывая вышесказанное, разработка ПАК автоматизации производственно-технологических процессов «с нуля» является сложно реализуемой и малоэффективной задачей. Однако, при наличии полностью проверенного временем, вполне работоспособного, надежного прототипа ПАК задача сводится к его адаптации и доработке под задачи конкретного производственно-технологического процесса. Является немаловажным то, что работники производства пищевого предприятия, могут быть ознакомлены с правилами эксплуатации ПАК заранее, у них будет возможность освоить решение, высказать замечания и пожелания по его улучшению. С другой стороны, ИТ-служба предприятия может также заранее ознакомиться с тем или иным технологическим процессом, проверить на уже работающем прототипе функционирование некоторых датчиков, начать разработку и отладку программы ядра ПАК. Все эти мероприятия позволят разработать универсальный ПАК автоматизации производственно-технологических и обеспечивающих процессов

силами предприятия пищевой промышленности без угрозы отклонения производства от намеченного плана.

Это достигается, в том числе, за счет общности обеспечивающих инфраструктур в технологических и обеспечивающих процессах предприятия пищевой промышленности. Например, идентификационные метки RFID и UHF-RFID, применяемые в системе контроля и управления доступом, также применяются в процессе производства сыра при его созревании и хранении для учета, сортировки, контроля маршрутов движения каждой единицы продукции [125]. Такое решение в значительной мере оптимизирует технологический процесс и повышает его эффективность. Данная реализация повышает эффективность предприятия за счет общности в обеспечивающей инфраструктуре технологических и административно-хозяйственных процессов. Прежде всего речь идет об инфраструктуре опорной сети передачи данных.

В рамках диссертационного исследования были детально изучены три организации и их автоматизированные системы управления. Также изучались публикации по теме работы, автор посещал соответствующие профилю исследования научно-практические конференции, вел дискуссионные беседы со специалистами в области автоматизации предприятий пищевой промышленности. Было бы довольно опрометчиво говорить о наличии исчерпывающих задач, решение которых приведет к созданию «серебряной пули» - эффективной системы комплексной автоматизации любого предприятия [70]. В настоящее время в нашей стране насчитываются десятки тысяч предприятий пищевой промышленности, и для того, чтобы оценить каждое с позиции качества автоматизации бизнес-процессов, необходимо лично его посетить, а в идеале – поучаствовать в разработке и внедрении соответствующих проектов. Конечно, на первое место в этих процессах выходит квалификация персонала, программное и аппаратное обеспечение все же не так важны, более того, они являются результатами деятельности конкретных специалистов, образующих команду предприятия. Существуют примеры создания эффективных информационных систем и соответствующих программно-аппаратных комплексов при сравнительно

небольшом финансировании и возможностях штатного расписания [6]. Также часто встречаются прямо противоположные ситуации, когда при значительных вложениях в проект отдача, мягко говоря, оставляет желать лучшего. Существует мнение, что уровень конкретного предприятия является отражением уровня его руководителей, не только в области информационных технологий, но и во всех областях [45]. Предприятие пищевой промышленности, и, следовательно, система его управления, как объект исследования содержит в себе множество противоречий. Это касается, прежде всего, задачи повышения качества производимой продукции при все растущих требованиях снижения ее стоимости. В данной работе вопросы эффективного управления современным предприятием поднимаются лишь опосредованно, в контексте аспектов создания, внедрения и эксплуатации представленной ИАСУ. Пользователи этой системы – высшее руководство предприятия, остальные работники и практиканты – являются ее частью, своего рода компонентой. При этом ИАСУ, выступая в качестве учетно-аналитической системы, и в некоторых случаях – в качестве системы поддержки принятия решений – дает возможность пользователям принимать обоснованные и более эффективные, нежели в условиях информационной недостаточности, управленческие решения.

На основании исследований, проведенных в первой главе, были сформулированы основные проблемы, стоящие перед современным предприятием пищевой промышленности и препятствующие его эффективной работе.

Одной из основных проблем, возникающих в процессе создания эффективной системы управления, является отсутствие бесшовной (в режиме реального времени) интеграции между разрозненными, автономными информационными системами, решающими локальные задачи регистрации фактов (учета) и, как это не парадоксально звучит, задачи ручного обмена информацией (часто односторонней) между собой и с вышестоящими организациями. В результате часто возникает такая ситуация, когда вышестоящие организации обладают более актуальной информацией о конкретном предприятии, чем его руководитель. Отсутствие единой информационной системы на предприятии

пищевой промышленности ведет к тому, что пользователям приходится выполнять большое количество рутинных операций, часто в ущерб качеству технологических и обеспечивающих производственных процессов. Многочисленные отчеты, справки, карточки, планы, ведомости – вот далеко не полный список документов, которые требуют заполнения. Более того, в разрозненных автономных системах накапливаются ошибки вследствие отсутствия связей между объектами метаданных и многократных рутинных операций ручного ввода. ИАСУ позволяет решить эту проблему, предлагая, по сути, большой структурированный распределенный информационный реестр предприятия пищевой промышленности с гибкой системой управления правами доступа. С некоторыми оговорками можно утверждать, что ИАСУ реализует технологию блокчейн [127]. Наравне с ИАСУ снизить количество рутинных операций помогает также ее компонента – универсальный ПАК автоматизации технологических и обеспечивающих производственных процессов. Необходимо отметить, что совместно с разработанной ИАСУ могут функционировать сотни, или даже тысячи экземпляров ПАК, что позволяет решать задачи комплексной автоматизации системно и эффективно.

Напротив, отсутствие на предприятии пищевой промышленности единой информационной системы не дает возможности сбалансировано распределять ресурсы между конкурирующими ветвями дерева целей – совершенствованием технологических процессов, развитием материально-технической базы, повышением заработной платы, развитием ИАСУ и универсального ПАК автоматизации производственно-технологических и обеспечивающих процессов. Более того, в условиях информационной недостаточности, или даже вакуума, возникает ситуация, когда невозможно равномерно распределить задачи между работниками, не говоря уже о балансе между технологическими и обеспечивающими процессами и прочей деятельностью. Руководителю такого предприятия приходится терять много времени и принимать решения, не подкрепленные полной, достоверной и актуальной информацией.

Исходя из вышеизложенного сделана следующая содержательная постановка задачи исследования.

На основании системного анализа производства как объекта автоматизации управления и выявленных недостатков существующих решений, состоящих из разрозненных и автономных информационно-управляющих систем, для территориально-распределенного рыбоперерабатывающего предприятия необходимо разработать модели и алгоритмы интегрированного управления автоматизированными производственно-технологическими и обеспечивающими процессами, а также алгоритм поэтапной разработки универсального ПАК. На их основе необходимо разработать функциональные схемы автоматизации и внедрить универсальный ПАК и включающую его ИАСУ данным типом предприятия. Такое решение позволит более эффективно управлять качеством продукции и повысить управляемость и рентабельность рыбоперерабатывающего предприятия в целом.

Выводы по главе 1

Проведен анализ производства рыбоперерабатывающего предприятия как объекта автоматизации с разработкой соответствующих структурно-функциональных моделей. Представлена классификация процессов предприятия пищевой промышленности, в качестве примера производственно-технологического процесса в составе системы комплексной автоматизации подробно рассмотрена автоматизация процесса горячего копчения рыбы. В качестве примера обеспечивающего процесса рассмотрена система контроля и управления доступом.

Проведен анализ существующих систем управления и ПАК автоматизации производственно-технологических и обеспечивающих процессов для предприятий пищевой промышленности. Выявлены недостатки и проблемы существующих ПАК автоматизации, в том числе связанные с взаимодействием в режиме реального времени с вышестоящей ИАСУ.

По результатам анализа существующих патентов определены направления развития и улучшения модели автоматизации процесса горячего копчения. С целью повышения эффективности процесса для его управления обоснована необходимость разработки единого ПАК, оперирующего общим пространством параметров, управляемых устройств и входной информацией с датчиков. При этом ПАК должен функционировать в составе ИАСУ, реализуя двусторонний обмен информацией. ПАК должен обладать значительными вычислительными ресурсами и предусматривать масштабирование, как горизонтальное, так и вертикальное. Это позволит на практике исключить нерациональное использование ресурсов, повысить энергоэффективность и стабилизировать качество выпускаемой продукции.

На основании обозначенных недостатков и проблем их устранения дана содержательная постановка задачи исследования.

2. Анализ и синтез интегрированной автоматизированной системы управления

2.1 Описание методики системного анализа и проектирования

Создание и внедрение ИАСУ на предприятии неэффективно или даже невозможно без применения апробированной методики, которая при должной формализации и декомпозиции делится на соответствующие алгоритмы. Методика системного анализа и проектирования ИАСУ (рисунок 9) сформулирована на основании методологии общесистемного проектирования, подробно описанной в трудах профессора Новицкого В.О. [63,64,65,66,67,68].

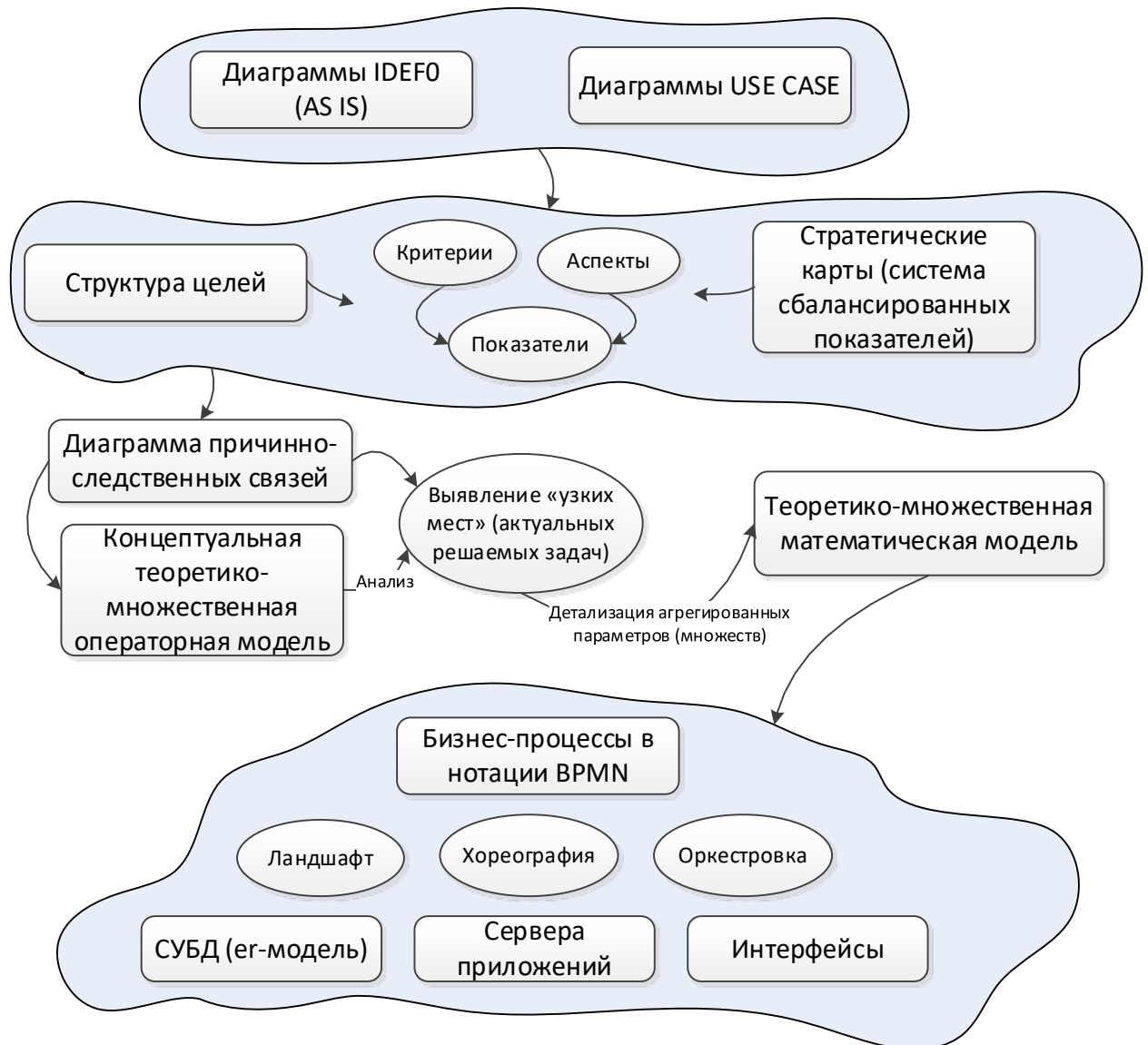


Рисунок 9 – Методика системного анализа и проектирования ИАСУ

Согласно предложенной методике создание ИАСУ начинается с изучения предметной области, построения диаграмм вариантов использования Use Case, построения структурно-функциональных моделей в нотации IDEF0 («как есть»).

Определяются элементы системы и выполняется их параметризация. С учетом функциональных диаграмм разрабатывается структура целей ИАСУ (главная цель – подцели – задачи – функции – операции). На основании структуры целей разрабатываются диаграммы причинно-следственных связей и стратегические карты по методике системы сбалансированных показателей (ССП). После выявления узких мест системы, определения критериев и разнесения их по четырем аспектам (продукция и клиенты, финансы, внутренние бизнес-процессы, обучение и развитие) методикой предусмотрено построение диаграмм бизнес-процессов в нотации BPMN 2.0 («ландшафт», «хореография», «оркестровка») [123,105], которые служат основой для разработки бизнес-логики, ER-моделей СУБД, серверов приложений и программного обеспечения клиентских интерфейсов.

2.2 Когнитивное моделирование

Любую систему определяет цель, которая вниз по иерархии доводится до конкретных задач и действий по ее достижению. Разработанная в качестве примера структура целей ИАСУ предприятия пищевой промышленности (до уровня задач) приведена на рисунке 10. Подобная разработка может быть выполнена силами работников предприятия пищевой промышленности.

Описание разработанной ИАСУ как сложной системы методами строгой формализации на сегодняшний день малоэффективно. Комплекс внешних возмущений, составляющий проблематику предприятия пищевой промышленности, весьма разноплановый и сложно прогнозируем. Согласно накопленному опыту в области моделирования технологических и обеспечивающих процессов предприятия пищевой промышленности предпочтительным является применение системного анализа как компромисса

между опытом и интуицией с одной стороны и строгой формализацией моделей с другой. В этом случае предложенная методика системного анализа – методика системного проектирования систем управления – является инструментом постепенной формализации для итерационного создания все более адекватных и более строго формализованных моделей предприятия пищевой промышленности.

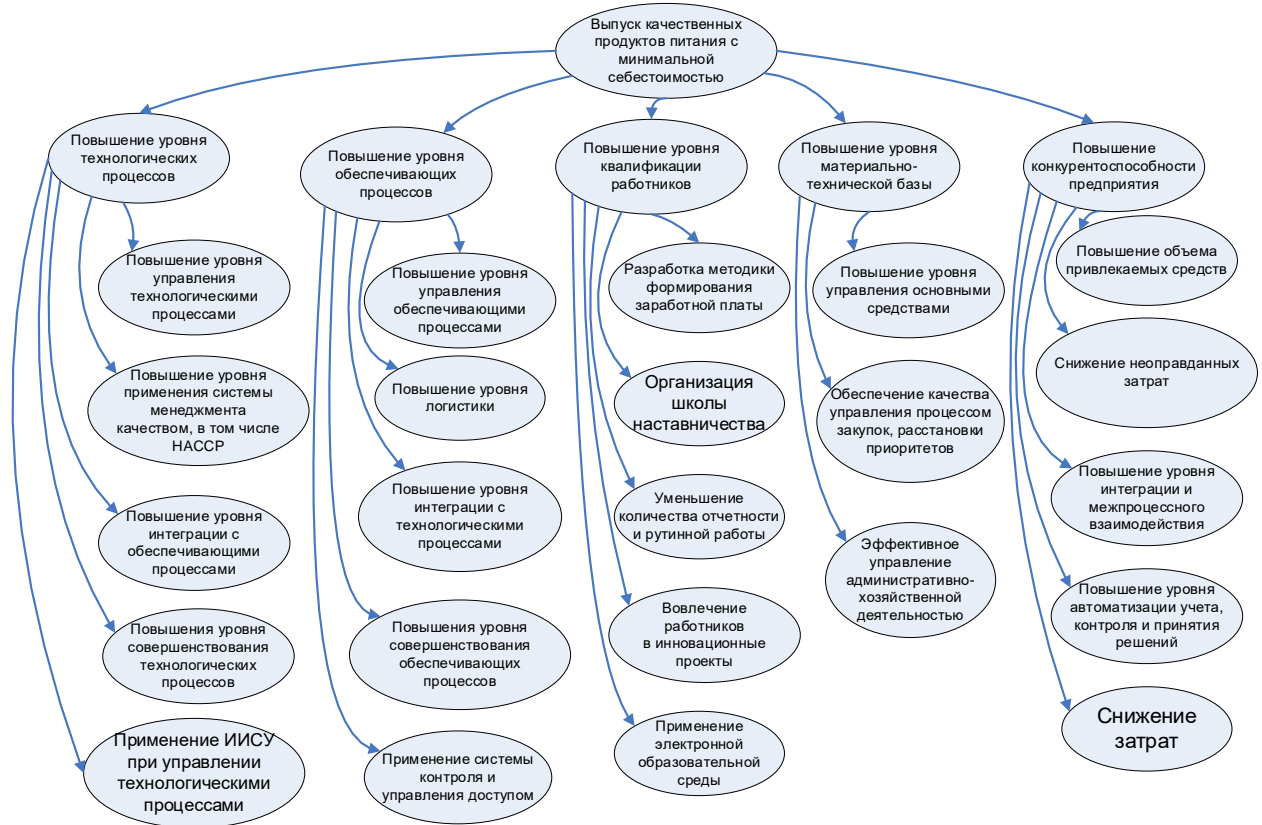


Рисунок 10 – Структура целей ИАСУ предприятия пищевой промышленности

Главная цель и подцели разработанной структуры целей ИАСУ, как правило, являются целевыми функциями, а задачи, функции и операции – различными ограничениями, задающими область допустимых значений. Подцели находятся между собой в определенных зависимостях.

После анализа разработанной структуры целей главная цель системы может быть сформулирована следующим образом: «обеспечение выпуска качественной пищевой продукции при максимально низкой себестоимости за счет повышения эффективности технологических и обеспечивающих производственных процессов, в том числе посредством разработки и внедрения интегрированной автоматизированной системы управления предприятия пищевой промышленности».

Назначение системы (требования)

Управление интегрированными между собой процессами предприятия пищевой промышленности. В контексте управления основными (производственно-технологическими) процессами необходимо также обеспечить эффективное управление обеспечивающими (административно-хозяйственными) процессами.

Обеспечение интеграции производственно-технологических и обеспечивающих процессов между собой.

Обеспечение дополнительного выгодоприобретения производственно-технологических процессов от обеспечивающих и наоборот за счет интегративных свойств ИАСУ.

Основные функции системы

1. Матричное управление производственно-технологическими и обеспечивающими процессами (осуществляется в условиях, когда подразделения предприятия пищевой промышленности сгруппированы по структурно-функциональному признаку, при этом бизнес-процессы пересекают границы этих подразделений и соответствующих областей деятельности). Особое внимание уделяется общности в обеспечивающей инфраструктуре и комплексах критериев управления процессов.

2. В контексте управления производственно-технологическими процессами предприятия пищевой промышленности необходимо также обеспечить эффективное матричное управление обеспечивающими процессами.

3. Функционирование ИАСУ не только в качестве учетно-статистической, но и в качестве аналитической, имеющей в своем составе модули системы поддержки принятия решений (СППР). Данные модели реализованы, в том числе, на базе нейросетевых технологий с применением программного обеспечения Tensor Flow.

4. Мощный механизм получения отчетности, с возможностью пользовательской гибкой настройки.

5. Беспшовная интеграция в режиме реального времени с производственным оборудованием, системой контроля доступа и видеонаблюдения, электронной образовательной средой.

Перечень элементов и их параметры

Вопрос определения элементов и их параметров неоднозначен. С учетом выбранного уровня абстрагирования (вся ИАСУ предприятия пищевой промышленности) возникают определенные сложности отнесения объектов системы к элементам или компонентам. При повышении уровня абстрагирования теряется проблематика, при понижении – ухудшается интерпретация вследствие большого количества мелких деталей.

1. Правовое обеспечение – совокупность правовых норм, определяющих юридический статус ИАСУ в правовом поле, обязанности и ответственность пользователей, порядок обработки персональных данных. К ним относятся законы, указы, постановления государственных органов власти, приказы, инструкции вышестоящих организаций. Параметры: юридическая правильность, актуальность, адресность, выполнимость.

2. Организационное обеспечение – совокупность методов и средств, регламентирующих функционирование ИАСУ, взаимодействие пользователей с ИАСУ и между собой (СМК, положения, регламенты, стандарты, технические условия, приказы, распоряжения, инструкции, протоколы, акты и др.). Параметры: техническая правильность, полнота, актуальность, адресность, выполнимость.

3. Математическое обеспечение – методологии, модели, алгоритмы, методики, на основе которых реализуется структура целей ИАСУ. Параметры: целенаправленность, адекватность, точность, экономичность, дискретность, детерминированность.

4. Техническое обеспечение – средства вычислительной техники, обеспечивающие функционирование ИАСУ. Параметры: вычислительная мощность (скорость передачи, объемы хранения, масштабируемость), надежность, энергоэффективность, ремонтпригодность, совместимость с другими СВТ и программным обеспечением, стоимость, количество единиц.

5. Программное обеспечение (ПО) – среды виртуализации, операционные системы, СУБД, ПО бизнес-логики, клиентские приложения, ПО бизнес-моделирования, офисное ПО, ПО опорной сети передачи данных, ПО для разработчиков (среды программирования), специализированное ПО (программные продукты для автоматизации технологических и обеспечивающих процессов, электронная образовательная среда, система контроля доступа и видеонаблюдения и др.), системы автоматизированного проектирования и др. Параметры: функциональность, удобство работы, надежность, качество, совместимость с другим ПО и СВТ, стоимость, количество лицензий (рабочих мест).

6. Информационное обеспечение – совокупность метаданных, системы категорирования, классификации и кодирования информации, схем информационных потоков ИАСУ. Транспортные накладные, приказы по предприятию, заявки на производство, логистические документы, регистры на оси времени и др. Параметры: соответствие метаданных предметной области, взаимосвязанность объектов метаданных между собой, технологичность (удобство технической реализации) модели метаданных, количество и объем документов, количество дублируемой информации, количество зарегистрированной и в дальнейшем неиспользованной информации.

Базовая классификация системы: искусственная (ИАСУ создана людьми, ее элементами являются искусственно созданные объекты).

Классификация с позиции управления [64]

По природе элементов: смешанная (ИАСУ представляет собой совокупность реальных активных элементов (пользователи) и абстрактных элементов (бизнес-процесс с моделью другого процесса)).

По происхождению: искусственная (ИАСУ создана с участием человека).

По длительности существования: переменная (система на протяжении своего существования меняет свои свойства, в том числе под действием комплекса внешних возмущений). Классификация ИАСУ как переменной системы обусловлена, прежде всего, ее развитием – запуск в производство новых, качественных продуктов питания, разработкой документации, стандартов,

технических условий и др.; создание новых структурных подразделений, производственных участков, например, сыроварни в составе завода по производству молока или новой технологической линии горячего копчения рыбы.

По степени сложности: сложная организационно-техническая система управления [28], в которой активными элементами являются пользователи (работники предприятия пищевой промышленности), многие параметры являются неопределенными (вероятностными, например, качество сырья, органолептические оценки продукции оценки по ранговой шкале); многие связи являются не функциональными, а опосредованными, условными (например, связь «сырье – продукция»).

По отношению к среде: открытая (происходит обмен информацией как внутри системы, так и с внешней средой – есть вышестоящие организации, вышестоящие федеральные информационные системы);

По признаку организованности: слабо организованная (сложно определить элементы системы и взаимосвязи между ними (более того полностью их определить не представляется возможным), цели системы с позиции различных подсистем и элементов часто противоречат друг другу).

По степени изменчивости свойств: динамическая (система оперирует совокупностью технологических и обеспечивающих производственных процессов).

По реакции на возмущение: активная (система может противостоять влиянию извне, обладая определенной автономией, например, предприятия пищевой промышленности через образование соответствующих ассоциаций могут участвовать в разработке стандартов по пищевой продукции).

По характеру поведения: неопределенная (большое количество неопределенных (нечетких) параметров, являющихся субъективными, например, органолептическая оценка, оценка квалификации персонала, оценка качества технических условий).

По степени участия человека в управлении: организационно-техническая, человеко-машинная (в процессах управления участвуют активные элементы, подчиняясь при этом организационному и правовому обеспечением).

Классификация с позиции кибернетической интерпретации

По описанию входных и выходных потоков: со смешанным описанием переменных (количественные параметры: оборотные средства, количество выпускаемой продукции, количество персонала; качественные: квалификация персонала, качество технических условий и продукции);

По типам оператора системы: параметризованная замкнутая с обратной связью (на основании структуры целей ИАСУ определен перечень групп параметров, являющихся элементами взаимосвязанных контуров управления с обратными связями);

По способу управления: организационно-техническая с комбинированным управлением (управление осуществляется как извне: законодательство, трудовой кодекс правила эксплуатации электроустановок, так и внутри: руководство, профсоюзная организация);

По ресурсному обеспечению:

По энергетическим ресурсам: энергодостаточная (в систему заложено дальнейшее ее развитие).

По материальным ресурсам: большая (для описания ИАСУ необходимо семейство моделей большой размерности).

По информационным ресурсам: сложная (ИАСУ оперирует большим количеством разноплановой информации, часто физически находящейся в различных СУБД, в том числе в территориально распределенных программно-аппаратных комплексах).

Процесс разработки программно-аппаратного комплекса автоматизации не является линейным, а согласно третьему закону диалектики (закон отрицания отрицания) является спиралевидным, циклически возвращаясь к изначальным задачам и функциям, но на каждом последующем витке (версии) со своим содержанием на новом уровне (рисунок 11). Такое представление позволяет

говорить о жизненном цикле процесса разработки (SWEBOK) для каждой версии комплекса, и о необходимости иметь информационное обеспечение этого жизненного цикла в виде соответствующих автоматизированных систем класса PLM – Product Lifecycle Management.

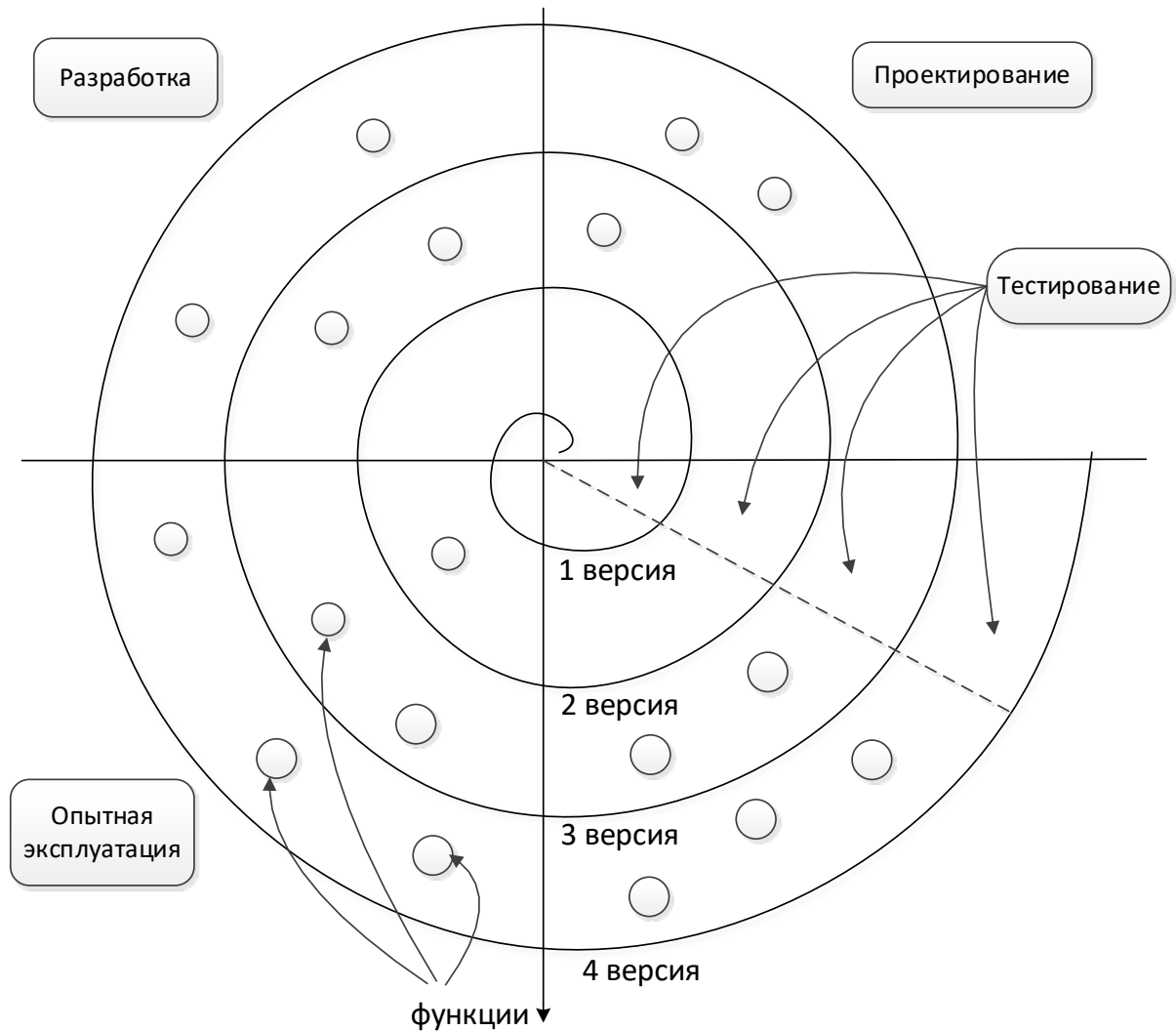


Рисунок 11 – Жизненный цикл разработки ПАК автоматизации

Такая концепция широко известна в автоматизированном проектировании под аббревиатурой CALS (непрерывная информационная поддержка на всех этапах жизненного цикла).

В соответствии с разработанной структурой целей предприятия пищевой промышленности был определен перечень групп параметров, представляющих собой элементы диаграммы причинно-следственных связей (ДПСС) [95], или

каузальной граф-модели, объединенных во взаимосвязанные замкнутые контуры управления с обратными связями (рисунок 12).

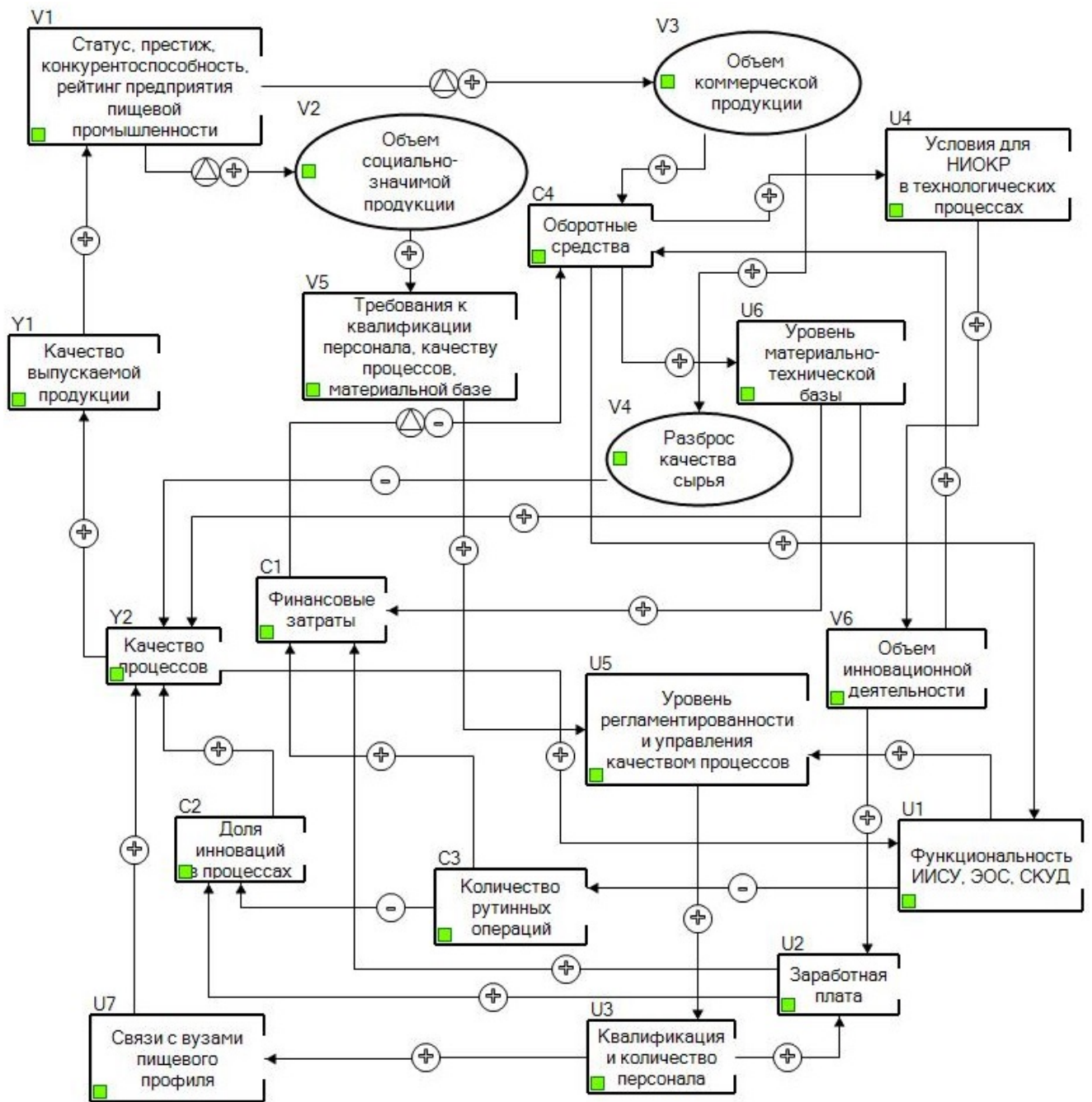


Рисунок 12 – ДПСС ИАСУ рыбоперерабатывающего предприятия

Элементы ДПСС являются множествами входных элементов возмущений (V), управлений (U), состояний (C) и целевых выходов (Y).

Модель разработана для описания ИАСУ предприятия пищевой промышленности и ее последующей формализации на основе вышеуказанных подходов. Кратко обозначения и порядок чтения ДПСС можно описать следующим образом [66]:

Элементы	Связи	Параметры
Накопитель	⊕ - суммирующая	V – входные возмущающие
Поток	⊖ - вычитающая	U – входные управляемые
Событие	⊗ - с задержкой по времени	C – состояния (промежуточные)
		Y – выходные результирующие

Возмущения (статус, престиж, конкурентоспособность предприятия пищевой промышленности; количество социально-значимой выпускаемой продукции; количество коммерческой продукции; объем инновационной деятельности; разброс качества сырья; требования к квалификации персонала, материальной базе, качеству технологических и обеспечивающих производственных процессов):

$$V_i = \{v_{ij}, j = \overline{1, J_i}\}, i = \overline{1, I}.$$

Управления (функциональность ИАСУ, ЭОС, СКУД; заработная плата; квалификация и количество персонала; условия для НИОКР; уровень регламентированности и управления качеством процессов; уровень материально-технической базы; связи с вузами пищевого профиля, количество базовых кафедр):

$$U_k = \{u_{kt}, t = \overline{1, T_k}\}, k = \overline{1, K}.$$

Состояния (финансовые затраты; доля инноваций в технологических и обеспечивающих производственных процессах; количество рутинных операций; оборотные средства):

$$C_n = \{c_{nm}, m = \overline{1, M_n}\}, n = \overline{1, N}.$$

Целевые выходы (качество выпускаемой продукции; качество технологических и обеспечивающих производственных процессов):

$$Y_q = \{y_{qt}, t = \overline{1, T_q}\}, q = \overline{1, Q}.$$

В работе приведены описание и характеристики контуров, входящих в диаграмму причинно-следственных связей ИАСУ предприятия пищевой промышленности:

V1 - V2 - V5 - U5 - U3 - U7 - Y2 - Y1 - V1. Усиливающий контур с задержкой по времени. Показывает, что увеличение количества выпускаемой недорогой, социально-значимой продукции ведет к росту требований (в том числе со стороны

потребителей) к квалификации персонала, материальной базе, качеству технологических и обеспечивающих производственных процессов. В ответ на это регламентируется необходимость соответствия персонала определенным критериям, что приводит к повышению квалификации персонала. В результате повышается качество технологических и обеспечивающих производственных процессов. Контур показывает, что увеличение количества выпускаемой недорогой, социально-значимой продукции положительно влияет на статус и престиж предприятия пищевой промышленности.

V1 - V3 - V4 - Y2 - Y1 - V1. Компенсирующий контур с задержкой по времени. Показывает, что повышение статуса, престижа, рейтинга предприятия пищевой промышленности увеличивает количество коммерческой пищевой продукции, изготавливаемой из более качественного, дорогого сырья. Это увеличивает оборотные средства, но при этом растет разброс качества сырья. Разнородность сырья создает сложности при хранении и переработке, что отрицательно влияет на качество технологических и обеспечивающих производственных процессов, что ведет к снижению качества всех видов продукции. В результате статус, престиж, рейтинг предприятия пищевой промышленности падает. Контур показывает ограничения, возникающие в результате увеличения количества коммерческой пищевой продукции, изготавливаемой из более качественного, дорогого сырья.

V1 - V3 - C4 - U1 - C3 - C2 - Y2 - Y1 - V1. Усиливающий контур с задержкой по времени. Показывает, как повышается качество технологических и обеспечивающих производственных процессов за счет увеличения количества коммерческой пищевой продукции, изготавливаемой из более качественного, дорогого сырья, что повышает количество свободных средств и функциональность ИИС, ЭОС, СКУД. При этом снижается количество рутинных операций, доля инноваций в технологических и обеспечивающих производственных процессах возрастает, так как у персонала появляется на нее время.

V1 - V2 - V5 - U5 - U3 - U2 - C1 - C4 - U6 - Y2 - Y1 - C1. Компенсирующий контур с задержкой по времени. Показывает, что более квалифицированный персонал должен быть обеспечен достойной заработной платой, как видно из

соответствующего контура, ее уровень возрастает. Заработная плата персонала при этом является финансовыми затратами, рост которых негативно влияет на возможности развития материально-технической базы, что приводит к падению качества технологических и обеспечивающих производственных процессов. Это является одним из ограничений возможностей увеличения заработной платы персонала. В целом данный контур акцентирует внимание на конкурирующие за ресурс свободных средств заработную плату персонала и материально-техническую базу. Таким же образом проанализированы все контуры обратных связей, всего их насчитывается 19.

Каждый контур представляет собой некую логическую подсистему управления. Наличие в контуре связи с задержкой по времени свидетельствует об увеличении горизонта управления T .

Анализ контуров показывает, что имеются 11 усиливающих и 8 компенсирующих контуров. Исходя из этого, можно предположить, что данная кибернетическая система регулирования является работоспособной. Такая система также имеет перспективу при должном управлении быть устойчивой и развивающейся. Большинство контуров имеют задержку по времени и реализуют управление не на оперативном, а на тактическом или стратегическом уровне, что характерно для крупного территориально-распределенного предприятия пищевой промышленности.

Специфика крупного предприятия пищевой промышленности такова, что иногда задача получения прибыли отсутствует, то есть все доходы компенсируются затратами, направленными на достижение соответствующих целей. Отсутствие прибыли может при этом компенсироваться поддержкой со стороны государства.

На основе проведенного анализа ДПСС в соответствии с методикой [66,67,68] построена концептуальная структурно-динамическая модель ИАСУ предприятия пищевой промышленности в теоретико-множественном представлении (декартово произведение множеств), состоящая из операторов μ состояний S и операторов η целевых выходов (результатов) Y , где T – упорядоченное множество значений времени t_j , на которых определяются

C и Y . $X = \{V, U\}$ – входные элементы – множества параметров возмущений и управлений, также зависящие от времени $t \in T$.

Тактическое и стратегическое управление на горизонте $T_2 \in T$:

$\eta_1: Y_2 \times T_2 \rightarrow Y_1$ (качество выпускаемой продукции);

$\eta_2: \{C_2, U_7, U_3, U_5, U_1, C_4, V_5, V_2, V_1, V_4, V_3, U_6\} \times T_2 \rightarrow Y_2$ (качество производственно-технологических и обеспечивающих процессов);

$\mu_1: \{C_3, U_2, U_3, U_5, V_5, V_2, V_1, U_6, U_1, \} \times T_2 \rightarrow C_1$ (финансовые затраты);

$\mu_2: \{U_2, U_3, U_5, V_5, V_2, V_1, V_6, U_4, U_1, \} \times T_2 \rightarrow C_2$ (доля инноваций в производственно-технологических и обеспечивающих процессах);

Оперативное управление на горизонте $T_1 \in T, T_1 \subset T_2$:

$\mu_3: U_1 \times T_1 \rightarrow C_3$ (количество рутинных операций);

$\mu_4: \{V_1, V_3, C_1, V_6, U_4\} \times T_1 \rightarrow C_4$ (оборотные средства).

На основании анализа диаграммы причинно-следственных связей ИАСУ и ее концептуальной модели в теоретико-множественном представлении выявлены следующие актуальные задачи оперативного, тактического и стратегического управления:

Задачи оперативного управления:

1. Снижение количества рутинных операций за счет роста функциональности ИАСУ, ПАК автоматизации, ЭОС, СКУД. Целевая функция: $C_3 \rightarrow \min_{U_1}, U_1 \in D_{U_1}$. Параметрами управления являются технические и экономические показатели ИАСУ, ПАК автоматизации, ЭОС, СКУД.

Задачи тактического и стратегического управления:

1. Увеличение объема НИОКР (за счет создания более привлекательных условий для исполнителей) с целью повышения количества оборотных средств.

2. Обеспечение требуемого уровня квалификации персонала за счет регламентации и управления качеством технологических и обеспечивающих производственных процессов при информационной поддержке и контроле со стороны ИАСУ, ПАК, ЭОС, СКУД.

3. Обеспечение требуемого качества выпускаемой продукции при минимизации затрат на технологические и обеспечивающие производственные процессы.

4. Обеспечение баланса между конкурирующими расходами на заработную плату, уровень материально-технической базы, функциональность ИАСУ, ПАК, ЭОС, СКУД. Возникает также обратная задача определения целесообразности этих расходов при помощи обратной связи соответствующих контуров управления.

На основе проведенного исследования и анализа ИАСУ выявлены соответствующие актуальные функции контроля, учета и планирования. Для последующего синтеза моделей логического уровня (в том числе математических), следует рассмотреть систему с точки зрения соответствующих функциональных компонент.

Согласно представленной в работе методике системного проектирования, система сбалансированных показателей (ССП) [69] трансформирует ДПСС в конкретные, измеряемые задачи и показатели, сгруппированные по четырем областям, или аспектам: финансы, клиенты и продукция, внутренние бизнес-процессы, обучение и развитие.

С одной стороны, СПП позволяет руководству в режиме реального времени использовать обратную связь для получения актуальных текущих данных о положении дел на предприятии.

С другой стороны – показатели, задачи и цели часто противоречат друг другу и даже являются взаимоисключающими. Иначе говоря, между отдельными ветвями дерева целей происходит борьба за ресурсы. Стратегическая карта призвана расставить точные веса и акценты соответствующих показателей, учесть влияние одних показателей на другие и принадлежность к четырем аспектам.

Разработанные на основе ДПСС стратегические карты ИАСУ предприятия пищевой промышленности эшелонированы по компонентам (ИАСУ предприятия, ЭОС, система контроля доступа и др.). В качестве примера на рисунке 13 представлена стратегическая карта СПП предприятия пищевой промышленности.

Каждый эшелон содержит компоненты со своим уровнем абстрагирования, соответствующим расставленным в стратегической карте фокусам и приоритетам. В случае электронной образовательной среды предприятия, являющейся компонентой, неотъемлемой частью ИАСУ, разработана собственная стратегическая карта (рисунок 14).

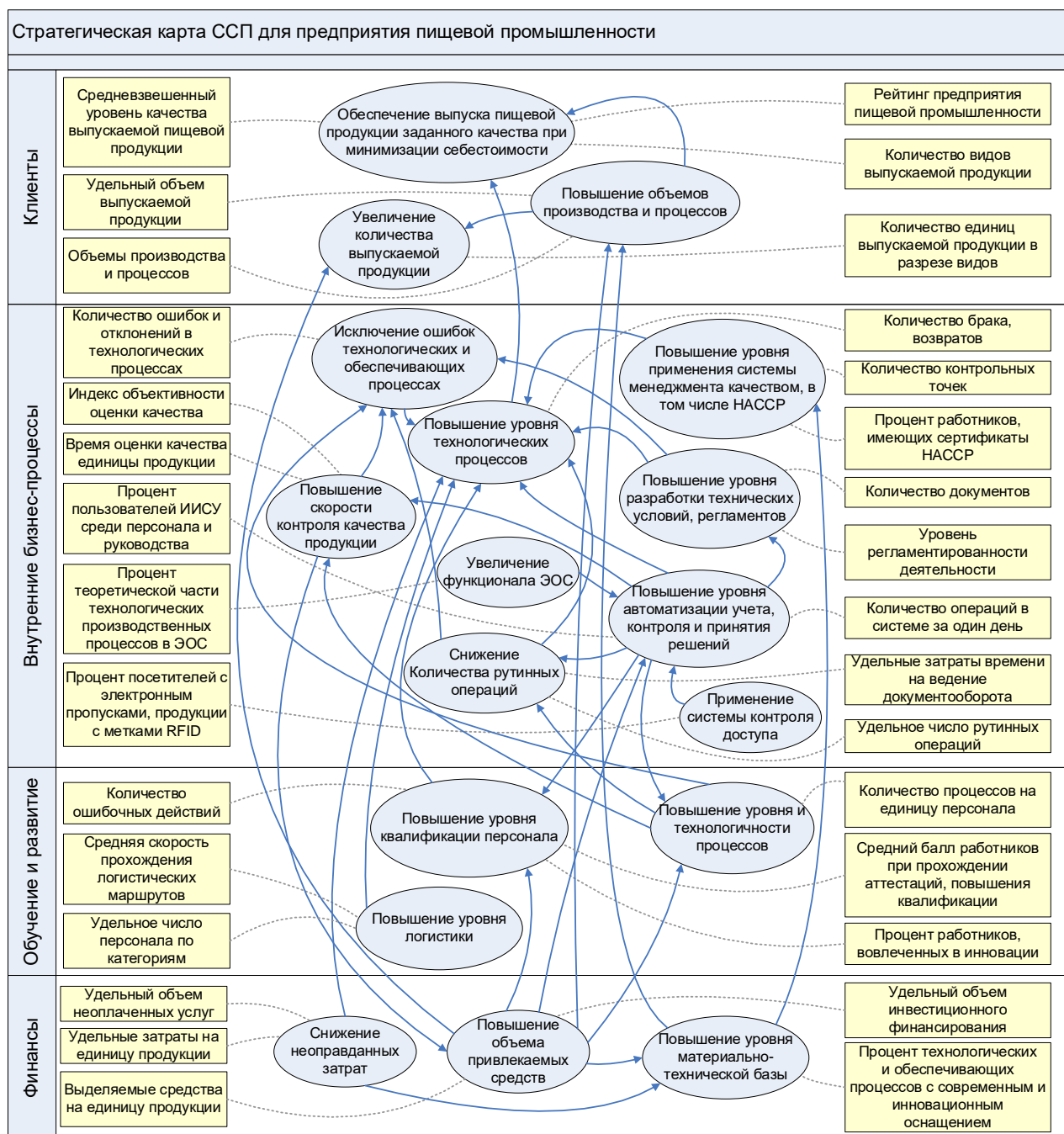


Рисунок 13 – Стратегическая карта системы сбалансированных показателей для предприятия пищевой промышленности

Все операции, связанные с управлением предприятием пищевой промышленности, могут быть описаны соответствующими бизнес-процессами.

Под бизнес-процессом предприятия понимается обычный процесс (например, выпуск продукции, перемещение объектов материального учета, прием на работу), с добавлением стоимостной составляющей.

При рассмотрении бизнес-процессов, для их проектирования удобно пользоваться нотацией BPMN 2.0, как наиболее современной. В качестве системы проектирования в работе использован программный Case-инструмент Business Studio [98].

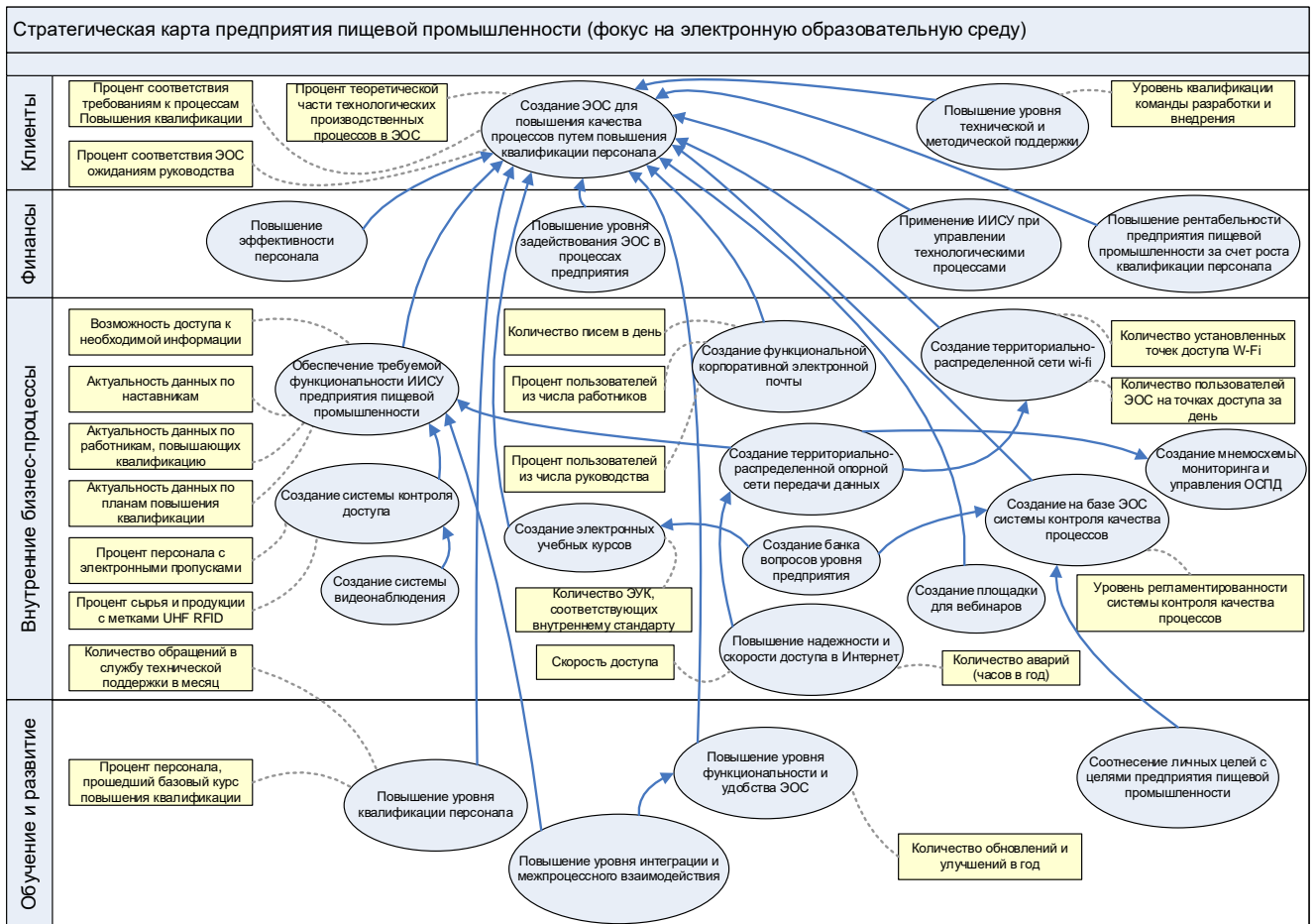


Рисунок 14 – Стратегическая карта предприятия пищевой промышленности (акцент на электронную образовательную среду)

На основе стратегических карт формализуются критерии по всем актуальным аспектам управления. Критерии строятся на основе показателей, информация по которым должна сниматься из процессов. Таким образом, на основе стратегических карт предприятия или его подсистемы можно построить модели процессов (в виде диаграмм в нотации, например, BPMN 2.0) «как есть» и «как должно быть».

2.3 Разработка бизнес-процессов автоматизированного управления производством

На сегодняшний день существует несколько различных нотаций, которые могут быть применены для моделирования бизнес-процессов. Среди них можно отметить нотацию EPC (Software AG), а также различные типы диаграмм потоков работ. Как правило, программные продукты, предназначенные для моделирования бизнес-процессов в этих нотациях, являются закрытыми, и ограничены рамками одного производителя. Кроме этого, необходимо отметить, что созданные в этих нотациях модели являются аналитическими, но не исполняемыми, то есть в них отсутствует соответствующая семантика. В случае автоматизированного управления производством наибольшее применение все чаще находят процессные исполняемые модели, которые создаются в нотации BPMN. Эта нотация в настоящее время широко используется, опубликована вторая версия стандарта. BPMN служит своего рода посредником между предметной областью и разработчиками программно-аппаратных решений, помогая им правильно реализовать все обозначенные требования.

При разработке моделей бизнес-процессов в нотации BPMN принято начинать с аналитической модели высокого уровня абстрагирования, которую также называют «ландшафтной» моделью. Она служит отправной точкой при графическом и текстовом описании бизнес-процессов от общего к частному, что включает в себя описание функций в разрезе ролей, сценариев и информационных потоков.

Разработанная ландшафтная диаграмма BPMN включает в себя подготовку к новому производственному циклу (инкубация икры, закупка кормов и пр.), выращивание рыбы, переработку рыбы и ее реализацию (рисунок 15). В качестве системы бизнес-моделирование было применено программное обеспечение «Bizagi».

На основе разработанной ландшафтной диаграммы были созданы диаграммы хореографии, более подробно рассматривающие процессы высокого уровня

абстрагирования. Особое внимание при построении BPMN-диаграмм хореографии уделено связям между блоками. В отличие от процессов «как есть» добавлены элементы автоматизации и информатизации, проработаны соответствующие связи. Так, например, при подготовке к новому циклу производства все информация о партиях икры для инкубации, кормов и пр. вводится операторами в ИАСУ, клиентские места которой установлены в соответствующих производственных помещениях и объединены в локальную вычислительную сеть на основе опорной сети передачи данных ООО «РИФ».

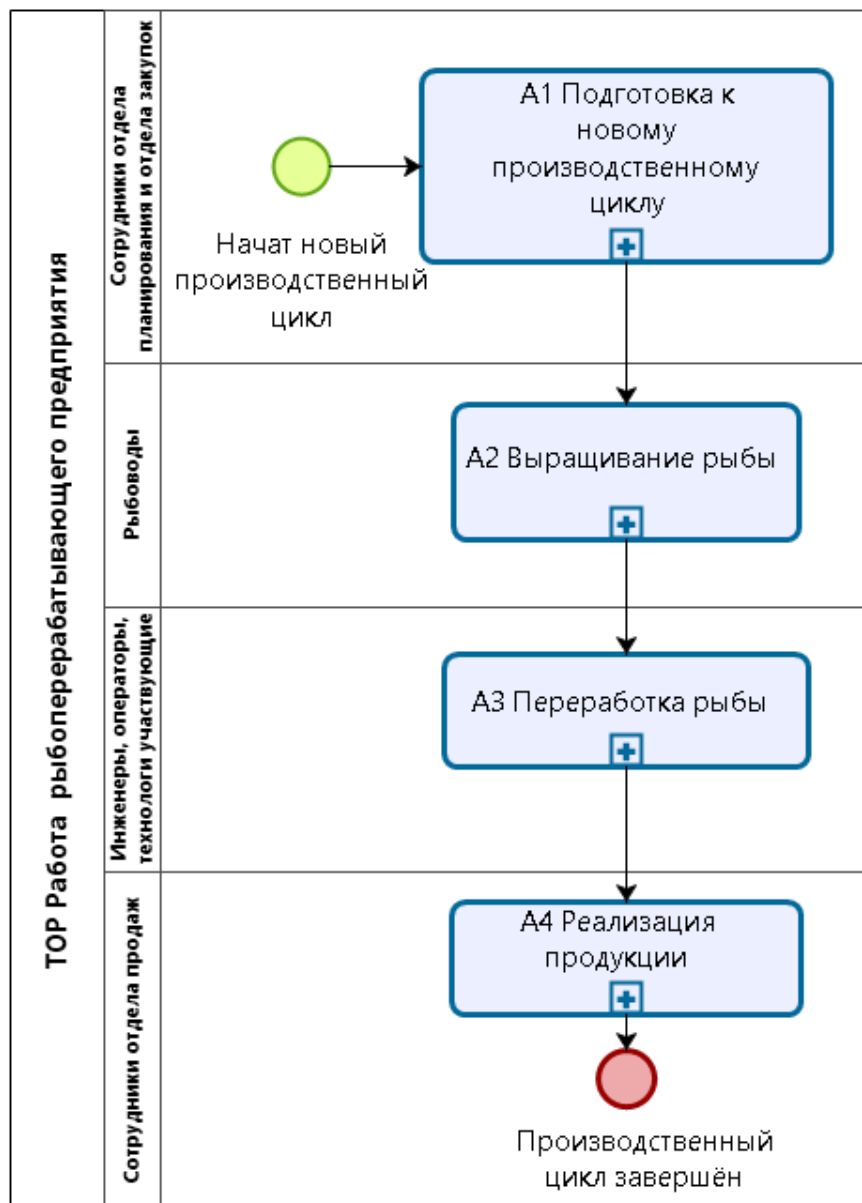


Рисунок 15 – Диаграмма BPMN для рыбоперерабатывающего предприятия (схема ландшафта)

При этом стало возможно регулировать загрузку мощностей с учетом требований рынка, принимая во внимание заключенные договора на поставку продукции. На рисунке 16 представлена схема хореографии процесса подготовки производственного цикла с применением ИАСУ.

Этот процесс тесно связан с процессом выращивания молоди рыбы, что также требует неукоснительного соблюдения температурного режима, содержания кислорода в воде и многих других параметров, а также количества и периодичности задания корма.

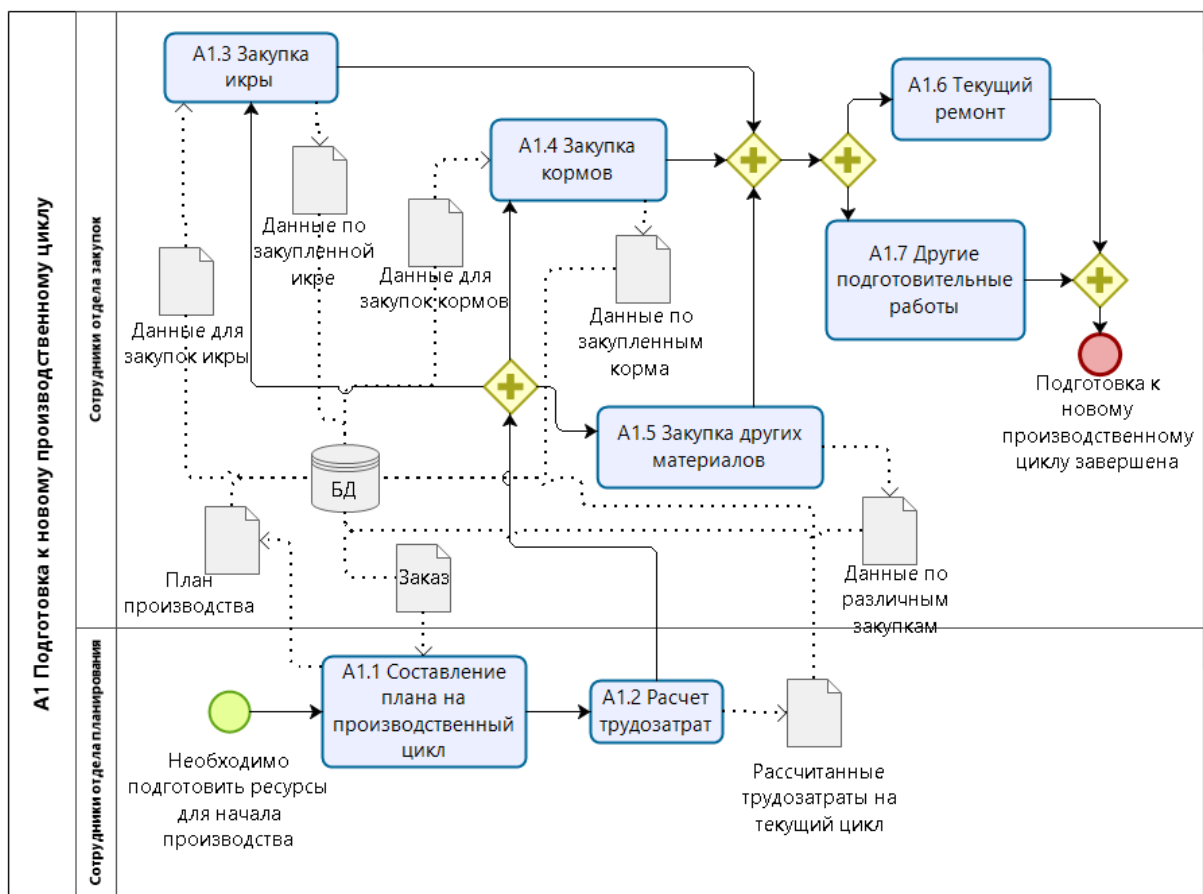


Рисунок 16 – Процесс подготовки производственного цикла в нотации BPMN (схема хореографии)

Несмотря на то, что все эти операции по большей части выполняются с использованием экземпляров ПАК, некоторые критические участки продублированы выполнением вручную, например, замер содержания кислорода в воде, с целью исключения ошибки и предупреждение замора рыбы, особенно в жаркое время года. При этом в производственных помещениях установлено

необходимое количество клиентских мест ИАСУ, с которых производственный персонал выполняет регистрацию соответствующих фактов. Для снижения количества таких операций вектор развития взаимодействия экземпляров ПАК и ИАСУ направлен в сторону передачи учетно-статистической информации в автоматическом режиме, что включает в себя температуру, влажность, содержание кислорода и углекислого газа, количества и периодичности задаваемого корма. Данные, переданные в автоматическом режиме, в дальнейшем могут быть подвергнуты ручной корректировке. На рисунке 17 приведена схема хореографии процессов инкубации икры и выращивания рыбы.

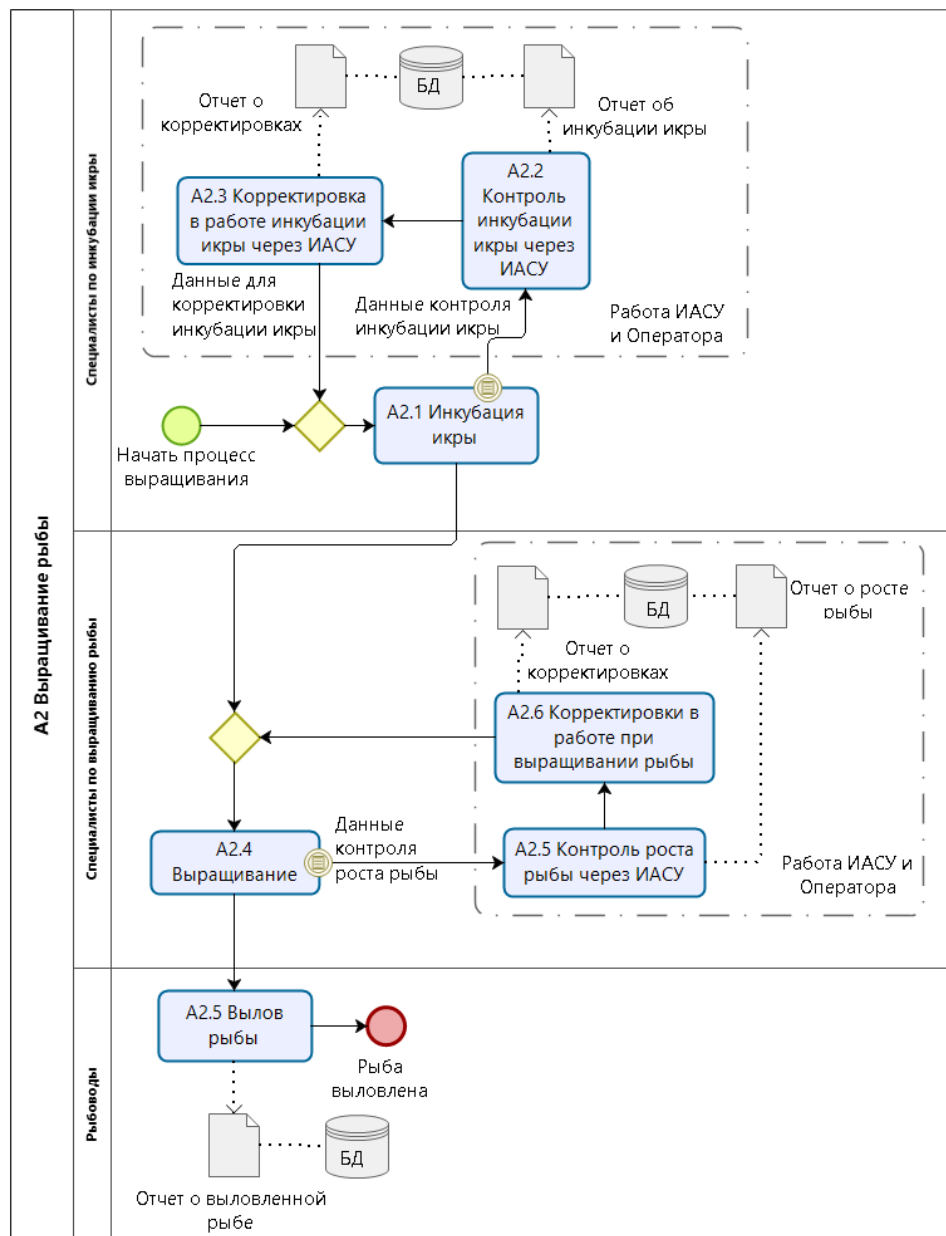


Рисунок 17 – Процессы инкубации икры и выращивания рыбы в нотации BPMN

Диаграмма процессов рыбопереработки уровня хореографии показывает основные соответствующие процессы и их связи (рисунок 18). Так как в работе основной фокус сделан на процесс горячего копчения рыбы, он выделен в соответствующий вложенный процесс и впоследствии детально проработан в диаграммах оркестровки.

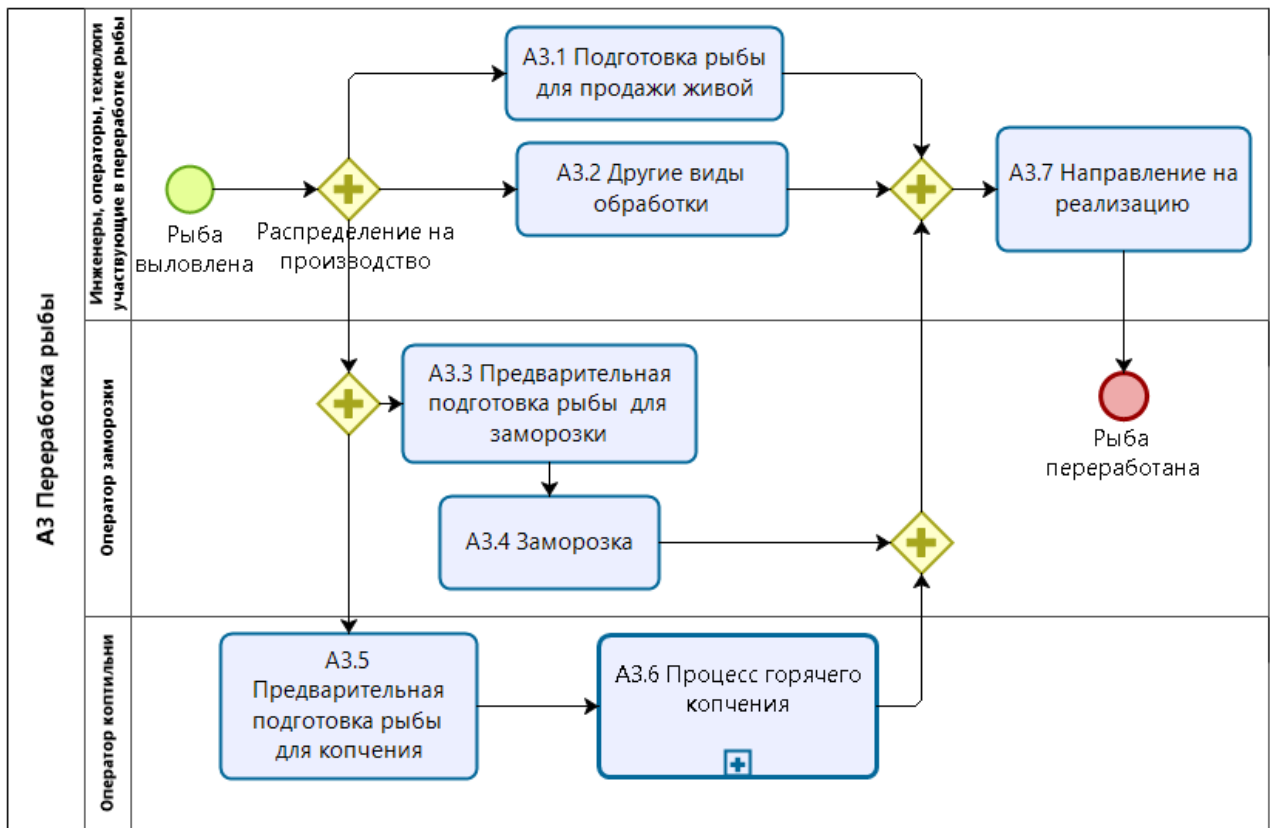


Рисунок 18 – Процесс переработки рыбы в нотации BPMN

Реализация готовой продукции и живой рыбы требует постоянного принятия эффективных управленческих решений. Для того, чтобы они были обоснованными, необходима консолидированная информация, которая в условиях территориально-распределенного рыбоперерабатывающего предприятия может быть получена только из системы класса ИАСУ. Разработанная для ООО «РИФ» ИАСУ содержит в себе аналитические отчеты, которые позволяют получать информацию в необходимых разрезах. По результатам анализа этих отчетов руководством было принято решение об открытии собственного интернет-магазина, так как поставки в крупные розничные торговые сети были недостаточно эффективны, требовалась упаковка слишком мелкими партиями, перевозка вызывала большую нагрузку на

имеющийся автопарк, часть которого была переориентирована на доставку продукции клиентам собственного интернет-магазина.

Объем имеющихся заключенных договоров и анализ объема розничных продаж в собственных магазинах позволяет при помощи ИАСУ регулировать объемы выращивания рыбы и, соответственно, ее переработки. На рисунке 19 представлена схема хореографии процессов реализации продукции и живой рыбы.

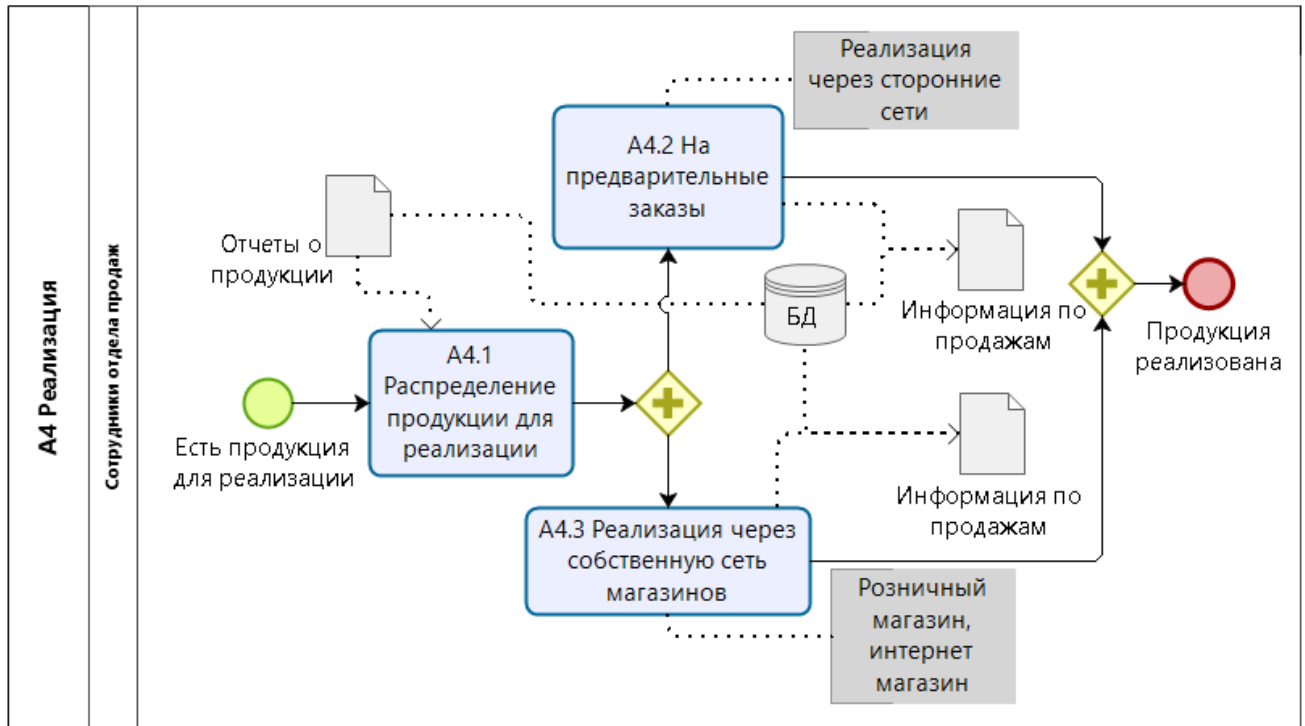


Рисунок 19 – Процесс реализации готовой продукции и живой рыбы в нотации BPMN

Из всех процессов рыбопереработки в работе был наиболее подробно рассмотрен процесс горячего копчения рыбы. Как видно из рисунка 20, он состоит из последовательных операций подсушки рыбы, ее проварки, собственно процесса копчения. Необходимо отметить, что процессу подсушки рыбы предшествует процесс ее посола, однако этот процесс на ООО «РИФ» технологически и территориально вынесен в качестве отдельного.

Диаграммы BPMN являются основой для реализации ИАСУ в программном коде и представляют собой проекцию ее архитектуры. При разработке крупных информационных систем, к которым, безусловно, относится ИАСУ, проектированием диаграмм BPMN занимается отдельно выделенный персонал –

системные аналитики. Они применяют в своей работе специальные программные продукты для разработки – системы бизнес-моделирования.

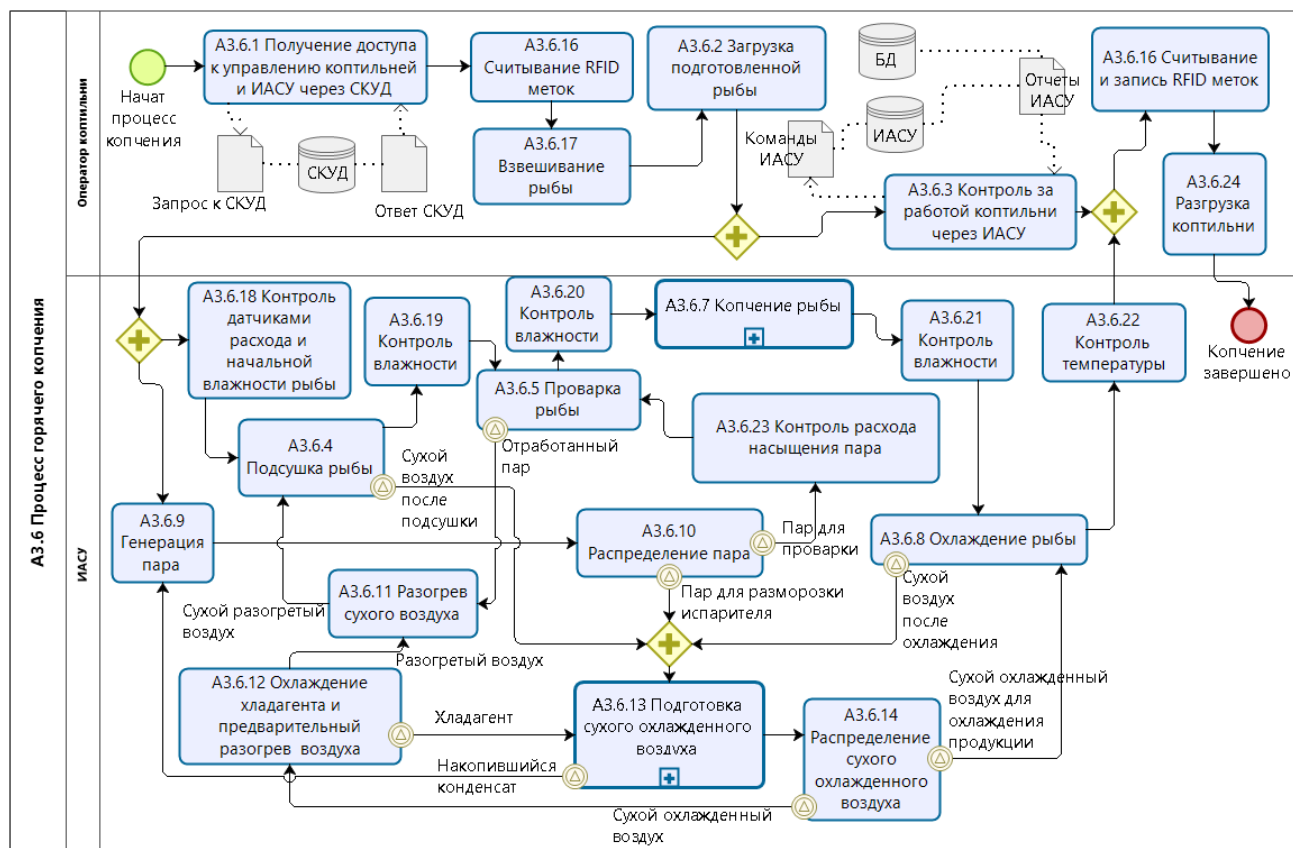


Рисунок 20 – Процесс горячего копчения рыбы (схема оркестровки)

К сожалению, далеко не всем предприятиям пищевой промышленности финансово доступны такой персонал и приобретение соответствующих систем бизнес-моделирования, однако сказанное имеет целью особо подчеркнуть, что нотация BPMN 2.0 является наглядным, удобным инструментом для объединения всех специалистов различного профиля, участвующих в сложной задаче создания ИАСУ на конкретно взятом предприятии пищевой промышленности. Без применения общепризнанных нотаций, специализированных инструментов успешная реализация проекта вряд ли возможна, какой бы эффективной ни была применяемая методика. При подготовке диссертации оказалось, что персонал ООО «РИФ», занимающий позиции генерального директора, главного бухгалтера, главного технолога, начальника IT-отдела, сравнительно легко освоил нотацию BPMN 2.0 и охарактеризовал ее как полезный инструмент, позволяющий разработать и внедрить ИАСУ в рамках комплексной автоматизации предприятия.

Исторически сложилось так, что управление технологическими процессами осуществляется при помощи ПЛК, или полноценной ЭВМ. Однако, при наличии надежной опорной сети передачи данных и мощных серверов, на которых развернута ИАСУ, целесообразно при штатном режиме работы управлять процессом с ее применением. Это позволит передавать в центральную базу данных необходимую информацию в режиме реального времени, и формировать управляющие сигналы не только на ПАК, но и непосредственно в ИАСУ. При такой схеме работы ПАК будет выступать своего рода «сервером приложений» между технологической установкой и ИАСУ, в случае нештатной ситуации или аварии беря управление на себя. Такая реализация позволит реализовать программный код ИАСУ с использованием получаемой в реальном времени данных о технологическом процессе. Поэтому производственно-технологические процессы ООО «РИФ» были подробно проработаны в нотации BPMN 2.0 с целью реализации их не только в ПАК, но и непосредственно на стороне ИАСУ.

Наравне с вышеизложенным, существует еще один современный способ реализации программно-аппаратного решения. Разрабатываемый ПАК включает в себя мощную полноценную мини-ЭВМ, которая имеет все необходимые интерфейсы для исполнения сложного программного кода и отображения необходимой информации на дисплеях высокого разрешения с реализацией необходимых эргономичных интерфейсов. Это показывает гибкость и вычислительную мощность разрабатываемого ПАК.

Несмотря на свое название, при процессе горячего копчения рыба находится непосредственно в атмосфере дыма (температурой примерно 65 °С) сравнительно небольшой процент времени, что зависит от размера рыбы. Для филе достаточно 15-20 мин, для цельной рыбы – от 30 до 60 минут. Длительное копчение приводит к чрезмерному насыщению продукта вредными веществами. Поэтому непосредственная цель стадии копчения – придание продукции вкуса и некоторая консервация (наравне с действием соли) за счет свойств дыма. Для достижения требуемых показателей управление дымогенератором должно осуществляться с

высокой точностью, при этом в качестве топлива используется смесь щепы деревьев различных пород с преобладанием бука в необходимой пропорции.

Все это обуславливает необходимость подробной проработки соответствующих процессов в нотации BPMN 2.0. На рисунках 21 приведена схема оркестровки процесса дымогенерации, на рисунке 22 – схема оркестровки процесса воздухоподготовки при горячем копчении рыбы

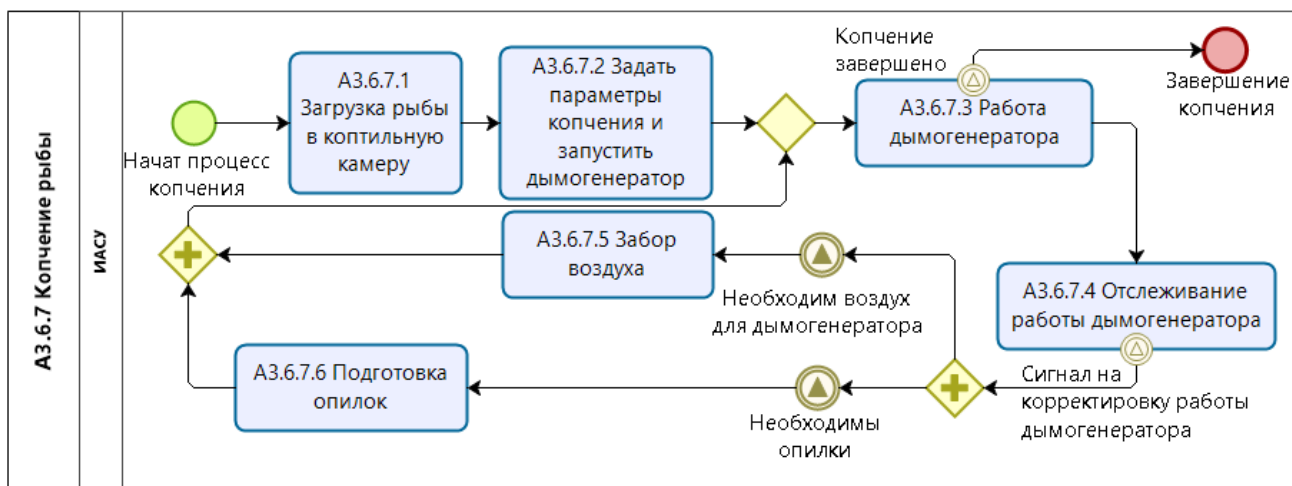


Рисунок 21 – Процесс дымогенерации при горячем копчении рыбы (схема оркестровки)

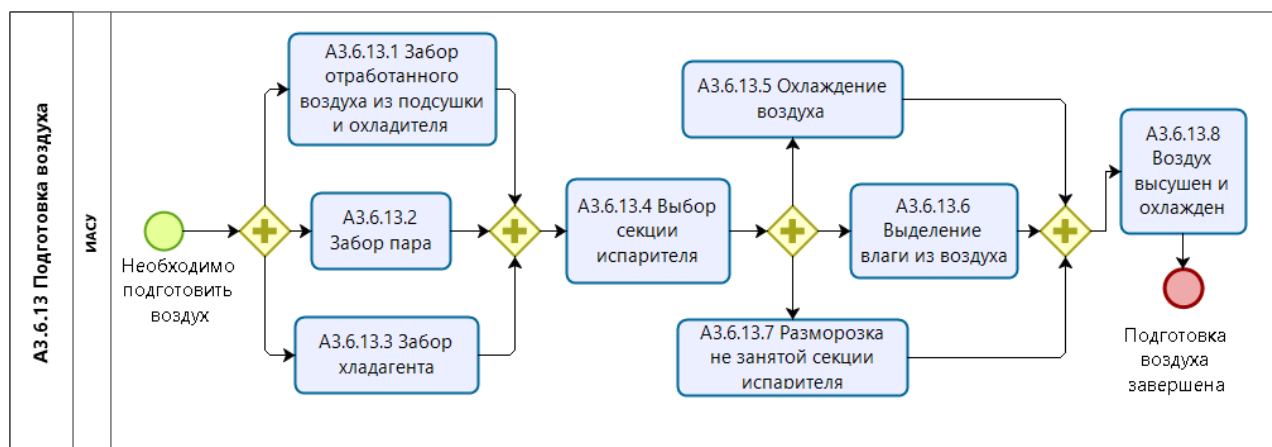


Рисунок 22 – Процесс воздухоподготовки при горячем копчении рыбы (схема оркестровки)

Разработанные диаграммы в нотации BPMN являются алгоритмами бизнес-логики сервера приложений ИАСУ и основой для инфологической модели, учитывающей специфику выбранной промышленной СУБД и архитектуру ИАСУ.

2.4 Разработка архитектуры и информационно-логической модели

Под архитектурой ИАСУ понимается совокупность основных программно-аппаратных решений, примененных в ней. ИАСУ в данном контексте может быть представлена в виде схем технической (программно-аппаратной), информационной и функциональной (структурно-логической) архитектур.

Разработанная и внедренная ИАСУ является трехзвенной, сервис-ориентированной системой (рисунок 23).

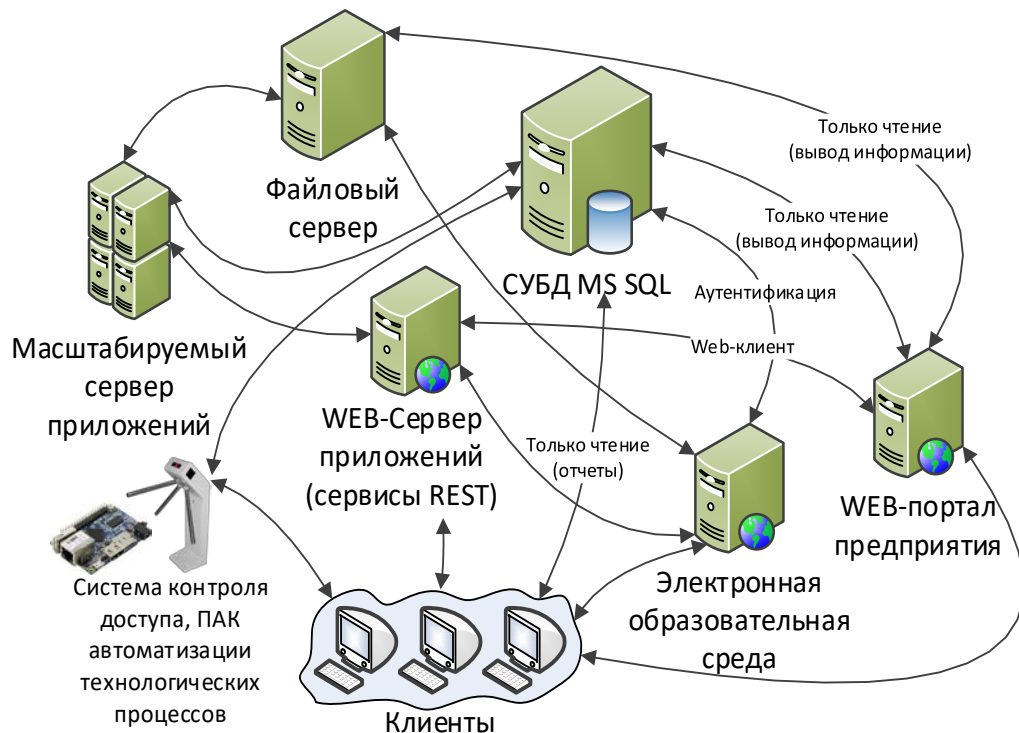


Рисунок 23 – Техническая архитектура ИАСУ

Помимо классических масштабируемых серверов приложений используются web-сервисы и прямые SQL-запросы (только на чтение, для формирования отчетов, работы системы контроля доступа, вывода информации на web-портал предприятия и др.). ИАСУ в качестве источника информации используется ЭОС, ПАК, СКУД, web-портал и др. Эта связь является двунаправленной, т.е. эти компоненты также представлены в ИАСУ в виде внешних источников данных для получения распределенных отчетов и других задач.

Разработанная информационная модель ИАСУ как единого информационного пространства производственно-технологических и

обеспечивающих процессов предприятия является основой для проектирования на уровне СУБД. При помощи семантического моделирования были разработаны диаграммы сущность-связь (ER-модели) в нотации Баркера [126] (рисунок 24).

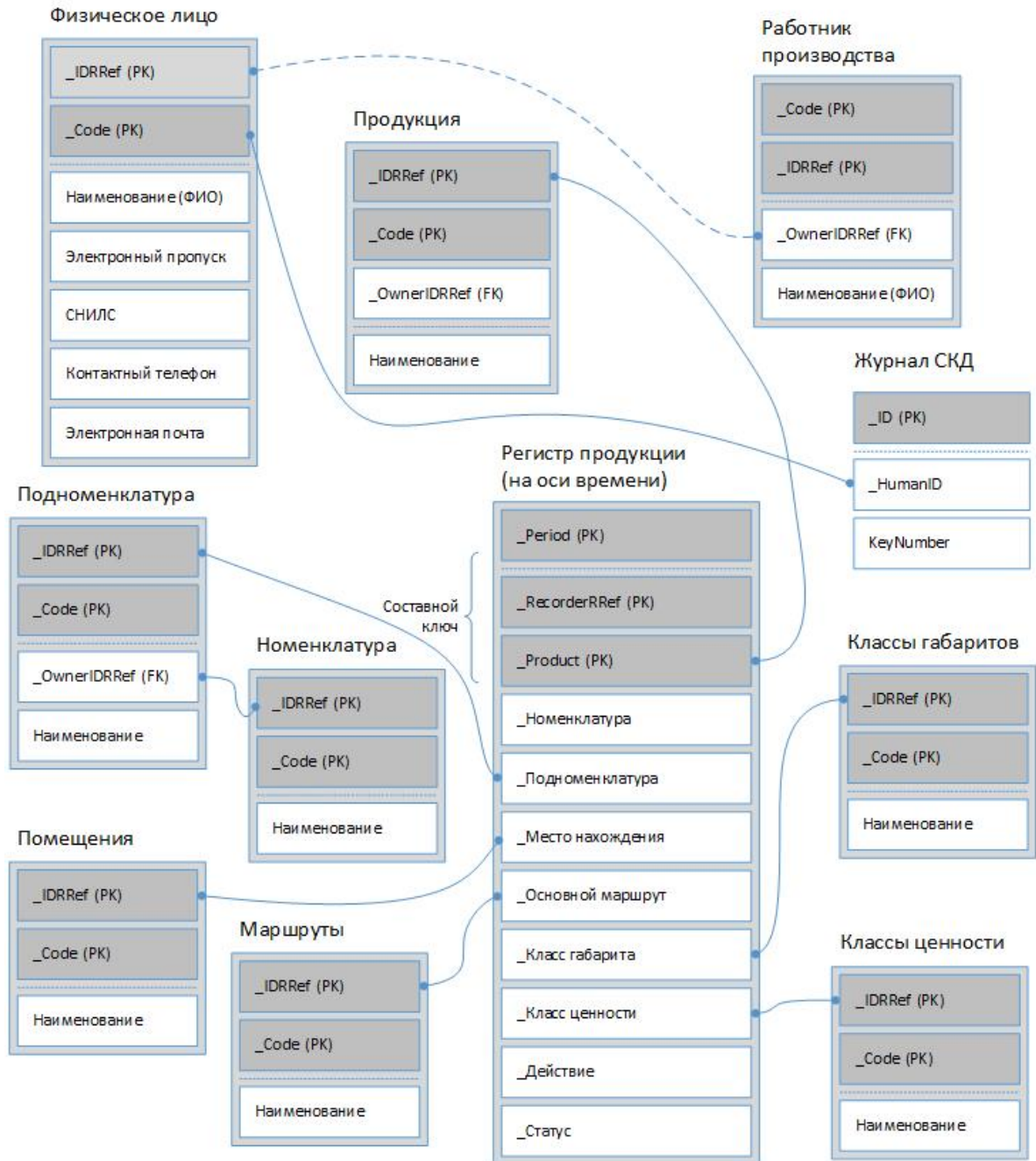


Рисунок 24 – Фрагмент диаграммы сущность-связь (ER-модель) ИАСУ

Из представленного фрагмента диаграммы следует, что ИАСУ является неотъемлемой частью единого информационного пространства предприятия, участники которого при взаимодействии с ИАСУ и друг с другом имеют доступ к достоверной, полной и актуальной информации. ИАСУ как часть ЕИП спроектирована по принципу взаимосвязи объектов и вспомогательных регистров,

которые не являются локальными и автономными, а пересекают границы бизнес-процессов, подразделений, и соответствующих областей деятельности предприятия. В качестве СУБД при промышленной эксплуатации ИАСУ в настоящее время используются MS SQL Server и MySQL Server, реализованы функции, хранимые процедуры, триггеры.

ИАСУ предприятия реализована на базе платформы 1С версии 8.3, на основе которой разработана собственная конфигурация. База данных ИАСУ развернута на СУБД MS SQL Server 2016, информация из этой базы может предоставляться другим ИС предприятия, в том числе с применением механизма прямых sql-запросов. Такие запросы выполняются намного быстрее, чем соответствующие методы сервера приложений 1С:Предприятия. В целях еще большего повышения быстродействия sql-запросы реализованы в основном в виде хранимых процедур (stored procedures).

При инициировании процессов разработки и внедрения ИАСУ необходимы координация и управление, так как в них участвуют специалисты различных областей деятельности. Также необходимо задать на первых этапах хотя бы в общем виде направления развития ИАСУ и ее горизонты. Для этого необходимо разработать функциональную архитектуру ИАСУ.

Рассматриваемая в диссертации ИАСУ предприятия пищевой промышленности была разработана и внедрена в ООО «РИФ», а также в ряде других организаций. На рисунке 25 представлена структурно-логическая схема ИАСУ.

Пунктиром показано взаимодействие между отдельными ИС. ИАСУ автоматизирует деятельность многих подразделений предприятия, позволяя управлять производственно-технологическими и обеспечивающими процессами, помогая работникам оперативно получать требуемую информацию и принимать на основе ее анализа обоснованные управленческие решения.

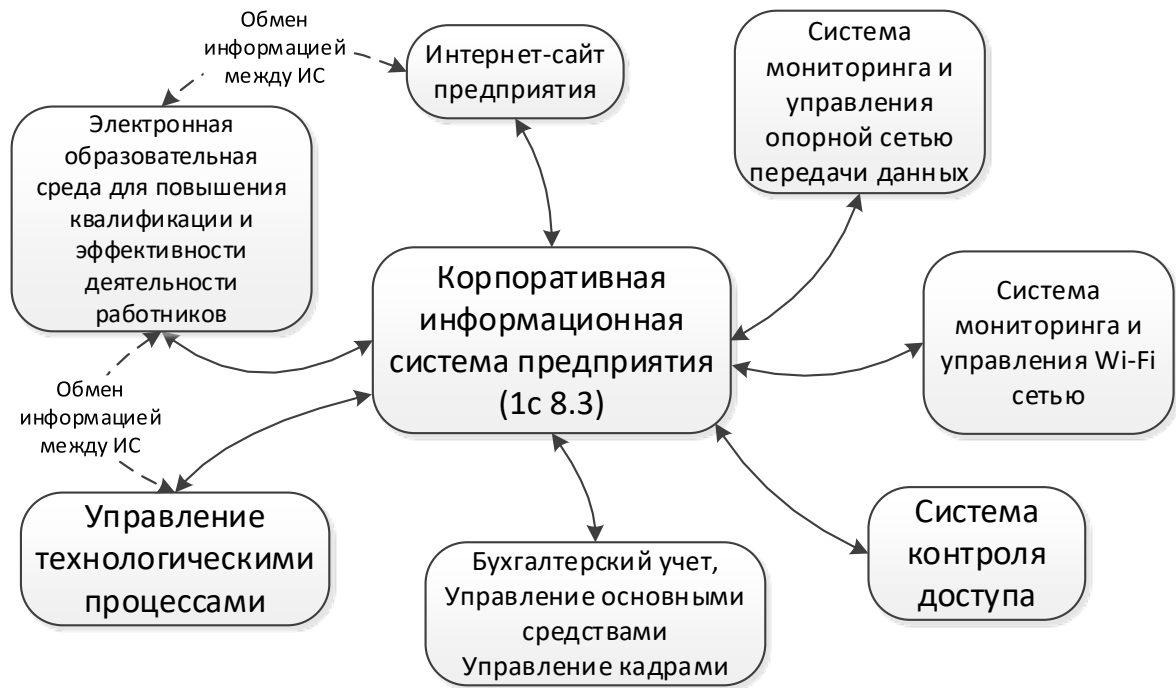


Рисунок 25 – Структурно-логическая схема ИАСУ предприятия

На рисунке 26 представлена функциональная архитектура ИАСУ, как части единого информационного пространства предприятия пищевой промышленности.

Реализация и внедрение ИАСУ представляют собой итерационный процесс, который, при всех попытках его формализовать и регламентировать, подвержен влиянию большого количества активных элементов системы.

Понимание необходимости внесения определенных изменений в существующие бизнес-процессы часто приходит не в процессе их анализа, а именно при внедрении ИАСУ, что ведет к необходимости внесения доработок в ее программный код, а иногда и в архитектуру.

Так или иначе, но это необходимо принимать как должное, закладывая в проектах внедрения необходимый запас ресурсов. Это было учтено в п. 3.3 при разработке сетевой модели с заложенной возможностью исключения из расчетов нерациональных вариантов.

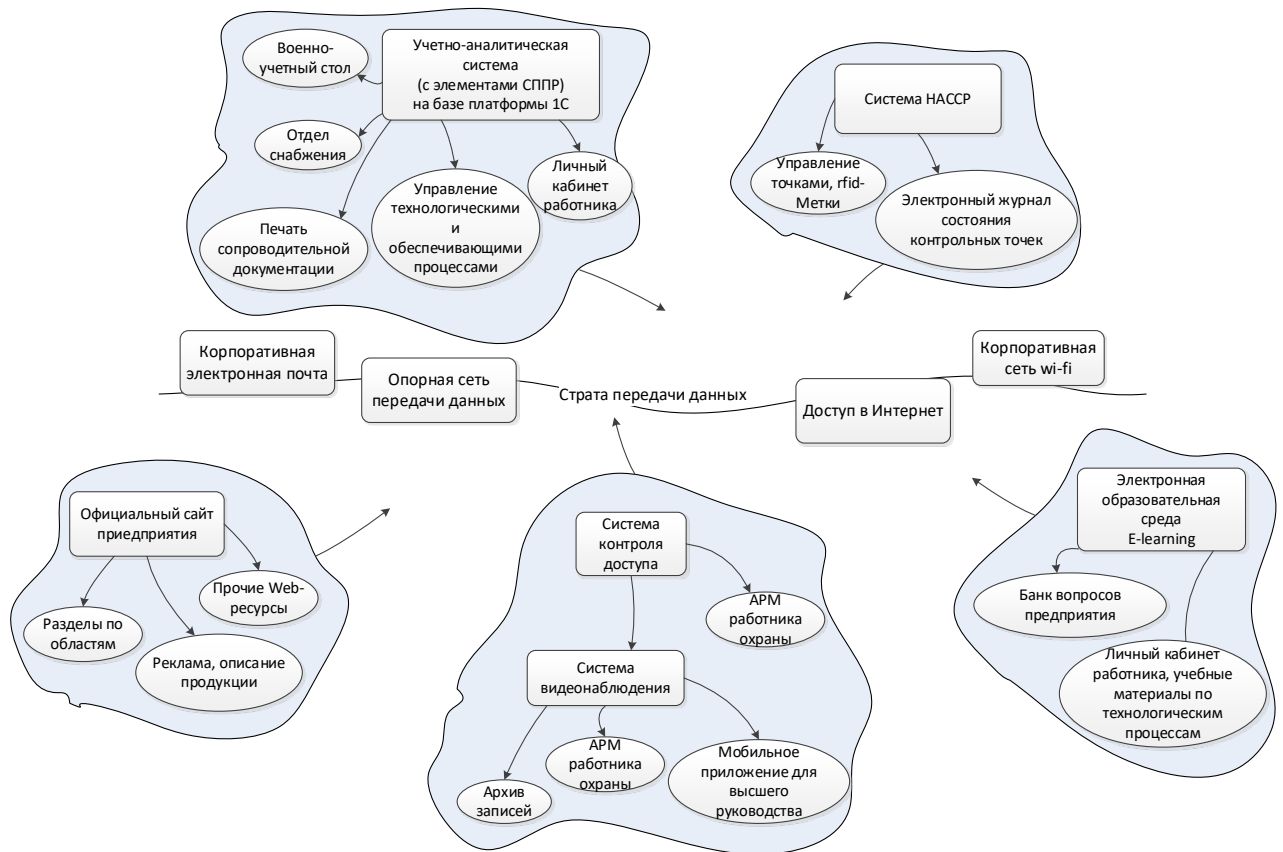


Рисунок 26 – Функциональная архитектура ИАСУ

Выводы по главе 2

На базе методологии общесистемного проектирования разработана методика проектирования ИАСУ применительно к предприятию пищевой промышленности. Методика построена по принципу постепенной формализации от абстрактных моделей к структурированным.

На основе предложенной методики получена информационная модель ИАСУ как единого информационного пространства предприятия пищевой промышленности, разработана программно-техническая архитектура ИАСУ предприятия пищевой промышленности. С учетом структурно-функциональных моделей «как есть» разработана структура целей ИАСУ (главная цель – подцели – задачи – функции – операции).

На основании разработанной структуры целей определен перечень групп параметров, представляющих собой элементы диаграммы причинно-следственных

связей (ДПСС в нотации SDCM) ИАСУ предприятия в виде каузальной граф-модели, элементы которой связаны и составляют замкнутые контуры кибернетического управления с положительными и отрицательными связями.

Построена концептуальная структурно-динамическая модель ИАСУ предприятия пищевой промышленности и определены актуальные задачи оперативного, тактического и стратегического управления.

На основе ДПСС разработаны и эшелонированы по компонентам (ИАСУ предприятия, ЭОС, система контроля доступа и др.) стратегические карты ИАСУ предприятия пищевой промышленности.

На основании комплекса критериев управления разработаны графическое и текстовое описание бизнес-процессов рыбоперерабатывающего предприятия (на примере ООО «РИФ») в нотации BPMN 2.0: функции по исполнителям, информационные потоки с декомпозицией от общего к частному на всех уровнях детализации.

Разработанные диаграммы BPMN проанализированы на предмет интеграции подсистем ИАСУ с учетом их взаимосвязей, по результатам чего при помощи семантического моделирования разработаны диаграммы сущность-связь (ER-модели) в нотации Баркера. Для территориально распределённого рыбоперерабатывающего предприятия (на примере ООО «РИФ») разработаны техническая и функциональная архитектуры ИАСУ.

3. Разработка универсального программно-аппаратного комплекса для интегрированной автоматизированной системы управления

3.1 Функциональная схема автоматизации технологической линии горячего копчения рыбы

Разработка алгоритмов управления, создающих предпосылки возможно более полного использования всех доступных ресурсов (материальных, энергетических, информационных) продолжает оставаться актуальной проблемой современной технической практики управляемых систем.

Одним из широко используемых методов в теории оптимального управления является метод динамического программирования, разработанный и предложенный Р. Беллманом принцип оптимальности [90]. Исходя из этого принципа были получены уравнения Беллмана для непрерывных систем (уравнение 14.21 [90]) и рекуррентное соотношение Беллмана для дискретных систем (уравнение 13.30 [90]).

В данной главе (в п. 3.2) с использованием уравнения Беллмана и метода функций Ляпунова рассмотрена задача определения методом Красовского Н.Н. коэффициентов линейного управления, формируемого разрабатываемым ПАК и стабилизирующего до асимптотической устойчивости заданный технологами режим работы автоматической установки для горячего копчения рыбы.

Далее (в п. 3.3) на основе рекуррентного соотношения Беллмана для дискретных систем с использованием теории графов построена математическая модель процесса поэтапной разработки ПАК и предложен алгоритм получения рационального решения в этом процессе.

На основании полученных вариантов был разработан универсальный ПАК автоматизации производственно-технологических и обеспечивающих процессов, функционирующий совместно с ИАСУ. Всего было реализовано на практике более 100 экземпляров ПАК.

Разработанный ПАК, благодаря наличию в его структуре микрокомпьютера с большими вычислительными ресурсами создает возможности автоматического управления в текущем времени разнородными процессами – производственно-технологическими (процессы переработки пищевого сырья) и обеспечивающими (например, СКУД).

В качестве примера его возможного использования в диссертации рассмотрена автоматизация технологии горячего копчения рыбы. При проектировании ПАК за основу взят один из самых энергоэффективных вариантов реализации процесса горячего копчения рыбы [77]. Способ обеспечивает высокое качество готовой продукции при минимизации затрат подводимой энергии.

В настоящей работе предложен способ автоматизации процесса горячего копчения рыбы в коптильной установке тоннельного типа. В рассматриваемом способе сама стадия копчения проводится в соответствии с другим патентом [76]. Однако контроль показателя влажности дыма в коптильной камере недостаточно проработан – в случае уменьшения влажности коптильного дыма от заданного повышают расход отработанного коптильного дыма в линии рециркуляции. В то же время показатель влажности отработанного дыма в некоторых случаях может быть недостаточным, поэтому в разработанной нами установке предусмотрен монтаж форсунки для распыления воды, управляемой регулятором. Также в разработанной нами установке предусмотрено управление ТЭНом в дымогенераторе.

Необходимо отметить, что в способе [77] предложено использовать два микропроцессора – один для управления процессом копчения, второй – для управления процессами подсушки, проварки и охлаждения. Кроме того, не рассматривается задача определения параметров системы управления при отклонении текущих значений параметров технологического процесса от их заданных значений.

Схема установки горячего копчения рыбы с нашими модификациями имеет следующий вид (рисунок 27).

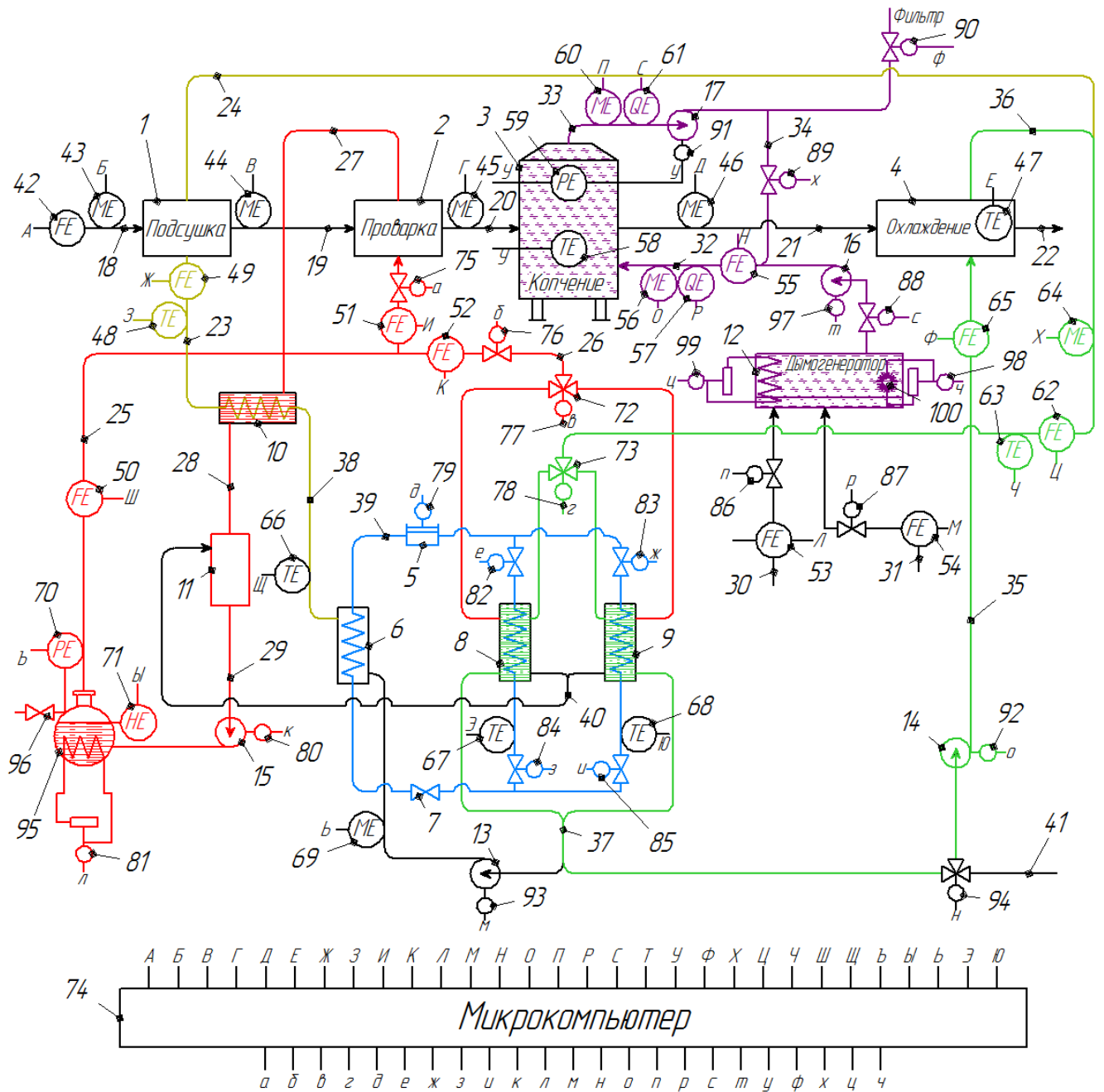


Рисунок 27 – Структурная модель автоматизации процесса горячего копчения рыбы

Описание элементов модели автоматизации процесса горячего копчения рыбы приведено в таблице 1.

Таблица 1 - Описание элементов модели автоматизации процесса горячего копчения рыбы

Обозначение	Наименование
1	Камера подсушки
2	Камера проварки
3	Камера копчения
4	Камера охлаждения
5	Поршневой компрессор

6	Конденсатор
7	Терморегулирующий вентиль
8	Рабочая секция испарителя
9	Резервная секция испарителя
10	Теплообменник-рекуператор
11	Сборник конденсата
12	ТЭН в дымогенераторе
13	Нагнетающий вентилятор
14	Нагнетающий вентилятор
15	Питательный насос
16	Нагнетающий вентилятор
17	Вытяжной вентилятор
18	Линия подачи рыбы в камеру подсушки
19	Линия подачи рыбы в камеру проварки
20	Линия подачи рыбы в камеру копчения
21	Линия подачи рыбы в камеру охлаждения
22	Отвод копченой рыбы из камеры охлаждения
23	Подача воздуха в камеру подсушки рыбы
24	Отвод отработанного воздуха из камеры подсушки в рабочую секцию испарителя
25	Подача пара из парогенератора в камеру проварки
26	Подача пара из парогенератора в резервную секцию испарителя
27	Отвод отработанного пара в теплообменник-рекуператор
28	Отвод пара из теплообменника-рекуператора в сборник конденсата
29	Отвод конденсата в парогенератор
30	Подача опилок в дымогенератор
31	Подача воздуха в дымогенератор
32	Подача дыма в коптильную камеру
33	Отвод коптильного дыма из камеры
34	Рециркуляция коптильного дыма
35	Подача охлажденного воздуха в камеру охлаждения
36	Отвод отработанного воздуха из камеры охлаждения в рабочую секцию испарителя
37	Подача воздуха из рабочей секции испарителя в конденсатор
38	Подача воздуха из конденсатора в теплообменник-рекуператор
39	Замкнутый контур хладагента теплонасосной установки
40	Отвод конденсата из секции испарителя в сборник конденсата
41	Подпитка охлажденного воздуха свежим
42	Датчик расхода
43	Датчик начальной влажности рыбы
44	Датчик влажности рыбы после подсушки
45	Датчик влажности рыбы после проварки
46	Датчик влажности рыбы после копчения
47	Датчик температуры в камере охлаждения
48	Датчик температуры воздуха, подаваемого в камеру подсушки
49	Датчик расхода воздуха, подаваемого в камеру подсушки
50	Датчик расхода пара из парогенератора
51	Датчик расхода пара, подаваемого в камеру проварки
52	Датчик расхода пара, подаваемого в резервную секцию испарителя
53	Датчик расхода опилок

54	Датчик расхода воздуха
55	Датчик расхода коптильного дыма
56	Датчик влажности коптильного дыма на входе в камеру
57	Датчик концентрации коптильного дыма на входе в камеру
58	Датчик температуры в коптильной камере
59	Датчик разрежения в коптильной камере
60	Датчик влажности коптильного дыма на выходе из камеры
61	Датчик концентрации коптильного дыма на выходе из камеры
62	Датчик расхода воздуха, подаваемого в рабочую секцию испарителя
63	Датчик температуры воздуха, подаваемого в рабочую секцию испарителя
64	Датчик влажности воздуха, подаваемого в рабочую секцию испарителя
65	Датчик расхода охлажденного воздуха, подаваемого в камеру охлаждения
66	Датчик температуры воздуха, подаваемого из конденсатора в теплообменник-рекуператор
67	Датчик температуры хладагента в рабочей секции испарителя
68	Датчик температуры хладагента в рабочей секции испарителя
69	Датчик влажности воздуха после рабочей секции испарителя
70	Датчик давления пара в парогенераторе
71	Датчик уровня конденсата в парогенераторе
72	Переключатель потока
73	Переключатель потока
74	Микропроцессор
75 – 94, 97 – 99	Приводы исполнительных устройств
95	Парогенератор
96	Предохранительный клапан
100	Форсунка
А - Ю	Входные каналы управления
а - ч	Выходные каналы управления

Рассмотрим более подробно на каждую стадию технологического процесса.

Этап 1 – Подсушка рыбы

Подготовку воздуха для подсушки осуществляют в теплонасосной установке, которая состоит из компрессора 5, исполнительного механизма для него 79, конденсатора 6, терморегулирующего вентиля 7 и двухсекционного испарителя, который включает в себя рабочую 8 и резервную секции 9, попеременно работающих в режимах конденсации и регенерации (размораживания).

Хладагент всасывается компрессором 5, сжимается до давления конденсации и по линии 39 направляется в конденсатор 6. Конденсируясь, он отдает теплоту воздуху, который, нагреваясь, подается по линии 38 в теплообменник-рекуператор 10. До теплообменника-рекуператора установлен датчик температуры.

В теплообменнике-рекуператоре 10 воздух нагревают до заданной температуры за счет вторичного тепла отработанного пара, отводимого из камеры проварки 2 по линии 27, а затем по линии 23 подают в камеру подсушки 1. На линии 23 установлены датчик температуры 48 и расхода воздуха 49, которые передают микропроцессору текущую информацию о параметрах теплового потока, он сравнивает эти показания с заданными (60 °С) и в случае отклонения передает сигнал исполнительному механизму 93, регулируя вентилятор 13 и воздействуя на расход воздуха в линии 23.

Потоки отработанного воздуха после подсушки рыбы соответственно в линии 24 подают в рабочую секцию 8 испарителя, после рабочей секции испарителя поток осушенного и охлажденного воздуха разделяют на две части, одну из которых посредством вентилятора 13 направляют сначала на подогрев в конденсатор 6 по линии 37 (установлен датчик влажности 69), затем и в теплообменник-рекуператор 10 по линии 38, и далее на подсушку рыбы по линии 23 в камеру подсушки 1, а другую – с помощью вентилятора 14 по замкнутому контуру рециркуляции 35 направляют на охлаждение рыбы в камере охлаждения 4. До камеры охлаждения установлен датчик расхода воздуха 65.

Хладагент же, отдав тепло, направляется в терморегулирующий вентиль 7, где дросселируется до заданного давления. С этим давлением хладагент поступает в рабочую секцию 8 испарителя и испаряется с выделением холода. Пары хладагента по замкнутому контуру 39 направляются в компрессор 5, сжимаются до давления конденсации и термодинамический цикл повторяется.

Микропроцессор, получая информацию от датчика влажности 44 проводит коррекцию теплового потока:

- если влажность подсушенной рыбы будет выше заданной, микропроцессор повышает расход воздуха в камеру подсушки 1;
- если влажность подсушенной рыбы будет ниже заданной, микропроцессор понижает расход воздуха в камеру подсушки 1. Подсушенная рыба поступает в камеру проварки по линии 19.

Этап 2 – Проварка рыбы

Для получения пара используют парогенератор 95 с электронагревательными элементами и предохранительным клапаном 96. Также в системе установлен датчик давления пара 70 и датчик уровня конденсата 71.

По результатам анализа рынка был выбран парогенератор ПГЭ-40Т фирмы «Проинструмент». Он изготовлен из нержавеющей стали, что позволяет получать чистый беспримесный пар для нужд пищевой промышленности. Производительность не зависит от электропроводности воды, за счет чего пар на выходе максимально стабилен. Выход на рабочий режим составляет 6 минут. Парогенератор является энергоэффективным – при отсутствии потребления пара он стоит под давлением, практически не потребляя электроэнергии. Мощность парогенератора ПГЭ-40Т составляет 30 кВт, производительность – 40 кг/ч при рабочем давлении 1,0-5,5 МПа.

Основной поток полученного насыщенного пара температурой 110-120 °С отводят из парогенератора 95 по линии 25 и распределяют на два потока:

- один поток подают в камеру проварки по линии 25. Установлен датчик расхода насыщенного пара 51, исполнительный механизм 75. Отработанный теплый пар отводится по линии 27 из камеры проварки 2 и этим паром нагревают воздух, полученный из хладагента по линии 5-38. Образовавшийся конденсат собирается в сборнике конденсата 11 и цикл повторяется.

- другой поток насыщенного пара при необходимости направляют на регенерацию (размораживание) охлаждающей поверхности резервной секции испарителя 9 по линии 26. Образовавшийся конденсат при размораживании резервной секции испарителя 9 отводят в сборник конденсата 11 по линии 40, и затем в режиме замкнутого цикла вновь подают в парогенератор 95 по линии 29 с помощью насоса 15 посредством управляемого исполнительного привода 80.

После камеры проварки установлен датчик влажности рыбы 45 (целевое значение – 65%), далее по линии 20 рыба поступает в камеру копчения 3. На момент начала копчения рыбы должна быть проварена на 70-75%.

Этап 3 – Копчение рыбы

В процессе копчения микропроцессор 74 сравнивает значение концентрации коптильного дыма, измеряемое датчиком 57 на линии 32 с заданной оптической плотностью (0,8 – 1,2). Если значения разнятся, то микропроцессор подает сигнал на исполнительные механизмы 86 и 87, которые регулируют расход опилок по линии 30 и расход воздуха по линии 31 соответственно в дымогенераторе 12. Режим подачи коптильного дыма на входе в коптильную камеру по линии 32 микропроцессор устанавливает с помощью исполнительного привода 97 регулируемого – вентилятора 16.

Влажность коптильного дыма на входе в коптильную камеру измеряется датчиком 56 и регулируется форсункой с водой 100 и ТЭНом 12, расположенными в дымогенераторе. Микропроцессор контролирует этот показатель по линии 34 следующим образом:

- при уменьшении от заданного значения влажности коптильного дыма исполнительный механизм 89 открывает заслонку, увеличивая рециркуляцию дыма, а исполнительный механизм 90 регулирует положение заслонки при выбросе дыма в атмосферу, уменьшая этот выброс через фильтр по линии 33. Для более эффективного увеличения значения влажности в случае необходимости применяется плоскофакельная форсунка В6661А с углом факела распыла 63 градуса производства ООО «Общемаш».

- при увеличении от заданного значения влажности коптильного дыма микропроцессор 74 уменьшает рециркуляцию отработанного дыма по линии 34 путем закрытия заслонки исполнительным механизмом 89, а исполнительный механизм 90 регулирует положение заслонки, увеличивая выброс дыма через специальный фильтр в атмосферу. При необходимости влажность коптильного дыма может быть снижена посредством исполнительного механизма 99, увеличивая потребляемую мощность ТЭНа 12 в дымогенераторе.

Параллельно микропроцессор на каждом временном интервале измеряет концентрацию коптильного дыма на входе 57 и выходе 61 из коптильной камеры датчиками. Также в коптильной камере установлен датчик 59, который измеряет

величину разрежения дыма – он регулируется исполнительным механизмом 91, который воздействует на вытяжной вентилятор 17.

Этап 4 – Охлаждение рыбы

Процесс охлаждения рыбы осуществляют в камере охлаждения 4 в замкнутом контуре рециркуляции 35-37 по охлаждающему воздуху. В зависимости от величины рассогласования заданного и текущего значения температуры, измеряемой датчиком 47 в камере охлаждения 4, микропроцессор 74 устанавливает расход охлаждающего воздуха в контуре рециркуляции посредством исполнительного устройства 92 регулируемого привода вентилятора 14, текущее значение расхода которого измеряется датчиком 65.

Потоки отработанного воздуха после подсушки и охлаждения рыбы соответственно в линиях 24 и 36 объединяют и подают в рабочую секцию 8 испарителя, после рабочей секции испарителя поток осушенного и охлажденного воздуха разделяют на две части, одну из которых посредством вентилятора 13 направляют сначала на подогрев в конденсатор 6, затем и в теплообменник-рекуператор 10, и далее на подсушку рыбы по линии 23 в камеру подсушки 1, а другую - с помощью вентилятора 14 по замкнутому контуру рециркуляции направляют на охлаждение рыбы в камере охлаждения 4.

Рассматриваемая реализация сложной технологии горячего копчения рыбы, обеспечивает наряду с повышением качества готовой продукции значительную экономию энергоресурсов за счет рационального использования отработанного пара после варки (подогрев воздуха для сушильной камеры и размораживание испарителя системы охлаждения) и применение теплообменника для охлаждения радиатора системы охлаждения с подогревом воздуха для сушки.

В разрабатываемой установке все операции по горячему копчению рыбы (подготовка острого пара для проварки, подготовка горячего сухого воздуха для подсушки рыбы, управление компрессором, системой охлаждения и уменьшения влажности воздуха, температурой, влажностью и концентрацией коптильного дыма, температурой воздуха в камере охлаждения, переключением системы

охлаждения секции испарителя с охлаждения на разморозку) управляются одной мини-ЭВМ из состава ПАК.

3.2 Математическая модель системы автоматического управления технологической линией горячего копчения рыбы

Значительные вычислительные ресурсы создаваемого ПАК дают возможность обработки информации в соответствии с алгоритмами практически любой сложности, реализованными в установленном на нем программном обеспечении.

Для разработки таких алгоритмов обработки текущей измерительной информации с целью формирования управляющих воздействий в системе автоматического управления процессом горячего копчения рыбы могут быть использованы результаты математической теории управления. Современная техническая практика показала высокую эффективность и надежность этих результатов при их квалифицированном применении. Но такое применение основано на грамотно построенной адекватной математической модели процесса.

В предлагаемой системе управления процессом горячего копчения рыбы построенная строгими методами общая математическая модель, даже без учета динамики исполнительных приводов будет состоять из многомерной системы нелинейных дифференциальных уравнений в частных производных. Общее число фазовых переменных составит несколько десятков. Достаточно указать, что моделирование одного только парогенератора включает при разных подходах от 14 до 20 переменных [30, 31, 82]. Примерно настолько же сложной будет модель каждого теплообменника, которых в схеме 3, а при одновременном размораживании резервного контура – 4. Дымогенератор является еще более сложной, по сравнению с парогенератором, системой. Причем в такой модели должны быть учтены не только размеры того или иного устройства, материалы, из которых они изготовлены, но и условия работы, например, условия теплообмена внутри теплообменника и теплообмен с окружающей средой по внешней границе

теплообменника. При строгом моделировании любое изменение, например, радиусов изгиба многочисленных трубопроводов приведет к изменению модели.

Кроме того, при строгом моделировании должно быть учтено и изменение параметров модели во время работы, аналогично тому, как учитывается изменение характеристик пьезокерамики из-за нагрева вследствие силы трения между статором и ротором пьезоэлектрического двигателя [117,118].

В рассматриваемой системе сложилась ситуация, аналогичная той, которая имеет место быть при моделировании динамики автомобилей и колесных роботов с деформируемыми колесами [1,58]. Деформируемое колесо описывается большим числом параметров (существуют модели, для которых это число свыше 120). Разумное сокращение числа степеней свободы и учитываемых параметров не оказывает существенного влияния на целый ряд практически важных характеристик движения [47].

Следует отметить, что точные значения программных управлений, обеспечивающих поддержание заданных значений технологических параметров, направленных на повышение качества готовой продукции могут быть получены только для конкретного набора технологического оборудования. Поэтому целесообразно использовать упрощенные модели, параметры которых для каждой технологической линии определяются эмпирически.

Следуя этой методике, после изучения описания современных патентов в области копчения рыбы [75,76,77,78] и консультаций с главным технологом предприятия (ООО «РИФ») было выделено 15 наиболее значимых технологических параметров состояния этого процесса $y' = (y_1, y_2 \dots y_{15})$ (таблица 2), а также 10 параметров исполнительных приводов $v' = (v_1, v_2 \dots v_{10})$ (таблица 3), обеспечивающих управление изменением параметров состояния технологического процесса:

Таблица 2 – Параметры состояния

Параметры		Обозначение
Сушка	Температура	y_1
	Влажность	y_2
	Расход	y_3

Хладагент	Давление	y ₄
Охлаждение	Температура	y ₅
	Влажность	y ₆
	Расход	y ₇
Копчение	Температура	y ₈
	Влажность	y ₉
	Плотность	y ₁₀
	Расход	y ₁₁
Влажность рыбы	После подсушки	y ₁₂
	После проварки	y ₁₃
	После копчения	y ₁₄
Температура в камере охлаждения		y ₁₅

Таблица 3 – Исполнительные механизмы

№ п/п	Приводы исполнительных устройств	Параметр	Обозначение
1	Привод вентилятора воздуха на подсушку (93)	Расход воздуха	v_1
2	Привод компрессора для охлаждения и подсушки (79)	Давление хладагента	v_2
3	Привод вентилятора системы охлаждения рыбы (92)	Расход воздуха	v_3
4	Привод ТЭНа дымогенератора (99)	Температура воздушной смеси (дыма)	v_4
5	Привод механизма подачи воды (98)	Влажность воздушной смеси (дыма)	v_5
6	Привод механизма подачи опилок (86)	Концентрация (оптическая плотность) дыма	v_6
7	Привод вентилятора подачи дыма к коптильную камеру (97)	Расход воздуха	v_7
8	Привод вентилятора рециркуляции / удаления дыма (91)	Расход воздуха	v_8
9	Привод вентиля забора свежего воздуха (94)	Расход воздуха	v_9
10	Привод вентиля забора воздуха в дымогенератор (87)	Расход воздуха	v_{10}

Далее совместно с главным технологом для конкретного экземпляра установки были определены значения программных управлений (задающих воздействий) $p(t)$: управляющие напряжения приводов вентиляторов 91-93,97; управляющее напряжение привода компрессора 79; управляющие напряжения приводов вентилях 87,94; управляющее напряжение привода механизма подачи опилок 86, управляющее напряжение привода ТЭНа дымогенератора 99.

При таких программных управлениях в системе протекает технологический процесс горячего копчения рыбы, на выходе которого получается продукция с необходимыми органолептическими, физико-химическими (таблица 4) и микробиологическими показателями качества (таблица 5) [104].

Таблица 4 – Органолептические показатели качества рыбы горячего копчения

Наименование показателя	Характеристика и норма
Готовность продукта	Мясо, икра или молоки проварены, без признаков сырости; мясо легко отделяется от позвоночной кости; кровь полностью свернувшаяся
Внешний вид	Поверхность рыбы чистая, невлажная или незначительно увлажненная. Подкожное пожелтение, не связанное с окислением жира: Незначительное – у сериолеллы, сериолы, луфаря, масляной рыбы, нигриты, сабли-рыбы, кабан-рыбы, пелаמידы, снэка, угрей, сардин, ставриды и скумбрии Допускаются: - небольшая вздутость кожи, морщинистость кожи - незначительная увлажненность поверхности; - незначительные белково-жировые натеки на поверхности или незначительные ожоги; - отпечатки сетки или прутков на поверхности рыбы (без загрязнения сажей); - проколы мяса от прутков в головной или хвостовой частях рыб; - у рыбы из ставриды, разделанной на пласт с костью, пласт без кости и филе, расслоение мяса на срезах у отдельных экземпляров
Наружные повреждения	Рыба целая, без наружных повреждений. Допускаются: - надлом рыб; - поломанные жаберные крышки и плавники; - надломленные головки; - обломленные головки не более чем у 3% рыб (по счету) в одной единице транспортной тары; - небольшие повреждения брюшка

	<ul style="list-style-type: none"> - срывы кожи площадью не более 1 см не более, чем у 15% рыб (по счету) в одной единице транспортной тары; - порезы кожи длиной не более 1 см не более, чем у 5% рыб (по счету) в одной единице транспортной тары; - не более трех повреждений у одного экземпляра рыбы не более, чем у 10% рыб (по счету) в одной единице транспортной тары
Цвет кожного покрова	<p>Равномерный, золотистый, с оттенком соломенно-желтого до темно-золотистого.</p> <p>Допускаются:</p> <ul style="list-style-type: none"> светлые пятна (не охваченные дымом участки поверхности) площадью не более 2 см² у отдельных экземпляров рыб; незначительные светлые пятна от соприкосновения с сеткой (решеткой); <p>Края теши и места обвязки могут быть не охвачены дымом</p>
Консистенция	<p>От нежной до плотной, сочная</p> <p>Допускается:</p> <ul style="list-style-type: none"> - суховатая, слегка крошащаяся или волокнистая (в зависимости от вида рыбы)
Вкус и запах	<p>Свойственные рыбе горячего копчения, без постороннего привкуса и запаха;</p> <p>Допускаются:</p> <ul style="list-style-type: none"> - слабовыраженный илистый и йодистый запахи, а также специфический кисловатый привкус, свойственные некоторым видам океанических рыб <p>Аромат пряностей (при их использовании)</p>

Таблица 5 – Микробиологические показатели качества рыбы горячего копчения

Наименование показателя	Значение показателя
Массовая доля поваренной соли, %	От 1,5 до 4,0
Массовая доля сорбиновой кислоты (пищевой добавки Варэкс-5), % не более	0,1
КМАФАнМ, КОЕ/г, не более	1 x 10 ⁴
Бактерии группы кишечных палочек (колиформы) в 1 г. продукта	Не допускаются
Патогенная микрофлора, в том числе сальмонеллы и <i>L.monocytogenes</i> , в 25 г. продукта	Не допускаются
<i>S. aureus</i> , в 1 г продукта	Не допускаются
Сульфитредуцирующие клостридии в 0,1 г продукта (упакованного вакуумом)	Не допускаются

При практическом функционировании системы реальные значения технологических параметров, влияющих на качество продукции, будут неизбежно отклоняться от заданных технологами. Разрабатываемая система автоматического

управления должна на основе обработки измерительной информации, получаемой с соответствующих измерительных устройств, сформировать и реализовать на тех же исполнительных приводах дополнительное, по сравнению с программным стабилизирующее управляющее воздействие, возвращающее возмущенные значения технологического процесса к их заданным значениям.

Все вышеизложенное позволяет рассматривать эту задачу стабилизации заданного технологами режима работы установки как классическую задачу стабилизации заданного управляемого движения [51].

Итак, имеем управляемую систему непрерывного действия, описывающую изменение во времени вектора технологических параметров установки горячего копчения в зависимости от вектора управляющих воздействий

$$\frac{dy}{dt} = Y(y, v) \quad (1)$$

Если даже технологам удалось найти управляющее воздействие $v = p(t)$ (программное управление), обеспечивающее при заданном начальном состоянии

$$y(t_0) = f_0 \quad (2)$$

желаемое поведение (режим работы) управляемого объекта

$$y = y(t, f_0) = f(t) \quad (3)$$

в действительности такого поведения не может быть в принципе, поскольку невозможно идеально точно обеспечить выполнение начального условия, вследствие чего

$$y(t_0) = y_0 \neq f_0 \quad (4)$$

На самом деле есть много других причин того, что реальное поведение (возмущенное движение)

$$y = y(t, y_0) = y(t) \neq y(t, f_0) = f(t) \quad (5)$$

отличается от заданного вследствие неучтенных внешних воздействий F : неточность моделирования, неточность определения программного управления (зачастую программное управление определяется численно, вследствие чего появляется вычислительная погрешность), погрешности реализации программного управления на исполнительных устройствах и т.д.

Но математически для выполнения (5) достаточно возмущения только начальных условий (4). А тогда возникает задача стабилизации заданного режима $y = f(t)$, являющаяся развитием задачи устойчивости в приложении к управляемым системам [51].

При условии (4) (нарушение заданного начального состояния) будет выполнено (5), т.е. вместо заданного движения $y = f(t)$ будем иметь другое поведение системы (возмущенное движение) $y = y(t)$. Следуя Красовскому Н.Н., будем считать, что возмущенное движение происходит под действием другого управляющего воздействия $v = p(t) + u(x)$, где $x(t) = y(t) - f(t)$ – возмущение – отклонение текущего состояния системы от его заданного поведения.

Математическая модель, описывающая возмущенное поведение системы (уравнение возмущенного движения), имеет вид нелинейного векторного дифференциального уравнения

$$\frac{dx}{dt} = \frac{dy}{dt} - \frac{df}{dt} = Y(f + x; p + u) - Y(f; p) = X(x, u) \quad (6)$$

Задачей системы управления является формирование и реализация дополнительного к программному управлению $p(t)$ управляющего воздействия $u(x)$, которое обеспечит асимптотическую устойчивость нулевого решения $x = 0$ системы (6), или в исходных переменных – асимптотическую устойчивость невозмущенного движения (3). Схема замкнутой стабилизирующим управлением системы представлена на рисунке 28.

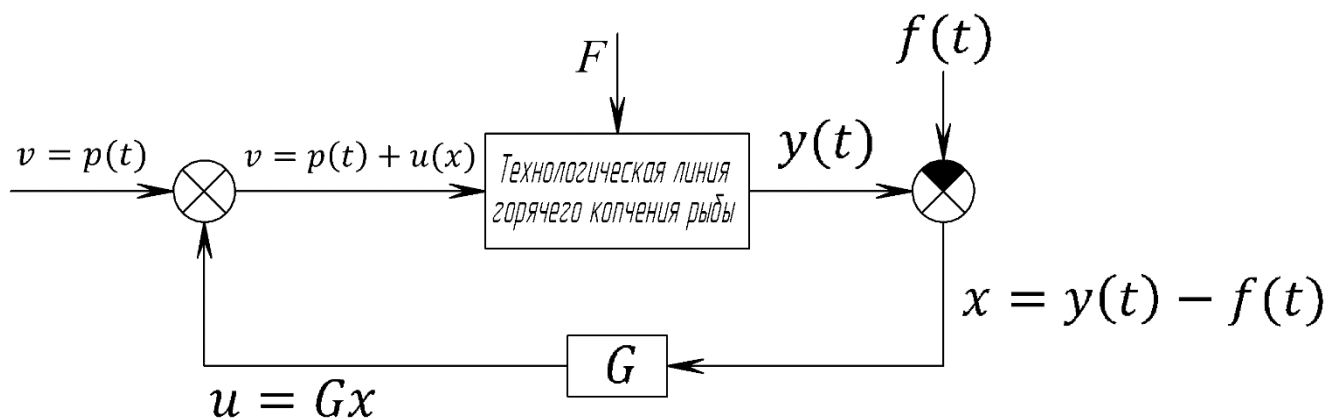


Рисунок 28 – Схема замкнутой системы стабилизации

Для однозначного определения стабилизирующего воздействия аналогично задаче управления [89] вводится критерий качества, т.е. должна быть решена задача оптимальной в смысле этого критерия стабилизации.

В отличие от большинства известных для пищевых отраслей результатов [79, 80], когда для каждого технологического параметра используется автономный контроллер (чаще всего ПИД-регулятор с последующей коррекцией в зависимости от текущих значений других параметров) в данной работе использованы результаты по аналитическому конструированию оптимальных регуляторов [54], для которых каждое стабилизирующее воздействие является функцией всех компонент вектора отклонений. Этим самым взаимное влияние изменений параметров в контуре управления учитывается само собой, при грамотном применении метода нет необходимости в дополнительной коррекции.

Для задачи оптимальной стабилизации Н.Н. Красовский на основе синтеза метода динамического программирования и метода функций Ляпунова доказал теорему об оптимальной стабилизации (теорема IV, [51], с. 485-488), согласно которой функция Ляпунова $V^o = x'Cx$, решающая задачу об асимптотической устойчивости должна удовлетворять уравнению Беллмана из метода динамического программирования (это уравнение следует называть уравнением Ляпунова-Беллмана). Как отмечено Летовым А.М. ([54], с. 140), на связь функций Ляпунова с природой оптимальных систем Красовский Н.Н. обратил его внимание в частной беседе с ним в 1960 году после первых работ Летова А.М. по аналитическому конструированию регуляторов. Эту же связь Красовский Н.Н. еще ранее отметил в своих работах [49,46]. Р. Калман обратил на это внимание позже [120].

Простейшим случаем асимптотической устойчивости является устойчивость по первому приближению. В таких случаях, как известно, действительные части всех корней характеристического уравнения системы первого приближения должны быть отрицательны. Для решения задачи стабилизации до асимптотической в силу первого приближения устойчивости, Н.Н. Красовский на

основе своей теоремы об оптимальной стабилизации разработал практический способ определения линейного стабилизирующего воздействия

Применяя этот метод к рассматриваемой системе и выделяя из уравнения (6) первое приближение, получим

$$\dot{x} = Ax + Bu + X^{(2)}(x, u) \quad (7)$$

где $X^{(2)}(x, u)$ – нелинейные члены, а матрицы коэффициентов линейных членов A и B соответственно равны

$$A = \|a_{ij}\| = \left\{ \frac{\partial X_i}{\partial x_j} \right\}_0 ; i, j = \overline{1, 15} \quad (8)$$

$$B = \|b_{ik}\| = \left\{ \frac{\partial X_i}{\partial u_k} \right\}_0 ; i = \overline{1, n}, k = \overline{1, 10} \quad (9)$$

В результате анализа взаимного влияния параметров в описаниях патентов, изучения математических моделей автономных подсистем [79] и консультаций с ведущим технологом были определены следующие структуры матриц:

$$A = \begin{pmatrix} a_{11} & a_{12} & a_{13} & a_{14} & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ a_{21} & a_{22} & a_{23} & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & a_{33} & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ a_{41} & 0 & a_{43} & a_{44} & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & a_{54} & a_{55} & 0 & a_{57} & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ a_{61} & 0 & a_{63} & a_{64} & a_{65} & a_{66} & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ a_{71} & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & a_{77} & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & a_{88} & 0 & 0 & a_{8,11} & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & a_{98} & a_{99} & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & a_{10,8} & 0 & a_{10,10} & a_{10,11} & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & a_{11,11} & 0 & 0 & 0 \\ a_{12,1} & a_{12,2} & a_{12,3} & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & a_{12,12} & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & a_{13,12} & a_{13,13} & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & a_{14,5} & a_{14,6} & a_{14,7} & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & a_{14,13} & a_{14,14} \\ 0 & 0 & 0 & 0 & a_{15,5} & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & a_{15,15} \end{pmatrix}$$

$$B = \begin{pmatrix} b_{11} & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ b_{21} & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ b_{31} & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & b_{42} & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & b_{53} & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & b_{63} & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & b_{73} & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & b_{79} & 0 \\ 0 & 0 & 0 & b_{84} & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & b_{8,10} \\ 0 & 0 & 0 & 0 & b_{95} & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & b_{9,10} \\ 0 & 0 & 0 & b_{10,4} & 0 & b_{10,6} & 0 & 0 & 0 & 0 & b_{10,10} \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & b_{11,7} & b_{11,8} & 0 & 0 & b_{11,10} \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \end{pmatrix}$$

Необходимые для компьютерного моделирования численные значения компонент матриц первого приближения были получены с учетом коэффициентов

передаточных функций соответствующих устройств при их автономной работе и экспертных оценок технологов ООО «РИФ», для существующей на предприятии установки для горячего копчения рыбы.

$$A = \begin{pmatrix} -0,9 & -1,49 & -1,46 & 1,34 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ -1,2 & -0,8 & -1,65 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & -2,5 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0,59 & 0 & 0,53 & -1,5 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1,04 & -0,9 & 0 & -1,46 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 1,48 & 0 & 1,35 & 1,71 & 1,29 & -0,75 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 1,27 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & -5 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & -1,1 & 0 & 0 & 0,86 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0,8 & -1,1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0,95 & 0 & -1,5 & 0,98 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & -5 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 1,34 & 1,62 & 1,26 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & -0,83 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1,2 & 0,76 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 1,25 & 1,7 & 1,34 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1,2 & -0,8 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 1,46 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & -0,9 \end{pmatrix} \quad (10)$$

$$B = \begin{pmatrix} 1,7 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 2,4 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 4,1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 3,0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 3,1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 3,4 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 5,0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1,1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 6,0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1,1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 5,8 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1,1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 5,7 & 0 & 1,1 & 0 & 0 & 0 & 1,3 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 3,2 & 3,4 & 0 & 5,0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \end{pmatrix} \quad (11)$$

Далее для однозначного определения коэффициентов стабилизирующего управления вводим критерий качества

$$Q = \int_{t_0}^{\infty} [x'qx + u'ru]dt \rightarrow \min \quad (12)$$

Как известно, целесообразность выбора критерия качества в таком виде определяется тем, что интеграл

$$\int_{t_0}^{\infty} \sum_{i,j=1}^{15} q_{ij}x_i x_j dt \quad (13)$$

известным образом характеризует качество переходного процесса, оценивая малость величин $x_i(t)$, а интеграл

$$\int_{t_0}^{\infty} \sum_{k,l=1}^{10} r_{kl}u_k u_l dt \quad (14)$$

не только оценивает затраты ресурсов на формирование управления, но и, в отличие от более, казалось бы, подходящего для этой цели интеграла

$$\int_{t_0}^{\infty} \sum_{k=1}^{10} \gamma_k |u_k| dt \quad (15)$$

где γ_k – весовые коэффициенты, позволяет не только оценить с несущественными отличиями затраты ресурсов, но и найти оптимальное управление в замкнутой форме и простое по своей структуре.

Неаналитичность подынтегральной функции в интеграле (15), во-первых, приводит к трудоемким вычислениям, а во-вторых, структура алгоритма управления очень сложна и технически трудно осуществима. Поэтому критерий качества взят в виде суммы (13) и (14).

Причем, согласно методу функций Ляпунова, в случае асимптотической устойчивости по первому приближению и функция Ляпунова, и подынтегральная функция должны быть знакоопределенными квадратичными формами. В общем случае q и r – определенно-положительные симметричные матрицы соответствующих размерностей. Для простоты можно брать в качестве q и r единичные матрицы. Изменяя значения компонент этих матриц, можно существенно менять значимость вклада поведения того или иного технологического параметра во время переходного процесса на общее значение критерия качества. Например, на первой стадии технологического процесса, при подсушке рыбы, температура воздуха является более значимым параметром, чем влажность. Задача

$$\dot{x} = Ax + Bu ; Q = \int_{t_0}^{\infty} [x'qx + u'ru] dt \rightarrow \min$$

называется линейно-квадратичной задачей стабилизации, поскольку функция Ляпунова $V^0 = x'Cx$, подынтегральная функция – квадратичные формы, а асимптотическая устойчивость определяется по линейному приближению.

Из теоремы Красовского Н. Н. об оптимальной стабилизации следует, что выражение

$$B[V^0, u, t, x] = \frac{dV}{dt} + w \quad (16)$$

на оптимальном управлении

$$\mathbb{B} [V^\circ, u^\circ[t], t, x^\circ[t]] = 0 \quad (17)$$

а для любого другого стабилизирующего управления

$$\mathbb{B}[V^\circ, u, t, x] = \frac{dV}{dt} + \omega \geq 0$$

Следовательно, \mathbb{B} , как функция управления на u° достигает минимума – отсюда Красовский Н.Н. предложил следующий практический способ решения линейно-квадратичной задачи:

1. $\frac{\partial \mathbb{B}}{\partial u} = 0$ следовательно u° – оптимальное линейное управление, выраженное через частные производные $\frac{\partial V}{\partial x_i}$ и матрицы A, B, q, r , имеет вид

$$u_j^\circ = -\frac{1}{2} \sum_{k=1}^{10} \frac{\Delta_{kj}}{\Delta} \sum_{i=1}^{15} \frac{\partial V^\circ}{\partial x_i} b_{ik} \quad (18)$$

Δ_{kj} – алгебраическое дополнение элемента k -й строки и j -ого столбца матрицы r , а определитель

$$\Delta = \begin{vmatrix} r_{11} & r_{12} & \cdots & r_{1\ 10} \\ r_{21} & r_{22} & \cdots & r_{2\ 10} \\ \vdots & \vdots & & \vdots \\ r_{10\ 1} & r_{10\ 2} & \cdots & r_{10\ 10} \end{vmatrix}$$

2. $\mathbb{B}[V^\circ, u[t], t, x[t]]_{u=u^\circ} \equiv 0$ – квадратичная форма, которая получается из \mathbb{B} при подстановке оптимального управления (18), в силу (17) должна обращаться в 0 для любого x , откуда все коэффициенты квадратичной формы должны обращаться в 0.

3. Отсюда для определения матрицы коэффициентов функции Ляпунова $V^\circ = x' C x$ получается матричное уравнение Ляпунова-Беллмана-Риккати

$$A' C + C' A - C B r^{-1} B' C + q = 0 \quad (19)$$

Достаточным условием однозначной разрешимости этого уравнения в задаче стабилизации заданного режима работы линии горячего копчения рыбы является выполнение условия управляемости

$$\text{rank } W = \text{rank} [B \ AB \ A^2 B \ \dots \ A^{14} B] = 15 \quad (20)$$

Для нашей системы матрица W имеет размерность 15×150 и для выполнения условия (20) среди этих 150 столбцов достаточно выделить 15 линейно-независимых. Отметим, что в нашей задаче это условие выполнено.

Метод однозначного определения коэффициентов стабилизирующего управления решением линейно-квадратичной задачи настолько широко применяется в инженерной практике, что в пакете прикладных программ для решения задач технических вычислений MatLab имеется соответствующий программный модуль $[x, l, g] = \text{care}(a, b, q, r)$, который вычисляет единственное определенно-положительное решение S алгебраического уравнения Риккати.

Рассмотрим применение этого модуля к разрабатываемой системе управления процессом горячего копчения рыбы. В качестве матриц a и b берутся матрицы соответственно (10), (11). Матрицы q и r – единичные матрицы размерности 15×15 и 10×10 (как уже отмечалось, в общем случае это могут быть любые положительно определенные симметричные матрицы).

Подставляя эти параметры в модуль *care*, получим в качестве решения алгебраического уравнения Риккати матрицу коэффициентов оптимальной функции Ляпунова K (21). Очевидно, что для найденной матрицы условия симметричности и определенной положительности выполняются.

$$K = \begin{pmatrix} 2.4256 & -1.8781 & 0.2288 & 0.6595 & -0.3408 & 0.0885 & 0.1544 & 0.0000 & 0.0000 & -0.0000 & 0.0000 & 0.6258 & 0.9934 & 0.0662 & -0.1363 \\ -1.8781 & 3.2697 & -0.7919 & -0.5591 & 0.3182 & -0.1213 & -0.1134 & 0.0000 & 0.0000 & -0.0000 & -0.0000 & 1.0635 & 1.3690 & -0.0104 & 0.1398 \\ 0.2288 & -0.7919 & 0.4424 & 0.0892 & -0.0322 & 0.0592 & 0.0024 & -0.0000 & -0.0000 & 0.0000 & 0.0000 & -0.3222 & -0.3811 & 0.0042 & -0.0284 \\ 0.6595 & -0.5591 & 0.0892 & 0.4258 & -0.0073 & 0.0650 & 0.0024 & 0.0000 & 0.0000 & -0.0000 & 0.0000 & 0.0941 & 0.1560 & 0.0183 & -0.0135 \\ -0.3408 & 0.3182 & -0.0322 & -0.0073 & 0.6276 & -0.1006 & -0.1787 & 0.0000 & 0.0000 & -0.0000 & -0.0000 & 0.0855 & 0.1225 & 0.0461 & 0.2808 \\ 0.0885 & -0.1213 & 0.0592 & 0.0650 & -0.1006 & 0.3177 & 0.0152 & -0.0000 & -0.0000 & 0.0000 & 0.0000 & -0.1346 & -0.1471 & 0.0699 & -0.0990 \\ 0.1544 & -0.1134 & 0.0024 & 0.0024 & -0.1787 & 0.0152 & 0.1544 & -0.0000 & -0.0000 & 0.0000 & 0.0000 & 0.0121 & 0.0439 & 0.0463 & -0.0817 \\ 0.0000 & 0.0000 & -0.0000 & 0.0000 & 0.0000 & -0.0000 & -0.0000 & 0.1862 & 0.0102 & -0.0816 & 0.0020 & 0.0000 & 0.0000 & 0.0000 & 0.0000 \\ 0.0000 & 0.0000 & -0.0000 & 0.0000 & 0.0000 & -0.0000 & -0.0000 & 0.0102 & 0.1410 & -0.0055 & -0.0040 & 0.0000 & 0.0000 & -0.0000 & 0.0000 \\ -0.0000 & -0.0000 & 0.0000 & -0.0000 & -0.0000 & 0.0000 & 0.0000 & -0.0816 & -0.0055 & 0.1903 & 0.0038 & -0.0000 & -0.0000 & 0.0000 & -0.0000 \\ 0.0000 & -0.0000 & 0.0000 & 0.0000 & -0.0000 & 0.0000 & 0.0000 & 0.0020 & -0.0040 & 0.0038 & 0.0746 & 0.0000 & 0.0000 & 0.0000 & -0.0000 \\ 0.6258 & 1.0635 & -0.3222 & 0.0941 & 0.0855 & -0.1346 & 0.0121 & 0.0000 & 0.0000 & -0.0000 & 0.0000 & 2.3324 & 3.4323 & 0.0837 & 0.0599 \\ 0.9934 & 1.3690 & -0.3811 & 0.1560 & 0.1225 & -0.1471 & 0.0439 & 0.0000 & 0.0000 & -0.0000 & 0.0000 & 3.4323 & 6.7426 & 0.2602 & 0.0380 \\ 0.0662 & -0.0104 & 0.0042 & 0.0183 & 0.0461 & 0.0699 & 0.0463 & 0.0000 & -0.0000 & 0.0000 & 0.0000 & 0.0837 & 0.2602 & 0.3806 & -0.0403 \\ -0.1363 & 0.1398 & -0.0284 & -0.0135 & 0.2808 & -0.0990 & -0.0817 & 0.0000 & 0.0000 & -0.0000 & -0.0000 & 0.0599 & 0.0380 & -0.0403 & 0.5414 \end{pmatrix} \quad (21)$$

Кроме матрицы (21) модуль *care* также формирует матрицу коэффициентов усиления G (22) – коэффициентов линейного оптимального в смысле критерия (12) стабилизирующего воздействия.

$$G = \begin{pmatrix} 0.5542 & 1.4078 & 0.3022 & 0.1449 & 0.0523 & 0.1022 & 0.0003 & 0.0000 & 0.0000 & -0.0000 & 0.0000 & 2.2953 & 3.4120 & 0.1048 & -0.0125 \\ 1.9786 & -1.6773 & 0.2675 & 1.2775 & -0.0220 & 0.1951 & 0.0072 & 0.0000 & 0.0000 & -0.0000 & 0.0000 & 0.2822 & 0.4681 & 0.0548 & -0.0406 \\ 0.0164 & 0.0069 & 0.1138 & 0.2105 & 0.7099 & 0.8440 & 0.2698 & -0.0000 & 0.0000 & -0.0000 & 0.0000 & -0.1321 & 0.0991 & 0.6119 & 0.1252 \\ -0.0000 & -0.0000 & 0.0000 & 0.0000 & 0.0000 & 0.0000 & -0.0000 & 0.6524 & 0.0301 & 0.5956 & 0.0335 & -0.0000 & -0.0000 & 0.0000 & -0.0000 \\ 0.0000 & 0.0000 & -0.0000 & 0.0000 & 0.0000 & -0.0000 & -0.0000 & 0.0592 & 0.8180 & -0.0317 & -0.0232 & 0.0000 & 0.0000 & -0.0000 & 0.0000 \\ -0.0000 & -0.0000 & 0.0000 & -0.0000 & -0.0000 & 0.0000 & 0.0000 & -0.0897 & -0.0060 & 0.2094 & 0.0042 & -0.0000 & -0.0000 & 0.0000 & -0.0000 \\ 0.0000 & -0.0000 & 0.0000 & 0.0000 & -0.0000 & 0.0000 & 0.0000 & 0.0064 & -0.0128 & 0.0121 & 0.2388 & 0.0000 & 0.0000 & 0.0000 & -0.0000 \\ 0.0000 & -0.0000 & 0.0000 & 0.0000 & -0.0000 & 0.0000 & 0.0000 & 0.0068 & -0.0136 & 0.0128 & 0.2538 & 0.0000 & 0.0000 & 0.0000 & -0.0000 \\ 0.1698 & -0.1248 & 0.0027 & 0.0026 & -0.1966 & 0.0167 & 0.1699 & -0.0000 & -0.0000 & 0.0000 & 0.0000 & 0.0134 & 0.0483 & 0.0509 & -0.0899 \\ 0.0000 & -0.0000 & 0.0000 & 0.0000 & -0.0000 & 0.0000 & -0.0000 & 0.1200 & 0.1393 & 0.1706 & 0.3759 & 0.0000 & -0.0000 & 0.0000 & -0.0000 \end{pmatrix} \quad (22)$$

Вектор собственных значений замкнутой управлением $u = Gx$ системы приведен в таблице 6.

Таблица 6 – Корни характеристического уравнения, полученные в MatLab

λ_1	$-7.7287 + 0.0000i$	λ_6	$-2.0950 + 0.0000i$	λ_{11}	$-0.7506 + 0.0000i$
λ_2	$-4.8328 + 0.0000i$	λ_7	$-1.4856 + 0.0000i$	λ_{12}	$-8.5016 + 0.5904i$
λ_3	$-4.1805 + 0.0000i$	λ_8	$-1.3369 + 0.0000i$	λ_{13}	$-8.5016 - 0.5904i$
λ_4	$-2.9091 + 0.9958i$	λ_9	$-0.9449 + 0.3193i$	λ_{14}	$-6.0107 + 0.0000i$
λ_5	$-2.9091 - 0.9958i$	λ_{10}	$-0.9449 - 0.3193i$	λ_{15}	$-1.9834 + 0.0000i$

Действительные части всех корней характеристического уравнения, как и должно быть, отрицательны. При этом комплексные корни попарно сопряжены. MatLab позволяет при помощи процедуры $lsim(sys_cl, u, t, x0)$ построить графики переходных процессов в замкнутой системе, показывающие процесс возвращения возмущенных значений всех 15 технологических параметров к их заданным значениям, которым в переменных x_i соответствует точка $x_i = 0$. На рисунке 29 представлены графики стабилизации температур для соответствующих y_i .

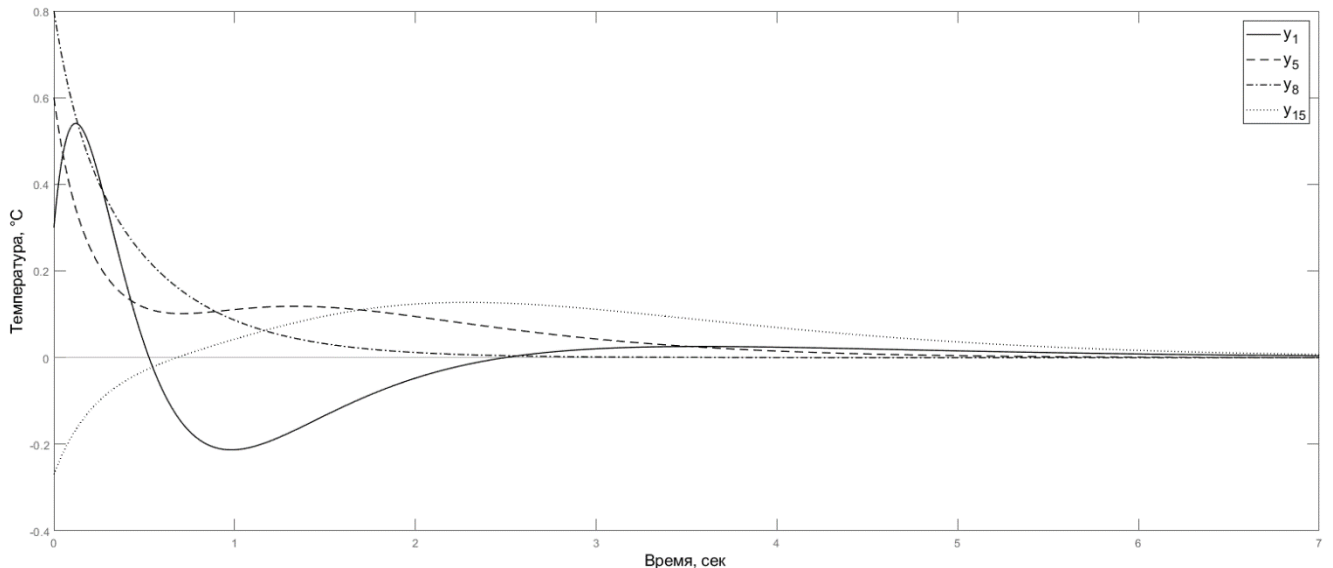


Рисунок 29 – Графики переходных процессов температуры

Остальные графики переходных процессов параметров y при различных значениях критерия качества (матрица q) приведены в приложении 4.

Таким образом, при наличии адекватной математической модели и измерительной информации, разрабатываемый ПАК дает возможность формирования на основе методов современной теории управления многомерного информационного стабилизирующего сигнала практически любой сложности.

Но эти управляющие воздействия формируются в виде маломощного информационного сигнала. Для их реализации на исполнительные приводы (вентиляторы, ТЭН, регулирующие вентили) должен быть подан управляющий сигнал большой мощности. Для этого в систему включаются преобразователи питания.

Наибольшее распространение, особенно в устройствах автоматизации, получил импульсный способ управления оборотами приводных двигателей, причем для двигателей средней и большой мощности применяются тиристорные схемы. При этом за счет включения в цепь последовательной катушки индуктивности и параллельного конденсатора (т.е. использования фильтра переменной составляющей) и за счет применения многофазных тиристорных схем можно обеспечить величину пульсации напряжения питания в пределах 5-10%. При соблюдении такой величины пульсации работа электродвигателя практически не отличается от его работы при постоянном напряжении [110]. Для усиления найденного слабotoчного управляющего сигнала в рассматриваемой технологической установке применяются соответствующие тиристорные схемы.

Результаты, полученные для построенной математической модели с применением метода функций Ляпунова и метода динамического программирования для непрерывных систем, позволяют сделать процесс горячего копчения рыбы более энергоэффективным и стабилизировать качество продукции, с использованием разрабатываемого универсального ПАК.

Разработка универсального ПАК является многоэтапной и ввиду своей сложности требует разработки модели, позволяющей исключать из расчета нерациональные с позиции выбранной стратегии варианты, на основе чего возможна разработка алгоритмов, оптимизирующих распределение общих ограниченных ресурсов между этапами. По своей природе эти задачи не могут

рассматриваться как непрерывные, и для их решения, как известно, весьма эффективно применение метода динамического программирования для дискретных систем [90].

3.3 Алгоритм разработки универсального программно-аппаратного комплекса

ПАК, функционирующий в качестве неотъемлемой части ИАСУ, безусловно, является сложной системой. При разработке такой системы целесообразно разработать сетевую модель (рисунок 30), изучение которой помогает составить достаточно ясное представление о системе и ее функционировании.

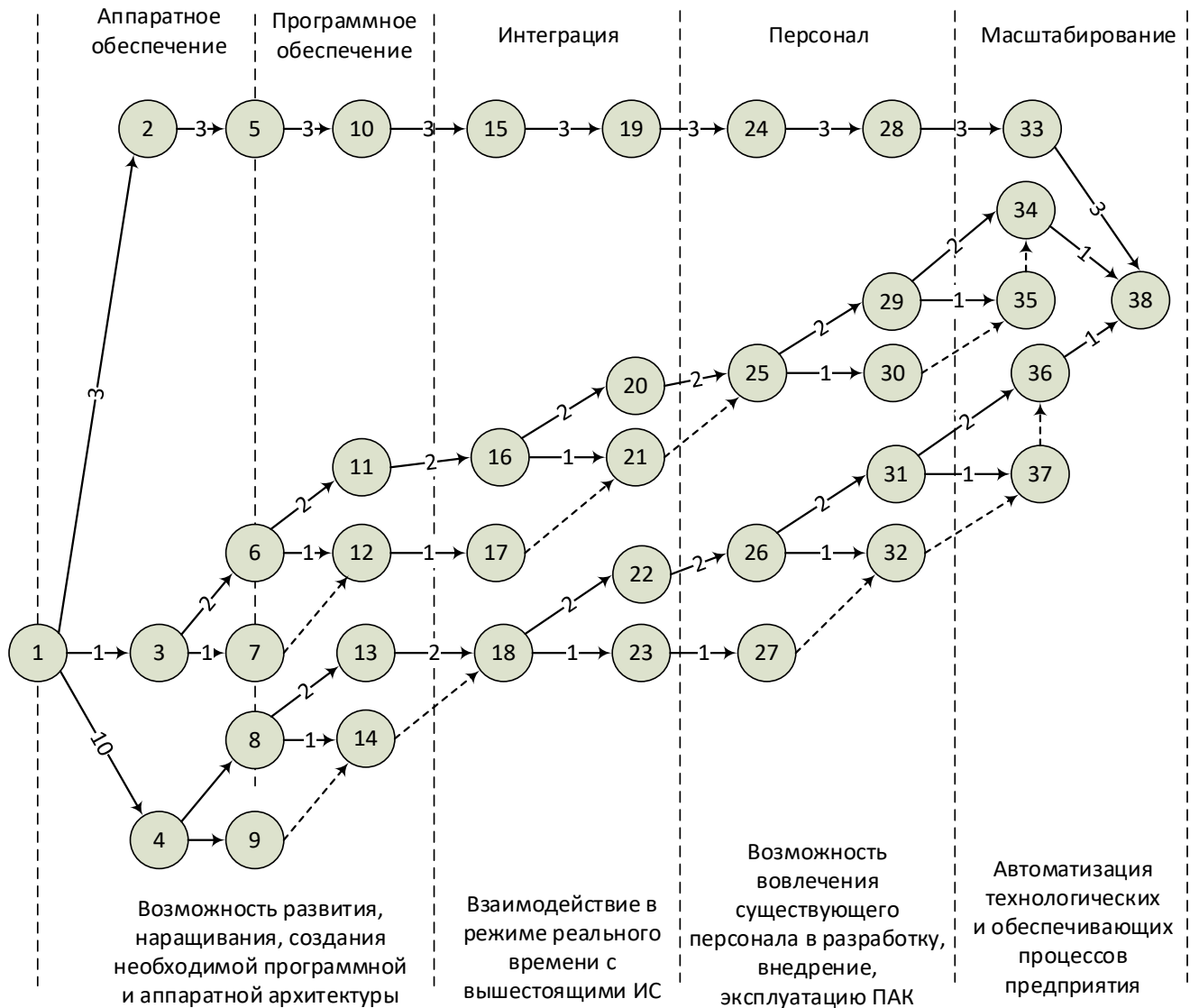


Рисунок 30 – Сетевая модель разработки ПАК в составе ИАСУ

В таблице 7 представлено описание узлов этого ориентированного графа с краткими комментариями по соответствующим операциям.

Таблица 7 – Описание узлов графа

№	Описание операции
1	Начало процесса разработки ПАК.
2	Выбор коммерческого аппаратного обеспечения с закрытой архитектурой.
3	Выбор готового модульного доступного аппаратного обеспечения с открытой архитектурой.
4	Самостоятельная разработка модульного доступного аппаратного обеспечения с открытой архитектурой (операция характеризуется высокой стоимостью и большим временем выполнения).
5	Модернизация и развитие коммерческого аппаратного обеспечения (невозможны, либо нецелесообразны ввиду высоких затрат).
6	Модернизация и развитие аппаратного обеспечения с открытой архитектурой (возможны и могут быть реализованы).
7	Выбор готового модульного доступного аппаратного обеспечения с открытой архитектурой (не сопровождается модернизацией и развитием, аппаратное обеспечение используется в неизменном виде).
8	Модернизация и развитие аппаратного обеспечения с открытой архитектурой, разработанного своими силами (возможны и могут быть реализованы; операция характеризуется относительно высокой стоимостью и большим временем выполнения).
9	Аппаратное обеспечение с открытой архитектурой, разработанное своими силами (используется «как есть», без модернизации и развития).
10	Коммерческое аппаратное обеспечение обуславливает выбор коммерческого программного обеспечения (как правило, с ограниченным выбором и без возможности развития).
11	Готовое аппаратное обеспечение с открытой архитектурой позволяет приступить к модернизации и развитию открытого программного

	обеспечения непосредственно после его выбора (имеется большой выбор промышленных операционных систем с открытым исходным кодом).
12	Существует возможность использовать выбранное открытое программное обеспечение «как есть», в случае отсутствия целесообразности модернизации и развития.
13	Модернизация открытого программного обеспечения (может быть проведена непосредственно после его выбора, при этом имеется большой выбор промышленных операционных систем с открытым исходным кодом; однако в случае разработки аппаратного обеспечения своими силами достаточно трудоемкими будут задачи, связанные с отладкой загрузчика микрокомпьютера, отладкой операционной системы под примененную элементную базу).
14	Существует возможность использовать выбранное программное обеспечение «как есть» (задачи, связанные с отладкой загрузчика микрокомпьютера, отладкой операционной системы под примененную элементную базу все равно будут требовать решения).
15	Создание собственных механизмов интеграции и тем более их модернизация в случае выбора закрытого коммерческого аппаратного обеспечения, и соответствующего ему программного (как правило невозможно или нецелесообразно из-за высокой стоимости; это особенно применимо к задачам интеграции с вышестоящими информационными системами в режиме реального времени).
16	Доступен широкий выбор механизмов интеграции с вышестоящими ИС, возможны их развитие и модернизация (возможна реализация операции силами персонала предприятия пищевой промышленности).
17	Выбор механизмов интеграции с вышестоящими ИС допускает использование их «как есть» в случае отсутствия целесообразности (при этом изначально при выборе дальнейшая возможность модернизации и развития заложены).

18	Выбор механизмов интеграции с вышестоящими ИС возможен (однако необходима проработка с учетом специфики примененных при разработке аппаратного обеспечения своими силами сочетаний элементной базы).
19	Модернизация и развитие механизмов интеграции в случае выбора закрытого коммерческого аппаратного обеспечения, и соответствующего ему программного (как правило невозможно, или нецелесообразно из-за высокой стоимости; это особенно применимо к задачам интеграции с вышестоящими информационным системами в режиме реального времени).
20	Выбор механизмов интеграции с вышестоящими ИС (допускает модернизацию и развитие, в том числе силами персонала предприятия пищевой промышленности).
21	Выбор механизмов интеграции с вышестоящими ИС допускает использование их «как есть» в случае отсутствия целесообразности.
22	Выбор механизмов интеграции с вышестоящими ИС допускает модернизацию и развитие (реализация осложняется тем, что аппаратное обеспечение разрабатывалось своими силами).
23	Выбор механизмов интеграции с вышестоящими ИС допускает использование их «как есть» в случае отсутствия целесообразности (однако необходимо учитывать специфику аппаратного обеспечения, разработанного своими силами).
24	При выборе коммерческого решения с закрытой архитектурой варианты кадрового обеспечения, как правило, отсутствуют (при опытной эксплуатации и внедрении возможно задействование только внешних специалистов со стороны вендора; стоимость такой операции может быть очень высокой, при этом часто отсутствуют альтернативы).
25	В данной операции основная ставка сделана на собственный персонал предприятия пищевой промышленности (действительно, открытые

	доступные решения требуют для работы с ними базовой инженерной подготовки, информация для повышения квалификации общедоступна).
26	Решение собственной разработки требует для своего сопровождения специалистов достаточно высокой квалификации (особенно когда на старте были запланированы модернизация и развитие ПАК; в любом случае сопровождение такого проекта требует ресурсоемкой координации с командой разработки программно-аппаратного комплекса).
27	Решение собственной разработки все равно требует для своего сопровождения специалистов достаточно высокой квалификации (даже если на данном этапе не требуются модернизация и развитие ПАК).
28	Так как привлечение собственного персонала затруднительно, то и повышение квалификации является сложной и дорогостоящей задачей (необходимо заметить, что крупные производители коммерческих решений имеют свои центры компетенции, однако специфика обучения предусматривает лишь поверхностное ознакомление с целью дальнейшего привлечения собственных дорогостоящих специалистов).
29	Возможно повышение квалификации собственного персонала предприятия пищевой промышленности (в том числе за счет открытости и доступности выбранной программно-аппаратной части; для эффективной организации этого процесса применяется электронная образовательная среда предприятия пищевой промышленности).
30	В качестве маловероятной, но возможной операции повышение квалификации персонала может быть не предусмотрено (например, в случае достаточного уже имеющегося уровня подготовки).
31	Возможно повышение квалификации собственного персонала предприятия пищевой промышленности (сложность задачи заключается в необходимости координации команды разработки – носителей знаний о ПАК и работников производства; для эффективной организации этого

	процесса применяется электронная образовательная среда предприятия пищевой промышленности).
32	В данном случае повышение квалификации персонала может быть не предусмотрено, вследствие достаточного уже имеющегося уровня подготовки (однако в любом случае возникнут сложности координации работников производства с командой разработки ПАК, даже если все они являются одним коллективом предприятия пищевой промышленности).
33	Масштабирование решения невозможно или нецелесообразно вследствие высокой стоимости (причиной этого является выбор коммерческого решения с закрытой архитектурой).
34	Возможно масштабирование с использованием промышленных общедоступных технологий (вертикальное и горизонтальное масштабирование может быть реализовано силами персонала предприятия пищевой промышленности).
35	При отсутствии необходимости в масштабировании оно не реализуется (однако его потенциальная возможность присутствует вследствие выбора доступного решения с открытой архитектурой).
36	Масштабирование решения собственной разработки возможно (задача осложняется необходимостью привлечения к реализации высококвалифицированных специалистов, причем из числа тех, кто ранее занимался разработкой выбранного решения).
37	В случае отсутствия необходимости в масштабировании оно потенциально возможно (с учетом изложенного в пункте 37).
38	Завершение процесса разработки ПАК автоматизации технологических и обеспечивающих процессов предприятия пищевой промышленности.

Представление графа в виде сетевой модели наглядно и удобно для анализа, однако для применения математических методов теории графов необходимо задание графа матрицами.

Пусть $v_1 \dots v_{38}$ – вершины, а $e_1 \dots e_{47}$ – ребра ориентированного графа $G(V, E)$ модели разработки ПАК в составе ИАСУ. Каждый элемент матрицы инцидентности этого графа (рисунок 31) подчиняется условию

$$a_{ij} = \begin{cases} 1, & \text{если } v_i \text{ исходит из } e_j \\ -1, & \text{если } v_i \text{ входит в } e_j \\ 0, & \text{если } v_i \text{ не инцидентна } e_j \end{cases}$$

Матрица смежности модели разработки ПАК в составе ИАСУ (рисунок 32) подчиняется следующему правилу: элемент a_{ij} , стоящий на пересечении v_i -той строки и v_j -го столбца равен единице, если имеется ребро, идущее из вершины v_i в вершины v_j , и a_{ij} равен нулю в противном случае.

Сетевое планирование при реализации такого сложного проекта увеличит эффективность работ и будет способствовать сокращению сроков выполнения и уменьшению затрат.

Сетевая модель является графическим представлением взаимосвязей операций проекта (отношение упорядочения или следования) и может быть в дальнейшем применена для календарного планирования его реализации. Операция в сетевой модели представляется стрелкой (ориентированной дугой), направление которой соответствует реализации проекта во времени. Отношение упорядочения между операциями задается с помощью событий. Событие определяется как момент времени, когда завершаются одни операции и начинаются другие [101].

Как следует из рисунка 30, проект начинается с выбора аппаратного обеспечения. В настоящее время для предприятий доступны три варианта.

Первый вариант (1-2) предполагает выбор коммерческого аппаратного обеспечения с закрытой архитектурой, как правило, зарубежного производства. Такое аппаратное обеспечение имеет очень высокую стоимость, выраженную в относительных весах как 3.

Второй вариант (1-3) заключается в выборе типового современного аппаратного обеспечения, доступного по стоимости (вес = 1). При этом оно должно быть достаточно мощным, масштабируемым, с открытой архитектурой, хорошо документированным. Должно быть, как минимум, два вида промышленных

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	32	33	34	35	36	37	38	
1	0	1	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
2	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
3	0	0	0	0	0	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
4	0	0	0	0	0	0	0	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
6	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
7	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
8	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
9	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
10	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
11	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
12	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
13	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
14	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
15	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
16	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
17	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
18	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
19	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
20	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
21	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
22	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
23	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
24	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
25	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	
26	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	0	0	0	0	0	0	0	
27	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	
28	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	
29	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	0	0	0	0	
30	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	
31	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	0
32	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0
33	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1
34	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1
35	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0
36	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1
37	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0
38	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

Рисунок 32 – Матрица смежности модели разработки ПАК в составе ИАСУ

Аппаратное обеспечение должно быть совместимо с основными библиотеками с открытым исходным кодом, разработанными в средах программирования С\С++, прежде всего реализующих работы с различными интерфейсами связи, линиями GPIO, дисплеями и др.

Третий вариант (1-4) подразумевает разработку аппаратного обеспечения полностью своими силами, используя «атомарную» элементную базу. Существуют попытки разработки подобного аппаратного обеспечения, однако стоимость и сроки являются недопустимо большими. Несмотря на большие плюсы этого

варианта, он подразумевает очень глубокие знания в данной области и в рамках диссертации рассматривается как нереализуемый на большинстве предприятий пищевой промышленности, даже крупных. Многовекторность компетенций специалистов имеет предел, и для реализации данного варианта потребуется отдельная команда разработчиков, которая вместо того, чтобы сосредоточиться на предметной области – автоматизации технологических и обеспечивающих производственных процессов, будет заниматься низкоуровневыми задачами проектирования печатных плат, увязки будущего аппаратного обеспечения с программным и др. В любом случае, такой вариант больше подходит для тиражирования готового продукта и последующей его продажи. Вес стоимости третьего варианта на основании экспертной оценки специалистов в данной области принят равным 10.

Программное обеспечение, а это прежде всего операционная система, тесно связана с аппаратной частью. Архитектура (например, ARM) также накладывает свои ограничения. Как правило, при выборе аппаратного обеспечения, помимо архитектуры, мощности, набора интерфейсов необходимо иметь представление о наличии операционных систем, желательно, разработанных с учетом особенностей выбираемого аппаратного обеспечения, хорошо документированных и активно развивающихся. Является очевидным, что в качестве приоритетного варианта следует рассматривать операционную систему с открытым исходным кодом.

Однако в случае первого варианта выбор операционной системы уже сделан производителем коммерческого ПАК, со всеми его достоинствами и недостатками. Поменять операционную систему, и даже поставить ее полную версию (с полноценным доступом на уровне командной строки) не представляется возможным. Из этого следует, что в случае первого варианта отсутствует гибкость и возможность развития в плане программного обеспечения.

Напротив, второй вариант дает такие возможности, разумеется, в разумных пределах. Разработчики могут устанавливать на операционную систему различные модули расширения, самостоятельно развивать и модернизировать соответствующее программное обеспечение. Стоимость тестового стенда, как

правило, является сравнительно низкой, что дополнительно стимулирует развитие ПАК при втором варианте, в том числе путем создания и проверки на практике натуральных моделей. Отдельно необходимо отметить возможность модернизации программного обеспечения с целью интеграции ПАК с вышестоящими информационными системами, в том числе в режиме реального времени.

Третий вариант полностью повторяет второй, и на сетевой модели переходит в него, однако следует еще раз подчеркнуть, что затраты и сроки реализации третьего варианта с точки зрения аппаратного обеспечения делают его нереализуемым в условиях даже крупного предприятия пищевой промышленности. Более того, даже в случае второго варианта можно часто услышать мнение что такая разработка является непрофильной для ИТ-службы предприятия пищевой промышленности, и должна быть отдана на аутсорсинг. Одной из неявных задач диссертации является показать, что это далеко не так, и второй вариант является реализуемым и эффективным с точки зрения технологичности, надежности, производительности, стоимости, а также временных затрат.

Благодаря научно-техническому прогрессу, увеличивающимся запросам потребителей и конкуренции производителей аппаратное обеспечение в настоящее время развивается стремительными темпами. Появляются новые версии микрокомпьютеров, обладающие в несколько раз более мощными процессорами, объемами оперативной памяти, чем предыдущие версии. При этом их стоимость повышается сравнительно незначительно, либо даже остается прежней. Вводятся в промышленную эксплуатацию все более современные интерфейсы, прослеживается четкая тенденция перехода к цифровым датчикам и прочим устройствам измерения, в результате чего математический аппарат при расчете управления получает более точные входные данные.

Новым разрабатываемым программно-аппаратным комплексам становятся доступными для решения сложные задачи промышленной автоматизации, которые до этого решались неполноценно и неэффективно с учетом недостатков предыдущих версий микрокомпьютеров. Этот процесс непрерывен, и с

увеличением показателей аппаратной части сразу же увеличивается сложность решаемых задач, поэтому разработчики таких решений должны смотреть «за горизонт».

Настало время наравне с терминами «умный дом», «умный вуз» ввести термин «умное», «интеллектуальное» предприятие пищевой промышленности. При этом сложная система управления предприятием, хотя и может стремиться стать автоматической, все равно останется автоматизированной, человеко-машинной. В немалой степени это определяется наличием вышестоящей ИАСУ. ИАСУ, помогая принимать обоснованные управленческие решения, взаимодействует с представленными в работе ПАК, с одной стороны получая от них информацию, а с другой – на основании обобщенной информации и своего математического аппарата вырабатывает дополнительные команды управления, которые отправляются на необходимые экземпляры ПАК. Например, в зависимости от потребительского спроса на пищевую продукцию ИАСУ может отправить на необходимые экземпляры ПАК команды в допустимых пределах ускорить или замедлить технологические процессы, тем самым повышая эффективность деятельности предприятия. В результате получается, что ПАК формирует команды управления внутри себя, но при этом дополняет их командами (информацией) из вышестоящей ИАСУ. Данный функционал особенно востребован на территориально-распределенных предприятиях пищевой промышленности и реализуется сравнительно просто, учитывая мощный функционал разработанных ИАСУ и ПАК.

Однако процесс развития ПАК является непрерывным, и прежде всего это относится к аппаратной части. С одной стороны, развитие ПАК позволяет интегрировать управление технологическими и обеспечивающими производственными процессами на одном отдельно взятом экземпляре комплекса, повышая эффективность процессов, и, следовательно, прибыль предприятия. С другой стороны, развитие – это неизбежные затраты на модернизацию. В данной работе предпринята попытка обобщить опыт, полученный при внедрении экземпляров ПАК, в процессе работы взаимодействующих с ИАСУ, а также опыт,

полученный при общении со специалистами предприятий пищевой промышленности различных направлений. Учитывая вышесказанное, большинство весовых коэффициентов принято на основании методов экспертной оценки.

Для повышения эффективности вычислений при решении задачи развития аппаратной части ПАК был применен математический аппарат динамического программирования. Метод динамического программирования основан на сформулированном Р. Беллманом [12] принципе оптимальности. Этот принцип применим для систем, последующее развитие (движение) которых может быть полностью определено состоянием их в любой текущий момент времени. Принцип оптимальности сформулирован Беллманом следующим образом [90]:

Оптимальное поведение обладает тем свойством, что, каковы бы ни были первоначальное состояние и решение в начальный момент, последующие решения должны составлять оптимальное поведение относительно состояния, получающегося в результате первого решения.

По существу, этот принцип определяет порядок поэтапного решения задачи выбора программно-аппаратной архитектуры ПАК и ее модернизации, допускающей декомпозицию с помощью рекуррентных вычислительных процедур, выполняемых, как правило, на ЭВМ. В частности, для дискретных систем метод Беллмана дает возможность многоэтапного определения принимаемых решений.

Необходимо отметить, что решение такой задачи может быть выполнено не только на «интуитивном» уровне, но и методом полного перебора, однако данный метод содержит в себе множество недостатков [101].

1. Каждая комбинация вариантов развития аппаратной части ПАК определяет некоторое решение задачи в целом, следовательно, перебор всех возможных комбинаций в задачах средней и большой размерности приведет к чрезмерно большому объему вычислений и исчерпанию ресурсов используемой ЭВМ, либо вычисления будут выполняться лишком долго.

2. Отсутствует априорная информация о решениях, которые не являются допустимыми, что снижает эффективность вычислительной схемы полного перебора.

3. Информация, полученная в результате анализа некоторых комбинаций вариантов развития аппаратной части ПАК, в дальнейшем не используется для выявления и исключения из расчетов неоптимальных комбинаций.

Применение методов динамического программирования позволяет устранить все перечисленные недостатки. Для вычислений может быть применена сетевая модель ПАК, приведенная выше. Можно ожидать, что исследование сетевой модели позволит применить математический аппарат динамического программирования максимально эффективно. Приведенная на рис. 3 сетевая модель ПАК имеет высокий уровень абстрагирования, и для реального расчета необходимо разделить ее на отдельные части (аппаратное и программное обеспечение, интеграция, персонал, масштабирование и др.). Для каждой из частей была разработана собственная более подробная сетевая модель с весовыми коэффициентами, полученными с применением метода экспертной оценки. Развитие аппаратной части комплекса всецело подчиняется финансовой составляющей, так как направлено на повышение прибыли предприятия пищевой промышленности путем повышения его эффективности, в том числе за счет повышения управляемости и качества (степени обоснованности, подкрепленности информацией) принимаемых решений. Для удобства рассмотрения задачи развитие (модернизация) аппаратной части разделено на три части (этапа). Является очевидным, что на выбор и дальнейшее развитие всех трех частей выделяется некоторая сумма, при этом вложения в каждую часть (этап) приносят определенную прибыль, следующую из повышения эффективности ПАК. Математический аппарат динамического программирования в данном случае призван помочь правильно распределить материальные ресурсы по этапам с целью максимизации будущей прибыли от разработанного ПАК. Учитывая весьма сложное влияние различных параметров ПАК друг на друга (надежность, автономность, интеграция, функционал, стоимость и др.), ПАК в результате может

быть представлен как некая система компромиссов. При этом стоимостная составляющая очень важна, она является главным ограничением для всех остальных параметров. Разработанный ПАК имеет низкую стоимость не только за счет прямых причин – собственная разработка, но и за счет опосредованных – например, за счет возможности привлечения к его эксплуатации персонала, имеющего стандартную инженерную подготовку. Это особенно актуально для современного предприятия пищевой промышленности.

Развитие аппаратной части ПАК разделено на 3 этапа:

1. Развитие «полевой части» - различные датчики, устройства считывания магнитных карт (в том числе формата UHF RFID), исполнительные устройства для управления технологическими и обеспечивающими производственными процессами.

2. Развитие микрокомпьютера – архитектура и мощность центрального процессора, тип и объем оперативной памяти, периферия и интерфейсы. Особое внимание следует обратить на интерфейс GPIO, необходимый для работы с цифровыми устройствами и прерываниями, с малыми временными интервалами (порядка 50-200 мкс).

3. Развитие аппаратной реализации интеграции с вышестоящей интегрированной информационной системой управления предприятием. При этом в случае аварии на линиях связи ПАК должен работать достаточное количество времени в качестве автономной системы, без деградации качества управления процессами, с возможностью записи необходимых событий в журнал.

При рассмотрении этих трех этапов возникает задача их согласования между собой, в результате чего каждый этап может быть characterized величинами суммарных затрат и возможных доходов (в абсолютных единицах). Пример соответствующих данных приведен в таблице 8, в которую включены, в том числе, варианты развития ПАК с нулевыми затратами, и, соответственно, с нулевыми доходами. Это в теории позволяет отказаться от развития ПАК на каком-либо этапе. Вопрос целесообразности такого решения является открытым и, с некоторыми оговорками, может рассматриваться в реальных проектах. Цель

состоит в получении максимального дохода (R) от затрат, инвестиций (C) в развитие ПАК. Суммарные инвестиции $C_1 + C_2 + C_3$ в абсолютных единицах (или, например, в млн руб.) приняты равными 5.

При четырех вариантах задача имеет $3 \times 4 \times 2 = 24$ возможных решения, некоторые являются недопустимыми, так как превышают объем суммарного финансирования. Решение задачи методом полного перебора обладает недостатками, перечисленными выше при описании метода динамического программирования, при этом необходимо обратить особое внимание, что размерность реальной задачи с учетом всех особенностей аппаратной части ПАК приведет при попытке решения к исчерпанию ресурсов даже достаточно мощной ЭВМ.

Примем следующие определения для инвестиций на каждом этапе развития аппаратной части ПАК: x_1 – объем инвестиций для этапа 1; x_2 – объем инвестиций для этапа 2; x_3 – объем инвестиций для этапа 3.

Значения x_1 и x_2 заранее неизвестны, однако лежат в интервале между 0 и 5. Так как затраты на реализацию каждого из проектов выражаются целыми числами, то значения x_1 и x_2 могут быть соответственно равны 0,1,2,3,4,5. При этом очевидно, что x_3 соответствует суммарному объему инвестиций в ПАК в целом, что равно 5.

На рисунке 33 представлена сетевая модель этапов модернизации и развития аппаратной части ПАК с целью максимизации возможной прибыли. Каждому возможному значению x_1, x_2, x_3 поставлен в соответствие вариант, связанный с одним из этапов развития ПАК $j = 1, j = 2, j = 3$. Начальный (нулевой) этап $j = 0$ введен для удобства вычислений. Веса (длины) соединительных линий численно равны возможным доходам от соответствующего наилучшего проекта из числа допустимых. Рассмотрим линии, соединяющие узел 0 на этапе $j = 0$ с узлами $x_1 = (0,1,2,3,4,5)$ на этапе $j = 1$. Линия (0,0) соответствует случаю, когда инвестиции на этапе 1 не предусмотрены. Допустимым здесь является проект 1 с $R_1 = 0$, при этом линии (0,0) соответствует вес $R_1(0,0) = 0$. С другой стороны, для линии (0,1)

допустимыми оказываются варианты 1 и 2. Вариант 2 выбирается на основании более высокого уровня дохода $R_1 = 5$. Соответственно, линии (0,1) назначается вес 5. По тем же причинам линии (0,2) назначается вес 6, поскольку все три варианта являются допустимыми, а варианту 3 соответствует самый высокий уровень дохода $R_1 = 6$. Значения $x_1 = 3,4,5$ соответствуют «избыточным» вариантам, для которых в лучшем случае $R_1 = 6$.

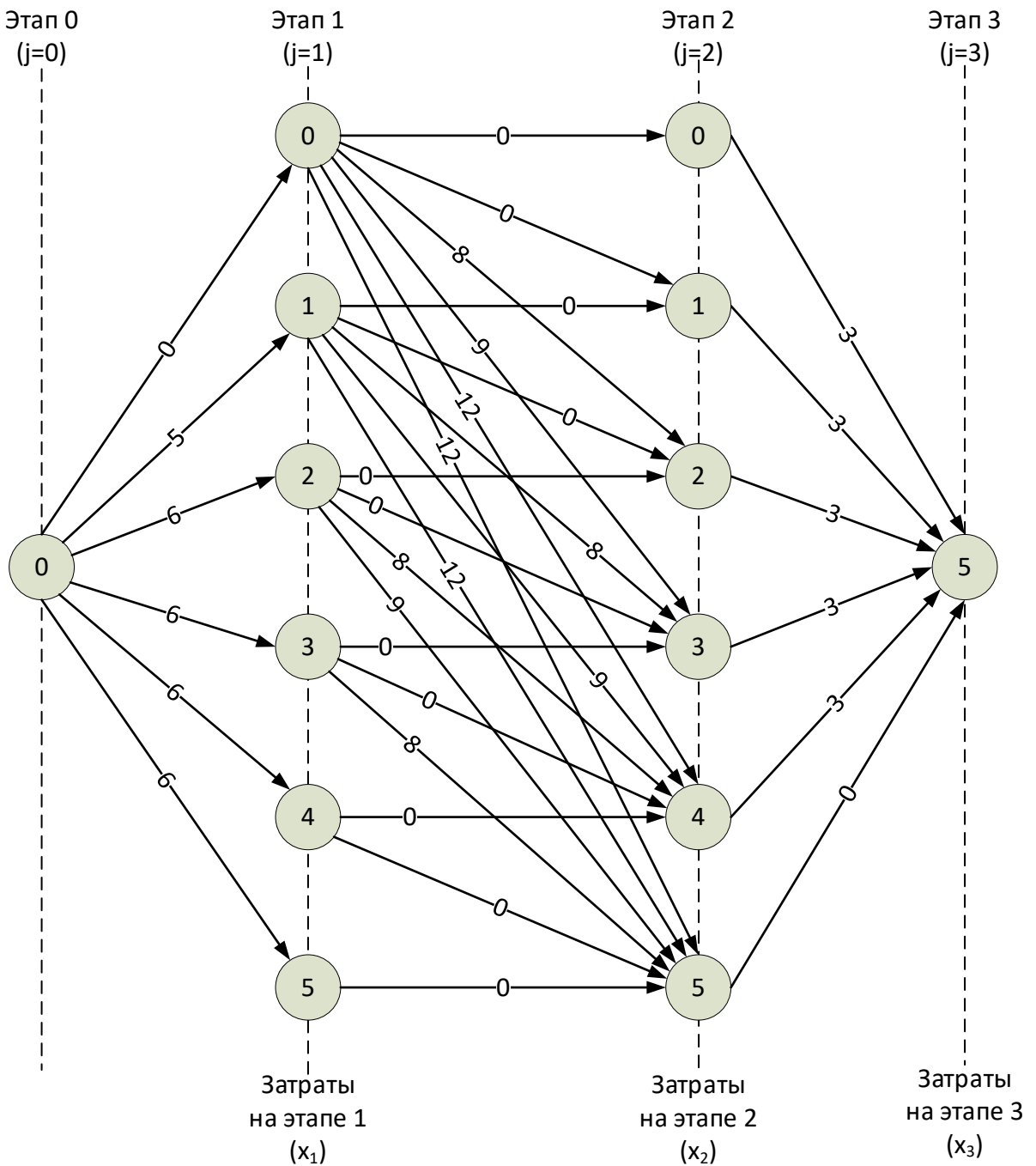


Рисунок 33 – Сетевая модель выбора аппаратной части ПАК с целью максимизации прибыли

Линии, соединяющие узлы на этапе 1 с узлами на этапе 2, представлены узлами x_1 и x_2 . Очевидно, что величина $x_2 - x_1$ равна объему инвестиций, выделенных только на этап 2. Таким образом, линия (x_1, x_2) является допустимой только для вариантов, затраты на реализацию которых не превышают величину $x_2 - x_1$. Вес этой линии равен наибольшему значению R_2 для всех таких вариантов. Рассмотрим ситуацию, когда варианты объемов затрат на развитие ПАК составляют соответственно $x_1 = 1$ и $x_1 = 5$. При этом объем средств, выделенных на этап 2 составляет $x_2 - x_1 = 4$, и все четыре варианта связок «затраты/прибыль» оказываются допустимыми. Так как варианту 4 соответствует самый высокий уровень предполагаемого дохода $R_2 = 12$, линии $(1,5)$ соответствует вес 12. С другой стороны, для линии $(1,3)$ $x_2 - x_1 = 2$, откуда вытекает допустимость только вариантов 1 и 2. Следовательно, вес линии $(1,3)$ равен 8. В случае $x_1 > x_2$ соответствующая линия не существует, поскольку имеет место быть ограничения $x_2 \geq x_1$, то есть затраты на этапе 1 и 2 должны быть, как минимум, равными затратам на этапе 1.

При исследовании представленной на рисунке 33 сетевой модели видно, что каждая линия единственным образом связана с некоторым вариантом. Решение задачи состоит в определении связанной последовательности линий, соединяющей узел 0 на этапе $j = 0$ с узлом 5 на этапе $j = 3$. Искомая последовательность должна обладать максимальным суммарным весом (что соответствует максимальному возможному доходу). Из определения величин x_1, x_2, x_3 следует, что любой связанный путь из узла 0 на этапе $j = 0$ в узел 5 на этапе $j = 3$ соответствует допустимой комбинации вариантов. Нетрудно заметить, что некоторые линии возможно исключить из рассмотрения как заведомо неоптимальные. Так, например, можно исключить линию $(0,1)$ между этапами $j = 1$ и $j = 2$, так как затраты $x_2 - x_1 = 1$ на этапе 2 не приносит никакого дохода, поскольку эта сумма не является достаточной для реализации варианта 2. Исключение неоптимальных линий позволяет снизить размерность задачи и уменьшить объем необходимых вычислений на ЭВМ.

Ниже перечислены неоптимальные линии на всех трех этапах.

Линии между этапами $j = 0$ и $j = 1$: (0,3), (0,4), (0,5).

Линии между этапами $j = 1$ и $j = 2$: (0,1), (0,5), (1,2), (2,3), (3,4), (4,5).

Линии между этапами $j = 2$ и $j = 3$: (0,5), (1,5), (2,5), (3,4).

При помощи представленной на рис. 6 сетевой модели возможно найти самый длинный путь (максимальный вес) от узла 0 на этапе $j = 0$ до узла 5 на этапе $j = 3$.

Обозначим через $f_j(x_j)$ величину самого длинного пути (наибольшего веса), ведущего в узел x_j на этапе j . Поскольку $j = 0$ – это исходный этап, $f_0(0) \equiv 0$. Далее вычисления производятся поэтапно.

Этап 1. Так как узел 0 на этапе $j = 0$ с каждым из шести узлов $x_1 = (0,1,2,3,4,5)$ на этапе $j = 1$ соединяет единственная линия, самый длинный путь (наибольший вес) до узла x_1 определяется формулой

$$f_j(x_j) = f_0(0) + R_1(0, x_1),$$

где $R_1(0, x_1)$ – длина (вес) линии $(0, x_1)$. Соответственно вычисляем $f_1(0) = 0$, $f_1(3) = 6$, $f_1(1) = 5$, $f_1(4) = 6$, $f_1(2) = 6$, $f_1(5) = 6$.

Полученные результаты представлены в виде сетевой модели на рисунке 34. Указанный на каждой линии вес представляет собой номер варианта, ассоциированного с этой дугой. Пунктирными линиями показаны оптимальные решения для каждого этапа. Числа над окружностями указывают значение веса на самом длинном пути до соответствующего узла. На основании этих чисел выполним вычисления на этапе 2.

Этап 2. На данном этапе вычисляются величины самых длинных путей до всех узлов $x_2 = (0,1,2,3,4,5)$. В отличие от этапа 1 количество линий, входящих в один из узлов на этапе 2, может быть больше одной. В результате имеем

$$\left(\begin{array}{c} \text{Величина самого} \\ \text{длинного пути} \\ \text{до узла } x_2 \end{array} \right) = \max_{\text{по допустимым}} \left\{ \left(\begin{array}{c} \text{Величина самого} \\ \text{длинного пути} \\ \text{до узла } x_1 \end{array} \right) + \left(\begin{array}{c} \text{Длина} \\ \text{линии} \\ (x_1, x_2) \end{array} \right) \right\}.$$

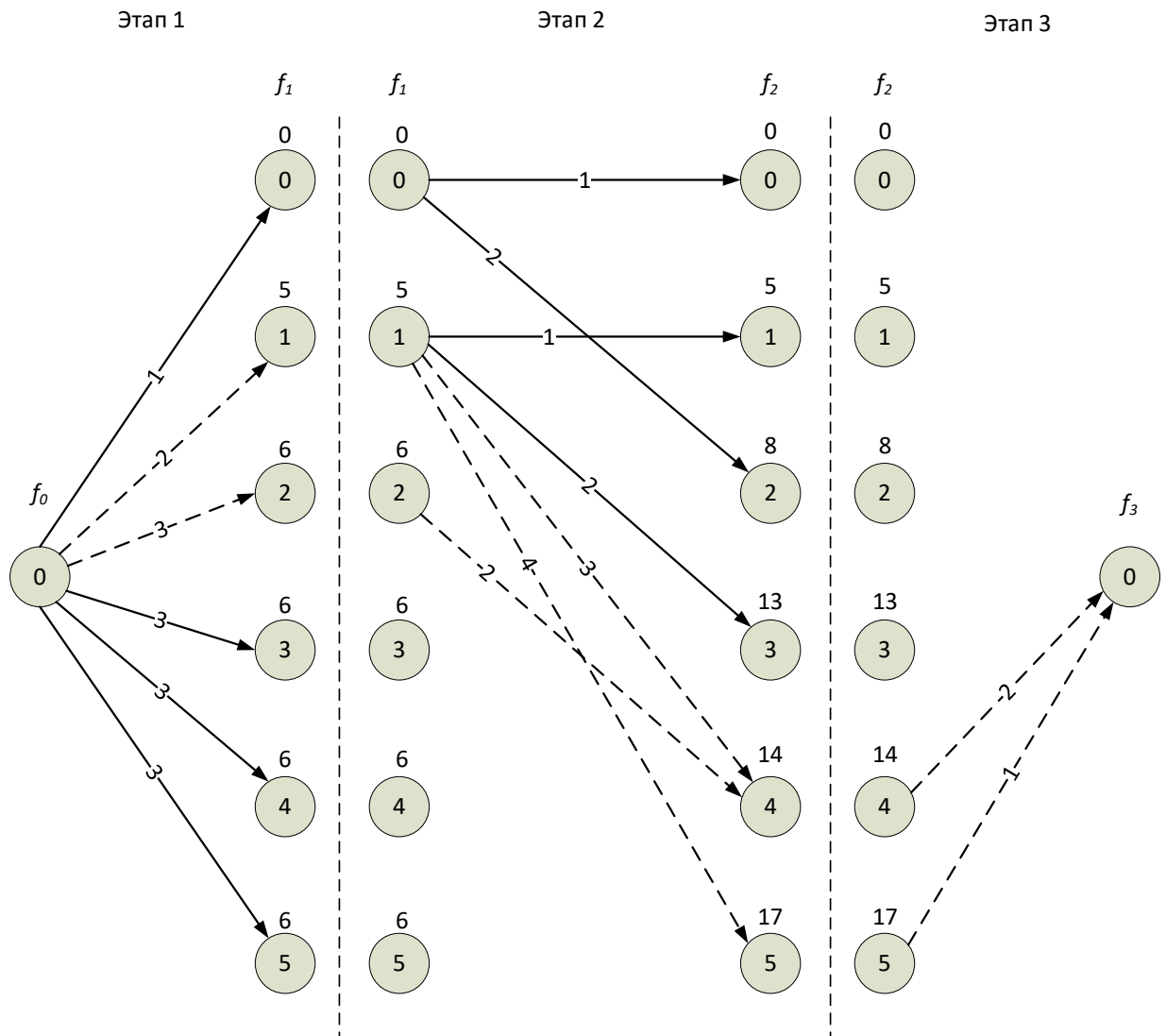


Рисунок 34 – Оптимальное решение задачи модернизации и развития аппаратной части ПАК

Запишем это равенство в математической форме:

$$f_2(x_2) = \max_{\text{по допустимым линиям } (x_1, x_2)} \{f_1(x_1) + R_2(x_1, x_2)\}.$$

Выполним вычисления по данной формуле: $f_2(0) = 0$, $f_2(1) = 5$, $f_2(2) = 8$, $f_2(3) = 13$, $f_2(4) = 14$, $f_2(5) = 17$.

Полученные результаты графически показаны на рис. 7 (этап 2), представлены линии, соответствующие вычисленным значениям f_2 . Как и ранее, на линиях указаны веса соответствующих проектов.

Этап 3. Аналогично этапу 2 соотношение, определяющее самый длинный путь $f_3(x_3)$ до узла x_3 запишем в следующем виде:

$$f_3(x_3) = \max_{\substack{\text{по допустимым} \\ \text{линиям } (x_2, x_3)}} \{f_2(x_2) + R_3(x_2, x_3)\}.$$

В результате вычислений находим $f_3(5) = 17$.

Любой связанный путь от узла 0 на этапе $j = 0$ до узла 5 на этапе $j = 3$ определяет оптимальное решение задачи модернизации и развития ПАК в условиях заданного (ограниченного конкретной суммой) финансирования. Всего имеется три различных решения, которые приведены в таблице 8.

Таблица 8 – Варианты решения задачи проектирования ПАК

Оптимальный путь	Оптимальный набор вариантов
(0,1), (0,4), (4,5)	(2,3,2)
(0,1), (0,5), (5,5)	(2,4,1)
(0,2), (2,4), (4,5)	(3,2,2)

Всем трем решениям соответствует один и тот же уровень предполагаемого дохода, а именно $f_3 = 17$.

Разработанные сетевые модели в дальнейшем применяются для построения моделей динамического программирования. Структура модели динамического программирования основывается на рекуррентных вычислительных процедурах. Как было рассмотрено выше, задача декомпозируется на три этапа. Расчеты (вычисления) на определенном этапе выполняются на основе обобщенной информации о максимальной суммарной предполагаемой прибыли (самом большом суммарном весе), полученном в результате вычислений на всех предыдущих этапах. Отдельные, промежуточные решения, полученные на предыдущих этапах, не представляют существенной ценности. Все последующие вычисления строятся определенным оптимальным способом, вне зависимости от решений, полученных на предыдущих этапах. Все вышесказанное представляет собой сущность принципа оптимальности, составляющего фундамент вычислительного аппарата динамического программирования.

При разработке сетевой модели очень важным является решение задачи определения значения x_j , которое дает возможность исключать из дальнейших расчетов недопустимые или неоптимальные линии и соответствующие варианты.

В процессе работы аппарат динамического программирования использует аналогичный метод, оперирующий понятием «состояния» системы. Под этим состоянием можно понимать взаимное объединение этапов в некоторую систему компромиссов, обусловленных ограниченным количеством определенного ресурса.

Рекуррентное соотношение динамического программирования для решения рассматриваемой задачи можно записать в виде

$$f_j(x_j) = \max_{\substack{\text{по допустимым} \\ \text{вариантам } k_j}} \{R_j(k_j) + f_{j-1}(x_{j-1})\}, j = 1, 2, 3,$$

где $f_0(x_0) \equiv 0$ по определению. Приведенное равенство действительно является рекуррентным, так как величина $f_j(x_j)$ на этапе j вычисляется по известному значению $f_{j-1}(x_{j-1})$, полученному на предыдущем этапе $j - 1$ при $f_0(x_0) = 0$.

Чтобы представить рекуррентное соотношение в корректной математической форме, необходимо сделать два замечания, которые устроят кажущиеся различия между моделью динамического программирования и сетевой моделью для рассматриваемой задачи модернизации и развития ПАК.

Во-первых, заметим, что $f_j(x_j)$ является функцией единственного аргумента x_j . Отсюда следует, что правая часть рекуррентного соотношения должна быть выражена через x_j , а не через x_{j-1} . В случае сетевой модели разность между x_j и x_{j-1} равна величине инвестиций c_j в проект k_j на этапе j , то есть

$$c_j(k_j) = x_j - x_{j-1}.$$

На основании этого становится возможным выразить x_{j-1} через x_j с помощью равенства $x_{j-1} = x_j - c_j(k_j)$. Такая замена обеспечивает более корректную математическую запись рекуррентного соотношения.

Во-вторых, необходимо представить в математической форме ограничение, разрешающее рассматривать для вычислений только допустимые варианты. Аналогично решению задачи при помощи сетевой модели можно использовать равенство $c_j(k_j) = x_j - x_{j-1}$. Однако это ограничение уже было введено выше путем замены $x_{j-1} = x_j - c_j(k_j)$ в функции $f_{j-1}(x_{j-1})$. Чтобы обеспечить полную

корректность, следует в явном виде учесть неравенство $x_{j-1} \geq 0$, откуда $x_j - c_j(k_j) \geq 0$ или $c_j(k_j) \leq x_j$.

Таким образом, рекуррентное соотношение динамического программирования имеет следующий вид:

$$f_0(x_0) \equiv 0,$$

$$f_j(x_j) = \max_{c_j(k_j) \leq x_j} \{R_j(k_j) + f_{j-1}(x_j - c_j(k_j))\}, j = 1, 2, 3.$$

Выполним согласно приведенной формуле решение задачи модернизации и развития ПАК автоматизации технологических и обеспечивающих производственных процессов.

$$f_1(x_1) = \max_{\substack{c_1(k_1) \leq x_1 \\ k_1=1,2,3}} \{R_1(k_1)\}.$$

$$f_2(x_2) = \max_{\substack{c_2(k_2) \leq x_2 \\ k_2=1,2,3,4}} \{R_2(k_2) + f_1(x_2 - c_2(k_2))\}.$$

$$f_3(x_3) = \max_{\substack{c_3(k_3) \leq x_3 \\ k_3=1,2}} \{R_3(k_3) + f_2(x_3 - c_3(k_3))\}.$$

Оптимальное решение задачи возможно найти из приведенных таблиц. Сначала рассматривается этап 3. При $x_3 = 5$ оптимальный проект имеет либо $k_3^* = 1$ либо $k_3^* = 2$. Пусть сначала $k_3^* = 1$. Так как $c_3(1) = 0$, на этапах 2 и 1 $x_2 = x_3 - c_3(1) = 5$. На этапе 2 из $x_2 = 5$ следует $k_2^* = 4$. $c_2(4) = 4$, откуда $x_1 = 5 - 4 = 1$. На этапе 1 из $x_1 = 1$ следует, что $k_1^* = 2$. Таким образом получается, что (2,4,1) есть оптимальный набор вариантов для соответствующих этапов 1,2,3.

Приведенные выше вычисления оперируют этапами (1,2,3) в естественном порядке их расположения, что представляется логичным и удобным для рассмотрения. Однако опыт применения методов динамического программирования показывает, что оперирование этапами в обратном порядке более эффективно. Особенно это касается случаев, когда этапы расположены друг за другом в хронологическом порядке, то есть имеют временную составляющую. Часто при применении метода «прямой прогонки» невозможно определить состояние систем таким образом, чтобы на него не влияли предыдущие состояния,

что следует из принципа оптимальности. Применение же метода «обратной прогонки» позволяет решить эту проблему. На рисунке 35 показано, как определяется состояние системы при прямом и обратном порядке вычислений.

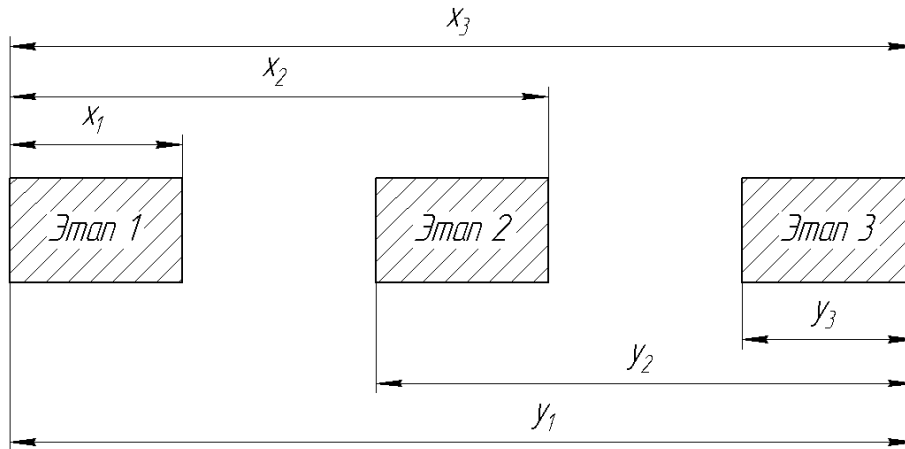


Рисунок 35 – Определение состояния системы при прямом и обратном порядке вычислений

Как видно из рисунка 33, x_i и y_i являются состояниями системы на различных этапах при прямом и обратном порядке вычислений соответственно. Обозначим $f_i(y_i)$ как максимальный доход. Рекуррентное соотношение для процедуры обратной прогонки будет иметь следующий вид:

$$f_4(y_4) \equiv 0,$$

$$f_j(y_j) = \max_{\substack{k_j \\ c_j(k_j) \leq y_j}} \{R_j(k_j) + f_{j+1}(y_j - c_j(k_j))\}, j = 1, 2, 3.$$

Порядок поэтапных вычислений определяется последовательностью этапов $f_3 \rightarrow f_2 \rightarrow f_1$. Ниже приведены результаты расчетов для всех трех этапов.

Этап 1:

$$f_3(y_3) = \max_{\substack{c_3(k_3) \leq y_3 \\ k_3=1,2}} \{R_3(k_3)\}$$

y_3	$R_3(k_3)$		Оптимальное решение	
	$k_3 = 1$	$k_3 = 2$	$f_3(y_3)$	k_3^*
0	0	–	0	1
1	0	3	3	2

2	0	3	3	2
3	0	3	3	2
4	0	3	3	2
5	0	3	3	2

Этап 2:

$$f_2(y_2) = \max_{\substack{c_2(k_2) \leq y_2 \\ k_2=1,2,3,4}} \{R_2(k_2) + f_3(y_2 - c_2(k_2))\}$$

y_2	$R_2(k_2) + f_1(y_2 - c_2(k_2))$				Оптимальное решение	
	$k_2 = 1$	$k_2 = 2$	$k_2 = 3$	$k_2 = 4$	$f_2(y_2)$	k_2^*
0	0+0=0	–	–	–	0	1
1	0+3=3	–	–	–	3	1
2	0+3=3	8+0=8	–	–	8	2
3	0+3=3	8+3=11	9+0=9	–	11	2
4	0+3=3	8+3=11	9+3=12	12+0=12	12	3 или 4
5	0+3=3	8+3=11	9+3=12	12+3=15	15	4

Этап 3:

$$f_1(y_1) = \max_{\substack{c_2(k_1) \leq y_1 \\ k_1=1,2,3}} \{R_1(k_1) + f_2(y_1 - c_1(k_1))\}$$

y_1	$R_3(k_3) + f_2(x_3 - c_3(k_3))$			Оптимальное решение	
	$k_1 = 1$	$k_1 = 2$	$k_1 = 3$	$f_1(x_1)$	k_1^*
5	0+15 = 15	5+12 = 17	6+11 = 17	17	2 или 3

Оптимальное решение можно определить, начиная с y_1 на этапе 1 и двигаясь далее до y_3 на этапе 3.

Выводы по главе 3

По результатам изучения существующих современных патентов разработана функциональная схема автоматизации процесса горячего копчения рыбы на основе разрабатываемого универсального ПАК, в котором управление осуществляется посредством программного пакета, исполняемого на единой мини-ЭВМ.

По результатам анализа функциональной схемы автоматизации и на основе определенных совместно с главным технологом ООО «РИФ» значений программных управлений разработана математическая модель системы автоматического управления процессом горячего копчения рыбы.

Методом Красовского Н.Н. решения линейно-квадратичной задачи для заданных численных значений параметров линии горячего копчения рыбы, эксплуатируемой в ООО «РИФ», найдено формируемое разрабатываемым ПАК по текущей измерительной информации линейное управление, стабилизирующее заданный технологический режим работы. Численные значения коэффициентов стабилизирующего управления определены с использованием пакета прикладных программ MatLab (модуль care). Приведены графики переходных процессов для всех 15 переменных замкнутой найденным управлением системы.

Разработан алгоритм поэтапной разработки ПАК автоматизации производственно-технологических и обеспечивающих процессов в составе ИАСУ, позволяющий применять методы теории графов и на основе рекуррентного соотношения Беллмана исключать из рассмотрения неоптимальные с позиции выбранной стратегии варианты. Алгоритм также позволяет рационально распределять общий ограниченный ресурс между этапами проектирования ПАК. В дальнейшем может быть разработано применение результатов для непротиворечивого агрегирования предпочтений при принятии решений.

4. Практическое приложение результатов исследований

4.1 Реализация универсального программно-аппаратного комплекса

Реализация подобного ПАК, интегрирующего в себе различные процессы предприятия пищевой промышленности, является достаточно сложной задачей. Эта задача включает в себя необходимость исполнения как минимум двух программ для ЭВМ на конкретном экземпляре ПАК (по одной программе для технологических и обеспечивающих процессов соответственно). Необходимо отметить, что существует возможность реализовать программное обеспечение в одной программе, однако оно в подавляющем большинстве случаев будет обладать низкой скоростью, надежностью, масштабируемостью.

Для решения этой задачи мало применимы ПЛК, или аналогичные микроконтроллеры. Их операционная система, как правило, является однопоточной, либо потоки реализованы как суррогатные. В любом случае архитектура ПЛК и микроконтроллеров подразумевает отсутствие разделения аппаратных ресурсов между процессами на уровне ядра операционной системы, более того, отсутствует и сама операционная система.

Напротив, современные микрокомпьютеры могут работать под управлением промышленной операционной системы с открытым исходным кодом. Такие системы (Unix/Linux) являются многопоточными, имеют механизмы уровня ядра для работы с аппаратными прерываниями, позволяют для решения дополнительных задач производить установку большого количества дополнительных модулей, которые можно выбрать из открытых структурированных репозиториях (repo). Микрокомпьютеры позволяют одновременно запускать большое количество (десятки и сотни) программ, функционирующих в качестве сервисов (service), или демонов (daemon). Существует возможность управлять очередностью запуска при загрузке микрокомпьютера, останавливать и запускать экземпляры по одному, удаленно, используя надежные, безопасные, промышленные и общедоступные протоколы

связи. Все экземпляры программного обеспечения могут совместно использовать одну или несколько баз данных, размещенных в контексте промышленной СУБД непосредственно на микрокомпьютере.

За счет наличия большого количества линий, поддерживающих аппаратные прерывания, в большинстве случаев существует возможность применять цифровые датчики и устройства измерения, которые отличаются от аналоговых большей точностью, скоростью работы и надежностью.

При управлении технологическими процессами, по сравнению с обеспечивающими, чаще бывает ситуация, при которой полная информация, необходимая для управления, отсутствует, или частично противоречива. Такая ситуация может возникнуть при частичном выходе из строя определенного датчика или иного измерительного устройства. Многие современные решения на базе ПЛК, в том числе зарубежного производства, представляют собой автоматические регуляторы, стабилизирующие определенные параметры технологических процессов [3, 111, 7, 20,21, 22, 23, 24, 25, 44, 44, 57, 74, 79, 91, 96, 97, 102, 107], не учитывая в полной мере взаимосвязи между этими параметрами и информацию из вышестоящей интегрированной информационной системы управления. При этом управление технологическими процессами является гораздо менее качественным и гладким, чем могло бы быть. ИАСУ в данном случае может выступать не только в качестве учетно-статистической, но и аналитической системы, в том числе с элементами поддержки принятия решений (СППР).

В настоящее время при создании модулей ССПР часто применяется аппарат нейронных сетей. Еще несколько лет назад построение нейронной сети включало в себя ручное задание всех слоев, выбор функций активации и потерь, аналитического расчета их производных и проверки корректности производных при помощи численного дифференцирования, выполняемого, опять же, в ручном режиме.

На данный момент существует возможность избежать ручного задания производных посредством применения специальных фреймворков, выполняющих

автоматическое дифференцирование. При подготовке диссертации был применен фреймворк TensorFlow.

СППР реализована как симбиоз регрессионной линейной модели (для запоминания информации) и обучаемой нейронной сети (для обобщения информации). Такой подход позволяет решать задачи классификации и прогнозирования, обнаруживая опосредованные информационные связи в наборах данных о накопленном и проверенном на практике опыте работников производства. Для удобства обработки данные изначально нормализованы сигмоидальной функцией активации $[0;1]$. Для столбцов обучающих выборок определены категориальные, цифровые и смешанные типы.

Первая часть СППР ИАСУ реализована на базе однослойной нейронной сети. Однослойная нейронная сеть является универсальным аппроксиматором и при должном количестве нейронов способна оперировать практически любой функцией. При этом интерпретируемость результатов является высокой, однако точность и гибкость модели сравнительно низкие. Вторая часть СППР ИАСУ – многослойная глубокая нейронная сеть – обладает максимально высокими точностью и гибкостью, но интерпретация результатов (например, неявных связей) весьма затруднительна. Именно поэтому результирующая СППР реализована на основе обоих видов нейронных сетей. Реализованная в программном пакете TensorFlow обученная нейронная сеть сохранена в виде модели и используется как соответствующий модуль СППР ИАСУ. По результатам испытаний точность классификации и прогнозирования составила 87%, при этом количество строк в обучающих выборках колебалось от 150 тыс. до 22 млн. Обучение сети производилось на GPU NVidia GeForce GTX 1080 Founders Edition.

Достаточно высокая точность сети обусловлена большим размером обучающей выборки и высокой достоверностью ее информации. На основании полученного опыта была предпринята попытка автоматизировать управление технологического процесса, протекающего локально, в одном помещении, с применением СППР на базе нейронной сети. Для этого был выбран процесс созревания и хранения твердых сортов сыра.

В процессе созревания и хранения сыра в помещении должен поддерживаться определенный микроклимат. Управлению подлежат температура, влажность, состав воздуха в помещении (процент содержания углекислого газа). Температура созревания и хранения каждого сорта сыра различна, более того, в соответствии с рецептурой она должна изменяться во времени в зависимости от этапа процесса. Существуют исследования, которые подтверждают необходимость точного регулирования температуры на различных этапах созревания сыра [91, 41], так как это оказывает влияние на органолептические и биохимические свойства готового продукта. Температура созревания для твердых сортов сыра в среднем составляет $+12...+15$ °С [93]. Созревание может продолжаться 2-3 месяца, поэтому к управляющему процессом ПАК предъявляются высокие требования по надежности. При слишком низкой температуре процесс созревания может замедлиться, слишком высокая температура ведет к оседанию головок сыра и появлению плесени. Для борьбы с плесенью в помещении необходима организация принудительной приточно-вытяжной вентиляции с управляемыми ПАК параметрами воздухообмена. Необходимо отметить, что при применении ИАСУ как компоненты интеллектуального управления процессом иногда действительно необходимо замедлить процесс в пределах технологических норм, например, вследствие временного снижения потребительского спроса. Такие данные содержатся в ИАСУ, более того, они используются для обучения модуля СППР, реализованного в виде нейросети. Таким образом задается направление развития комплексной автоматизации предприятия пищевой промышленности.

На микроклимат в помещении для созревания и хранения сыра влияют внешние возмущения. К ним прежде всего относятся температура, влажность и химический состав атмосферного воздуха, подаваемого извне. В зависимости от времени года воздухоподготовка может быть очень энергозатратной, как в случае необходимости охлаждения, так и подогрева. То же касается обеспечения заданной концентрации углекислого газа. Все эти параметры являются взаимосвязанными, например, повышение концентрации углекислого газа может снизить энергозатраты на подогрев воздуха до необходимой температуры [52]. Однако

поддержание концентрации углекислого газа в заданных пределах, с свою очередь, также является весьма энергозатратной и технически сложной задачей [120,122].

Все вышеперечисленное демонстрирует сложность определения оптимального набора параметров технологического процесса на основе противоречивых показателей стоимости их поддержания, требований к качеству, особенностей технической реализации.

Применение в разработанном ПАК микрокомпьютера взамен традиционных ПЛК позволило разместить автономную версию базы данных экспертных знаний непосредственно на экземпляре ПАК, чтобы в случае аварий на линиях связи и потери коммуникации с ИАСУ качество управления процессами не деградировало. В результате разработанный ПАК стал представлять собой нечеткий (fuzzy) регулятор [122].

По вопросу математического обеспечения управления технологическими процессами в части обеспечения заданных параметров микроклимата существует большое количество работ [119, 102, 107, 108].

Традиционно математические модели микроклимата делятся на два типа.

1. Математические модели, оперирующие данными о процессах тепло- и массообмена в помещении. Эти модели описываются дифференциальными уравнениями с параметрами, имеющими физическую интерпретацию.

2. Кибернетические модели, рассматривающие процесс управления микроклиматом как «черный ящик» с изучением его входов и выходов. Для определения параметров могут быть применены нейросетевые модели.

Для реализации разработанного ПАК были применены модели второго типа, так как их реализация на микрокомпьютере достаточно эффективна, в отличие от традиционных ПЛК. При этом регулирование получается более качественным, без больших амплитудных всплесков.

Для измерения температуры и влажности в ПАК был применен гибридный датчик DHT22. Он позволяет определять влажность в диапазоне 0-100% и температуру в диапазоне от -40 °С до +125 °С. Частота опроса составляет

1 раз в две секунды. Выбор датчика был обусловлен хорошим соотношением цена-качество, а также цифровыми выходами датчика.

Применение в разработанном ПАК микрокомпьютера Orange Pi One позволило в полном объеме задействовать функционал промышленного языка программирования C/C++. В результате была разработана функция для работы с гибридным датчиком DHT22. Полученные результаты каждые 5 секунд отправляются в главный программный модуль ПАК и участвуют в формировании структуры параметров для выработки команд управления климатической установкой.

Структурно-логическая схема универсального ПАК автоматизации технологических и обеспечивающих производственных процессов, функционирующего в режиме реального времени в составе ИАСУ, представлена на рисунке 36.

Однако по результатам эксплуатации ПАК качество регулирования оказалось нестабильным вследствие плохой обученности нейронной сети. Вероятно, на это повлиял незначительный размер обучающей выборки и плохая достоверность данных. В результате сеть часто переходила в состояние «переобучения» и выдавала заведомо некорректные управляющие сигналы.

Несмотря на значительные вычислительные ресурсы, разрабатываемый ПАК может применяться лишь для исполнений готовой нейронной сети, ее обучение приходится проводить на мощных стационарных ЭВМ, с промышленными графическими видеокартами.

По результатам проведенных с подсистемой СППР ИАСУ исследований было показано, что обученная нейросеть может с успехом исполняться на экземплярах ПАК, система при этом работает стабильно, зафиксировано время непрерывной работы более 5 дней. Однако большой проблемой является отсутствие больших объемов достоверных обучающих выборок. При этом на каждую попытку обучения сети (при размере выборки порядка 20 млн записей) уходит значительное время – до 2-3 часов.

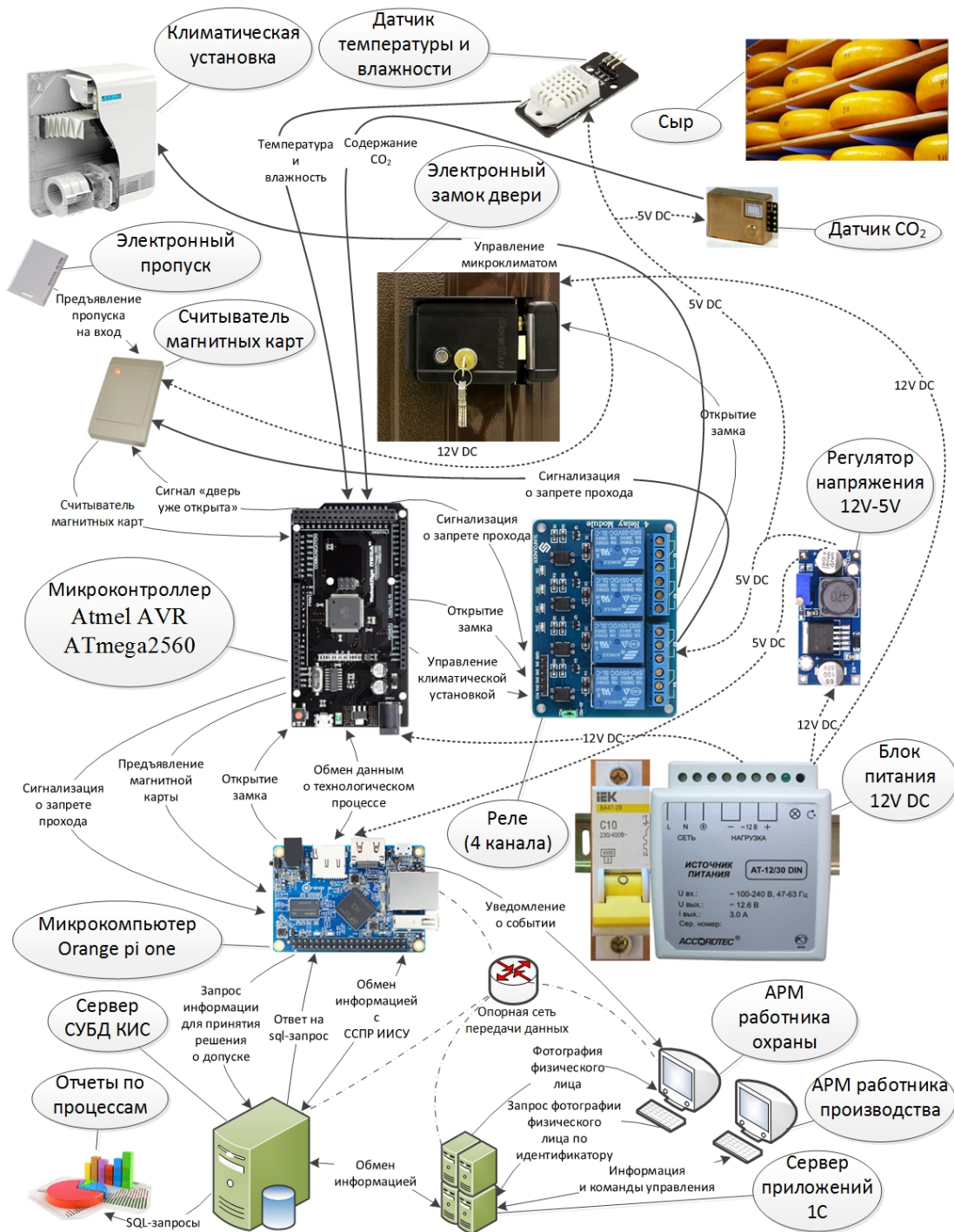


Рисунок 36 – Структурная схема модели универсального ПАК автоматизации технологических и обеспечивающих процессов

Фотография действующего опытного образца разработанного ПАК представлена на рисунке 37.

Универсальный ПАК при функционировании порождает значительный информационный обмен, критичный к надежности и времени отклика, что должно быть обеспечено опорной сетью передачи данных.

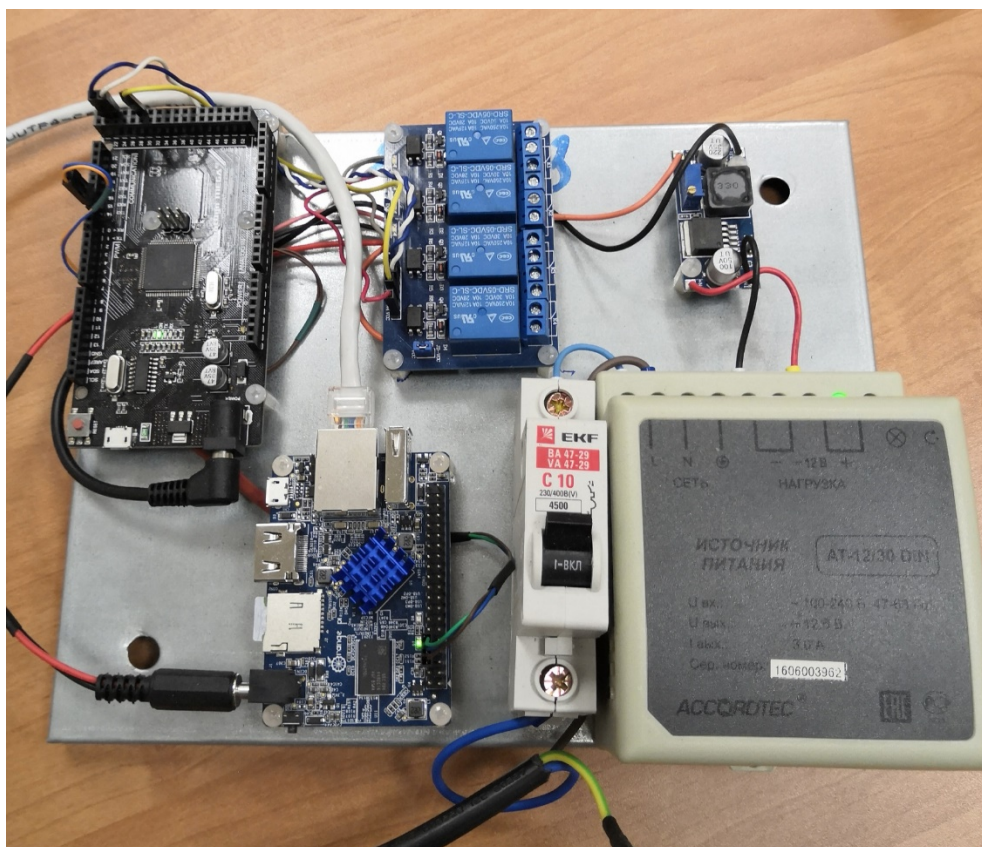


Рисунок 37 – Действующий опытный образец универсального ПАК автоматизации производственно-технологических и обеспечивающих процессов

4.2 Реализация подсистем передачи данных и контроля доступа

Даже в случае малого предприятия пищевой промышленности опорная сеть передачи данных (ОСПД) является ключевой коммуникационной магистралью, соединяющей все службы предприятия. ОСПД включает в себя передачу данных пользователей, телефонной связи, системы видеонаблюдения, системы контроля и управления доступом, сигнализации, коммуникации с контрольными точками НАССР, подсистемы управления технологическими процессами и др. Пример полной мнемосхемы мониторинга и управления ОСПД предприятия пищевой промышленности представлен на рисунке 38. Укрупненный фрагмент ядра ОСПД организации показан на рисунке 39. Данные рисунки позволяют оценить важность мнемосхем мониторинга и управления ОСПД предприятия.

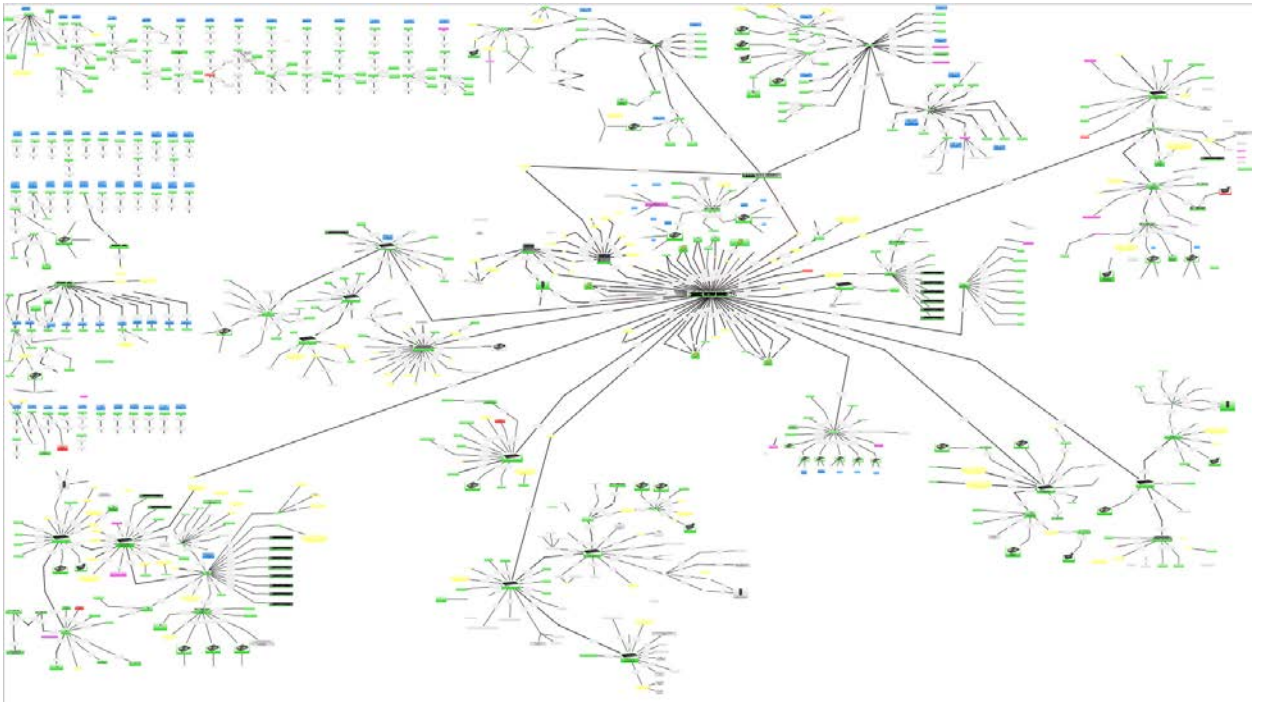


Рисунок 38 – Полная мнемосхема мониторинга и управления ОСПД предприятия пищевой промышленности

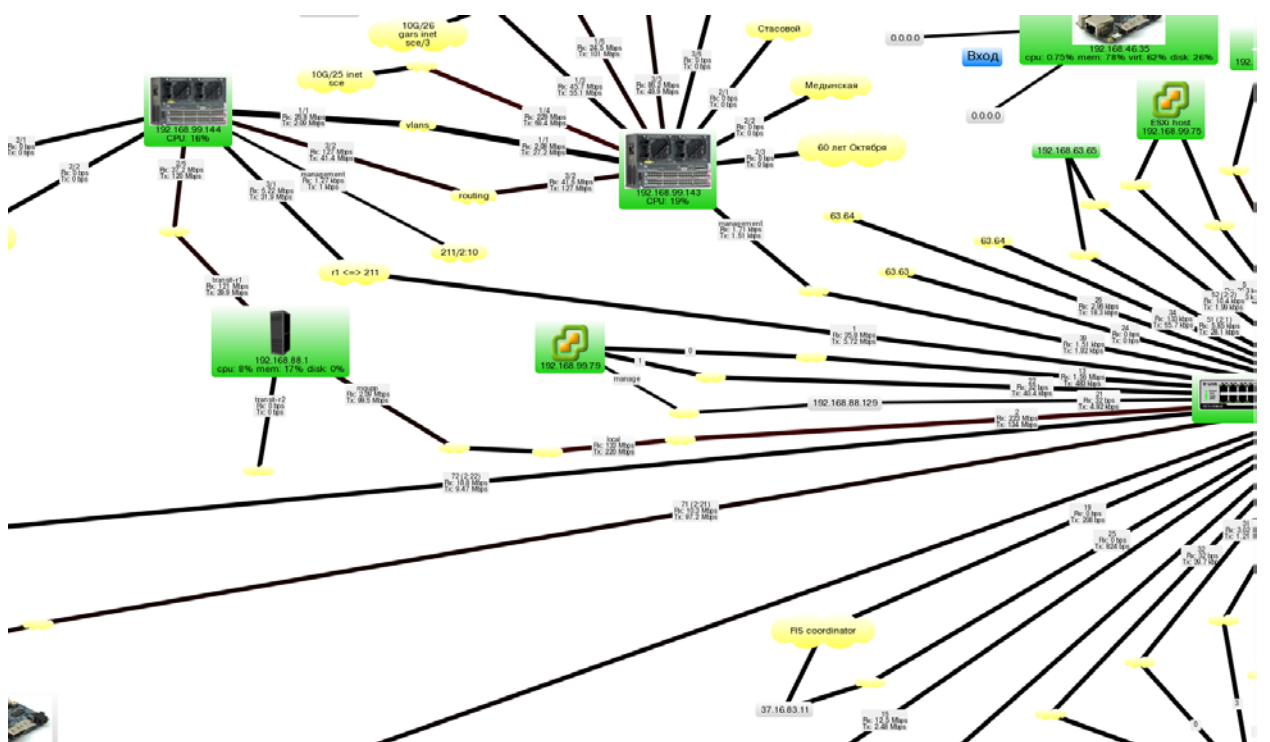


Рисунок 39 – Фрагмент мнемосхемы мониторинга и управления ОСПД (ядро сети) предприятия пищевой промышленности

Учитывая, что ОСПД играет ключевую роль при обеспечении интеграции различных подсистем в режиме реального времени, крайне важно иметь

возможность контролировать соответствующие параметры, работая при этом не на устранение аварий и сбоев, а на их упреждение и предотвращение.

Современное активное сетевое оборудование позволяет отслеживать эти параметры в режиме реального времени, централизованно управлять ОСПД, обеспечивая для каждого сервиса необходимый уровень приоритета. Это прежде всего достигается соответствующим классом сервиса (COS), сегментацией вычислительной сети на vlan (виртуальные сети).

Активное сетевое оборудование можно условно поделить на уровни ядра, распределения и доступа. К уровню ядра относится оборудование Layer 3, обладающее большим функционалом, аппаратным обеспечением надежности за счет дублирования модулей и источников питания. В качестве оборудования ядра при написании диссертации был применен модульный коммутатор Cisco Catalyst 4506 с центральным модулем Supervisor Engine V-10GE (рисунок 40).



Рисунок 40 – Управляющий модуль шасси Cisco Catalyst 4500

Данный коммутатор может быть применен в качестве оборудования ядра сети крупного территориально-распределенного предприятия пищевой промышленности, насчитывающего тысячи или даже десятки тысяч пользователей. В качестве недостатков решения необходимо отметить высокое энергопотребление и большие габаритные размеры, в качестве достоинств – низкую стоимость и богатый функционал наряду с высокой пропускной способностью.

На уровне распределения обычно используют управляемые коммутаторы с большим количеством портов 1 Гбит/сек. К этим коммутаторам применяются требования Layer 2 и частично Layer 3. Необходимо учитывать общее количество аппаратных (MAC) адресов, которыми будет оперировать коммутатор распределения в часы пиковой нагрузки. В целях рационального использования средств при написании диссертации было использовано оборудование Huawei, SNR, D-link и др. В качестве достоинств такого оборудования необходимо отметить хорошие показатели соотношения цена/качества, более того, коммутаторы SNR декларируются как оборудование российской сборки.

К оборудованию уровня доступа предъявляются стандартные требования для этого уровня: необходимое количество пользовательских портов (как правило, 100 Мбит/сек), необходимое количество магистральных портов для различных сред передачи (как правило, 1 Гбит/сек). Управляемые коммутаторы должны обладать функционалом администрирования vlan, иметь возможность привязки аппаратных адресов к определенным портам и пр. Необходимо отметить, что реализация уровня доступа в ОСПД для управления технологическими и обеспечивающими производственными процессами предприятия пищевой промышленности представляет определенные сложности. С одной стороны, за счет общности обеспечивающих подсистем повышается управляемость и эффективность инфраструктуры, с другой стороны – повышаются требования к активному сетевому оборудованию. Помещения, в которых происходят технологические процессы часто содержат агрессивные химические среды, что исключает установку обычного оборудования. Необходимо специальное, промышленное активное сетевое оборудование, которое может работать в большом диапазоне температур, при наличии в помещении агрессивных сред, выдерживать колебания в цепях питания. При подготовке диссертации был проведен обзор существующих решений и сделан выбор в пользу оборудования SNR [86] как наиболее подходящего по соотношению цена-качество. На рисунке 41 представлен промышленный коммутатор S212i-9POE-DC.



Рисунок 41 – Промышленный коммутатор S212i-9POE-DC

Реализованная опорная сеть передачи данных позволила повысить надежность приложений, критичных к времени отклика и обеспечению целостности передаваемых пакетов. В случае территориально-распределенного предприятия, таким приложением является, прежде всего, СКУД.

СКУД предприятия пищевой промышленности относится, как правило, к административно-хозяйственной деятельности и находится в ведении управления безопасности. В результате научно-технического прогресса стали более доступны метки формата UHF-RFID, и в настоящее время существует возможность маркировки сырья, готовой продукции, объектов материального учета для контроля их перемещения. Помимо этого, каждому физическому лицу в КИС соответствует свой электронный пропуск (уникальный идентификатор). За выдачу таких электронных идентификаторов отвечает специальное подразделение – бюро пропусков или отдел кадров. СКУД для принятия решения о допуске требуется актуальная информация о работниках, сырье, готовой продукции, объектах материального учета, проживающих в общежитии др. В случае отсутствия у физического лица одного или нескольких вышеперечисленных статусов решение о допуске принимается на основании директивных разрешений.

Необходимо отметить, что выданные электронные идентификаторы на предприятии пищевой промышленности используются в дальнейшем не только в СКУД, но и в качестве паролей для доступа в электронную образовательную среду

(e-learning) для повышения квалификации работников и сдачи ими экзаменов по технике безопасности, системе менеджмента качества НАССР, в столовых и др.

СКУД на предприятии пищевой промышленности в зависимости от уровня качества и удобства способна значительно усложнить или упростить жизнь работникам. Рынок СКУД в Российской Федерации весьма насыщен. На нем присутствуют системы как отечественного, так и импортного производства. Наиболее известными и распространенными являются «Perco», «Кодос», «Болид», «ParsecNet», «Octogram» (бывшая «Legos»), «Эра новых технологий» и многие другие. Коммерческие СКУД, учитывая их сложность и требования к надежности, весьма консервативны с точки зрения применения в них инноваций. Закрытость протоколов СКУД сильно усложняет и удорожает какую-либо их интеграцию. Вообще говоря, техническое описание таких СКУД и тем более фрагменты их программного кода отсутствуют в открытом доступе, так как представляют собой ноу-хау компании-разработчика и не разглашаются.

Но острота проблемы даже не в этом, а в том, что эти СКУД изначально не являются частью ИАСУ предприятия. В случае, например, школ эта проблема решена Департаментом образования города Москвы именно путем создания СКУД как части ИАСУ, содержащей в себе информацию об обучающихся, их успеваемости, посещаемости и т.д.

Мэр Москвы С.С. Собянин, рассказывая о системе «Проход и питание», отметил, что у родителей появилась возможность получать смс-уведомления о перемещении школьника в зоне действия пропускной системы, при помощи личного кабинета получать информацию о его успеваемости, меню в столовой и т.д. [41]. Для предприятий пищевой промышленности подобного решения, внедряемого централизованно и разрабатываемого системно, к сожалению, не существует, публикации по теме в периодических журналах отсутствуют. Даже учитывая большую самостоятельность в принятии решений и уникальность каждого предприятия пищевой промышленности, базовый функционал их КИС все равно будет единым. Появление подобной ИАСУ, содержащей в своем составе СКУД, могло бы ускорить дальнейшее развитие комплексной автоматизации

предприятий пищевой промышленности и привести к повышению эффективности их работы.

СКУД, включая территориально распределенную модель, должна использовать базу данных ИАСУ в штатном режиме работы, обладать автономностью на случай потери связи с центральной базой данных КИС, при принятии решения о допуске оперировать максимально актуальной информацией. В целях обеспечения отказоустойчивости облегченную версию базы данных КИС целесообразно располагать непосредственно на микроконтроллерах, расположенных вблизи турникетов, электронных замков, шлагбаумов и пр. В большинстве случаев в такой облегченной версии базы хранятся только идентификаторы ключей, доступ для которых разрешен. Дополнительно возможно хранение ограниченного количества атрибутов физических лиц. Обычно репликация данных КИС на микроконтроллеры затруднительна и сложна в отладке. Это связано, в первую очередь, с аппаратными ограничениями микро-ЭВМ, на базе которых реализован контроллер. В настоящее время на рынке появились микрокомпьютеры, обладающими большими объемами оперативной памяти и быстродействующими процессорами, часто многоядерными [60]. Несмотря на впечатляющие технические характеристики, стоимость таких микрокомпьютеров сравнительно невысока. На них возможно развернуть современную многопоточную операционную систему и полноценную СУБД. Необходимо отметить, что данное программное обеспечение распространяется с открытым исходным кодом. В процессе работы над диссертацией на основании опыта эксплуатации был сделан вывод о высокой надежности аппаратного и программного обеспечения этих современных микрокомпьютеров.

В середине 2000-х годов автор и его коллеги столкнулись с необходимостью автоматизации большого комплекса мини-пищевых предприятий – МГУПП. Накануне произошло объединение двух старейших вузов пищевого профиля (пищевых производств и прикладной биотехнологии) в один. В результате оказалось, что существующие средства автоматизации – применяемые ПАК, информационные системы оказались мало эффективны в условиях большой,

территориально-распределенной организации. В новых условиях особенно неэффективной и неудобной в эксплуатации оказалась система контроля доступа. К ней стали предъявляться новые требования как по надежности работы, так и по новому функционалу – возможность централизованного управления, принятия решения о допуске на основании информации из вышестоящих информационных систем, снижении стоимости владения.

На тот момент времени система контроля доступа состояла из большого количества электронных проходных (учебно-производственные здания, базы практик, общежития, шлагбаумы и др.). При объединении организаций в эксплуатации оказались сразу две системы контроля доступа – «Legos» (нынешняя «Octogram») и «Кодос». Оба вендора являлись опытными разработчиками систем промышленной автоматизации. Система «Кодос» производила впечатление более надежной и гибкой в эксплуатации, однако не позволяла использовать вышестоящие информационные системы в режиме реального времени для принятия решения о допуске. Более того, единая ИАСУ предприятием собственной разработки в то время также находилась в стадии становления.

Имеющиеся коммерческие системы контроля доступа объединяло одно – закрытость протоколов и структуры собственной базы данных, большая стоимость как программной, так и аппаратной части, построение архитектуры систем в угоду повышению результирующей стоимости за счет введения дополнительных модулей (например, отсутствие возможности подключения считывателей магнитных карт непосредственно к контроллеру). Специалисты на местах, эксплуатирующие систему, не имели возможности ее модернизировать и развивать ввиду закрытости архитектуры, любое нововведение вело к длительному согласованию с фирмой-разработчиком решения и большим финансовым затратам. Попытки интегрировать две системы между собой потерпели неудачу, опять же ввиду закрытых протоколов, от обоих вендоров поступили предложения о переходе полностью на одну систему. Оценив стоимость перехода на систему «Кодос» как более технологически совершенную, а также перспективы развития этой системы с учетом необходимости ее функционирования в качестве неотъемлемой части

единого информационного пространства, было принято решение попытаться выполнить интеграцию системы «Кодос» с существующей инфраструктурой своими силами, и в случае отсутствия результата, приступить к разработке собственной СКУД.

Специфика крупного предприятия такова, что системе контроля доступа для эффективной работы при принятии решения о допуске необходима информация из вышестоящей единой информационной системы. Система «Кодос», напротив, предполагала работу только с собственной базой данных, которую предполагалось синхронизировать с вышестоящими информационными системами с необходимой периодичностью. Такая модель работы показала себя достаточно неэффективно, информация в СКУД часто оказывалась устаревшей во времени, что приводило к сбоям в эксплуатации.

Контроллеры СКУД того времени представляли собой достаточно устаревшие решения, с малым объемом оперативной памяти, отсутствием поддержки промышленных языков программирования (С/С++), отсутствием сетевого интерфейса Ethernet. При этом архитектура и программное обеспечение были полностью закрытыми, возможность модернизации полностью отсутствовала.

Вместе с тем на рынке стали появляться микро-ЭВМ, особый вид компьютеров SoC (вся система на одном чипе). Такие микро-ЭВМ стоили достаточно дорого, были сложны в изучении, но позволяли запускать полноценную операционную систему Unix/Linux, имели встроенный сетевой интерфейс Ethernet, были достаточно стабильны в работе.

На базе подобной микро-ЭВМ фирмой «Кодос» был выпущен контроллер автоматизации «Кодос Pro». Этот контроллер работал под управлением операционной системы PicoBSD, функционал консоли был весьма ограничен, исполняемая программа СКУД была представлена только в бинарном (скомпилированном) виде, не допускающим модернизации, но по тем временам это было очень современное решение, претендовавшее на технологический прорыв. Недостатками являлись высокая цена, закрытость программного кода и протоколов

обмена. В качестве достоинств можно привести стабильность и надежность работы, возможность удаленного доступа (в том числе по протоколу ssh), возможность установки дополнительного программного обеспечения, например, для удаленного мониторинга (по протоколу SNMP).

Ввиду закрытости ПАК «Кодос-про» было принято решение разработать аналогичный своими силами. При изучении рынка одноплатных компьютеров (микро-ЭВМ) мы остановились на производителе ООО «Завод электрооборудования» (ООО «ЗЭО»). В тот период уровень подготовки университетской команды разработки был недостаточным, а задачи стояли очень амбициозные. Специалисты ООО «ЗЭО» пригласили нас к себе на производство, показали свою продукцию, ответили на множество возникающих вопросов – действительно, микро-ЭВМ в России только проходили в то время свое становление. Для проведения научных исследований университету был безвозмездно передан одноплатный компьютер «Тион-Про», обладающий процессором Cirrus Logic EP9315 (тактовая частота 200 МГц). Необходимо отметить, что производителем процессора является одноименная компания из США, штат Техас. Объемы ПЗУ и ОЗУ соответственно составляли 8МБ и 64 МБ. Микро-ЭВМ обладала на борту сетевым контроллером Ethernet 10/100, auto-MDIX. Набор периферии по тем временам был достаточно богатым – 3 порта uart, 2 порта USB 2.0, IDE (с возможностью подключения накопителей HDD), SPI (частотой 7 МГц), I2C (программная реализация), порты GPIO (6,5 МГц). Микро-ЭВМ работала от постоянного напряжения 5В, имела размеры 120x68x20 мм. (рисунок 42).



Рисунок 42 – Одноплатный компьютер (микро-ЭВМ) «Тион-Про»

В отличие от уже известных промышленных контроллеров автоматизации, с доступным описанием логики, языка программирования и управления, одноплатный компьютер «Тион-Про» требовал для своего функционирования операционной системы Linux. С одной стороны – это открывало большие возможности при разработке задуманного ПАК автоматизации, с другой стороны мы столкнулись с большими сложностями при установке, запуске, и эксплуатации операционной системы.

В большинстве вузов России наравне с операционными системами семейства Windows изучаются и UNIX/Linux. Будучи изначально, «нативно» разработанными на языках программирования C/C++, эти операционные системы как нельзя лучше подходят для обучения программированию. Более того, операционная система Linux с необходимыми пакетами, развернутая на микро-ЭВМ, представляет собой мощный расширяемый ПАК для решения задач промышленной автоматизации – управления технологическими и обеспечивающими производственными процессами. Такой ПАК может, используя сетевые интерфейсы (как проводные, так и беспроводные), обмениваться в режиме реального времени информацией с вышестоящими информационными системами предприятия, в том числе с центральной интегрированной информационной системой. На случай потери связи по сети на микро-ЭВМ может быть развернута полноценная СУБД (MySQL, PostgreSQL, MongoDB и др.), что превращает ПАК в автономную систему, способную функционировать отдельно от центральной СУБД, управляя технологическими и обеспечивающими производственными процессами в течение достаточно длительного времени. После восстановления сетевой доступности ПАК переходит в штатный режим работы и синхронизирует все необходимые данные с центральной информационной системой.

Однако, несмотря на многообещающие возможности микро-ЭВМ и языков программирования C/C++, запуск под управлением операционной системы Linux, и даже ее установка, оказались достаточно сложными задачами. Эти сложности появились, в том числе, вследствие выбора разработчиками микро-ЭВМ архитектуры ARM, как более энергоэффективной и подходящей для встраиваемых

систем. Разработчики предоставили собственное, специально собранное под данную микро-ЭВМ ядро Linux, но даже с этим ядром система работала нестабильно, возникали сложности с установкой различных пакетов и библиотек, даже с компиляцией программного комплекса, который решено было реализовывать на языках программирования C\C++. В настоящее время, с позиции некоторого накопленного опыта, необходимо признать, что неудачи были вызваны не столько недостатками микро-ЭВМ, сколько нехваткой ключевых знаний. В связи с этим следует особо выделить тот факт, что опыт, полученный в процессе реализации ПАК был учтен при реинжиниринге учебных планов и рабочих программ по соответствующим дисциплинам, преподаваемых будущим специалистам предприятий пищевой промышленности в МГУПП.

На одной из конференций, посвященной встраиваемым решениям, в том числе одноплатным микрокомпьютерам, внимание автора и его коллег привлекло выступление Дмитрия Иванова, сотрудника МГУ им. Ломоносова, основателя компании «KernelChip». Он представил готовые решения, в том числе сравнительно недорогой контроллер «Jerome» (рисунок 43).

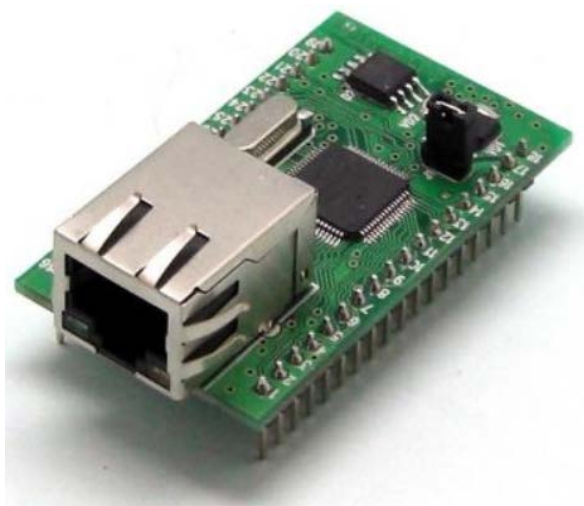


Рисунок 43 – Ethernet-модуль Jerome

«Jerome» представляет собой промышленный интеллектуальный микроконтроллер, изначально оснащенный на борту интерфейсом Ethernet 10/100. При подаче питания загружается в течение нескольких секунд, и выполняет заранее скомпилированное и загруженное программное обеспечение («прошивку»).

Возможность модификации программного обеспечения микроконтроллера отсутствовала, однако было возможно выполнить подключение, например, по протоколу telnet, и передать необходимые команды управления, сконфигурировать порты GPIO и управлять ими в режиме реального времени. Для реализации такого алгоритма работы пришлось отказаться от запуска программного обеспечения СКУД непосредственно на микроконтроллере, и перенести его на центральный сервер ИАСУ. На этом же сервере была развернута промышленная СУБД MS SQL Server, в которой содержались данные, необходимые СКУД в режиме реального времени для принятия решения о допуске.

Данное решение эксплуатировалось почти год, за это время было выяснено, что микроконтроллер Jerome является недостаточно надежным, открытое telnet-соединение разрывается по таймауту, случаются зависания. Недостатком явилось также отсутствие pull-up и pull-down резисторов на контактах, настроенных как входящие (input). Из-за отсутствия возможности модифицирования программного обеспечения контроллера локальные операции (например, контроль проворота турникета) пришлось фиксировать на центральном сервере, при этом требовалась передача данных и соответствующих событиях между контроллером и сервером в режиме реального времени. Серверное программное обеспечение было реализовано как многопоточное в среде разработки C#, при управлении 27 устройствами работа ПАК была стабильной.

Основным недостатком данной схемы, как и предполагалось, оказалось полное отсутствие автономности на случай потери связи с центральным сервером. Несмотря на достаточно надежную опорную сеть передачи данных, такие сбои время от времени случаются, особенно в случае территориально-распределенной организации, эксплуатирующей каналы связи уровня WAN. При этом в случае повреждения городской волоконно-оптической линии сроки устранения аварии могут достигать 1-2 суток.

Получившееся решение по результатам эксплуатации не было признано удовлетворительным, вследствие чего был проведен повторный анализ систем

контроля и управления доступом для предприятий пищевой промышленности. При этом были расширены требования к создаваемой системе.

Современное предприятие пищевой промышленности, даже малое и не являющееся территориально-распределенным – это сложная организационно-техническая система, оперирующая большим количеством информации, находящейся в различных ИС, вместе образующих КИС, или ИАСУ предприятия [28]. Создание механизма интеграции (или репликации) между ИАСУ и СКУД – затратная во всех смыслах задача. При этом даже в случае ее успешной реализации актуализация данных в СКУД запаздывает по отношению к данным ИС, которые служат источниками этих данных. Для территориально-распределенного предприятия с большим количеством работников и устройств доступа такое решение неприемлемо. Многие бизнес-процессы предприятия построены на предположении о том, что СКУД при принятии решения о допуске оперирует актуальными данными. Прежде всего, это касается физических лиц, их статусов и атрибутов. Физическое лицо может иметь статус работника, руководителя, практиканта, гостя и т.п. Сразу после проведения транзакции, соответствующей зачислению кандидата в число работников, его пропуск должен работать в соответствующих корпусах и помещениях, то же касается транзакции, соответствующей переводу или увольнению. Пропускная система предприятия при принятии решения о допуске должна иметь актуальную информацию об оплате партий продукции, выступая в качестве мощного инструмента, позволяющего улучшить финансовую дисциплину, уменьшить задолженность по оплате. Это достигается запретом выезда с территории предприятия автотранспорта с неоплаченной продукцией на основании информации из идентификаторов UHF-RFID. Для актуальности этой информации и удобства плательщиков целесообразно использовать систему интернет-эквайринга, интегрированную с КИС предприятия в режиме реального времени. Область применения СКУД на предприятии пищевой промышленности – это не только электронные проходные. Это электронные замки в производственных помещениях и лабораториях, гардероб, столовая, управление технологическими процессами и многое другое. Таким образом, разработка СКУД

как неотъемлемой части единой информационной системы предприятия пищевой промышленности представляет собой актуальную задачу. Данная глава фактически является описанием разработки и внедрения такой СКУД. В целях обеспечения автономности (в случае аварии) локальная база данных должна находиться непосредственно на контроллерах, при этом представленная в данной главе СКУД не рассматривается как самостоятельная ИС. В штатном режиме работы в качестве источника информации для принятия решения о допуске в режиме реального времени используются актуальные данные из ИАСУ предприятия.

Доступные в настоящее время на рынке СКУД представлены как универсальные. Изначально они разрабатывались без учета специфики и проблематики предприятий пищевой промышленности. Более того, они самодостаточны и могут быть развернуты и внедрены без какой-либо интеграции с корпоративной информационной системой (КИС) предприятия. Большинство из них использует для принятия решения о допуске на территорию организации свою собственную базу данных, расположенную на выделенном сервере в локальной вычислительной сети. База данных имеет свою схему, при этом часто реализуется поддержка различных СУБД. Схема данных, как правило, предусматривает работу с различными сущностями и их атрибутами: физические лица, подразделения, должности, проходные и пр. В результате СКУД часто выходит за рамки своей предметной области, при этом выступая в качестве обособленной информационной системы (ИС) со своей собственной базой данных, которая нуждается в актуализации с учетом информации, находящейся в других ИС.

В процессе разработки СКУД предприятия пищевой промышленности были рассмотрены и протестированы различные архитектуры и варианты реализации. Архитектура СКУД предприятия пищевой промышленности с точки зрения программного обеспечения может быть реализована как централизованная или распределенная. В централизованной архитектуре программное обеспечение СКУД устанавливается на выделенный сервер, в распределенной – непосредственно на контроллеры (микрокомпьютеры). Обе архитектуры имеют свои достоинства и недостатки. Распределенная является более гибкой и

отказоустойчивой, но требовательна к аппаратному обеспечению микрокомпьютера. Централизованная более удобна в обслуживании, управлении и модернизации, однако является менее отказоустойчивой.

Рассмотрим ядро СКУД в централизованной архитектуре, реализованное на языке программирования С#. Ядро СКУД представляет собой многопоточный сервер, работающий с оборудованием (турникеты, шлагбаумы, электронные замки, считыватели карт, сканеры отпечатков пальца и др.). Одна из особенностей данной реализации СКУД состоит в том, что она использует данные КИС предприятия в режиме реального времени при помощи прямых SQL-запросов. Как видно из рисунка 44, содержащего структурно-логическую схему ядра СКУД, работа ПАК состоит из определенного перечня событий, рассмотренных ниже.

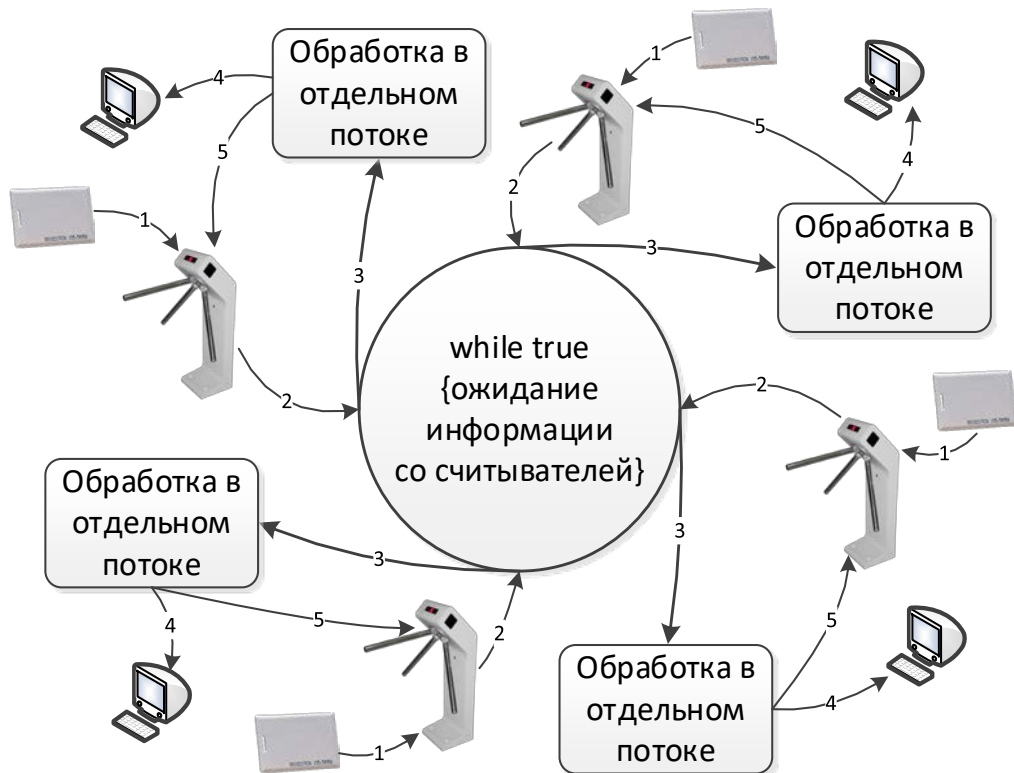


Рисунок 44 – Структурно-логическая схема ядра СКУД

1. При предъявлении электронного идентификатора (ключа) создается отдельный программный поток для дальнейшей обработки этого события.

2. Электронный идентификатор (номер пропуска) и данные о направлении прохода по протоколу UDP отправляются на сервер с запущенной в виде службы программой ядра СКУД. Необходимо отметить, что проходная (или иной объект

контроля доступа/перемещения) идентифицируется на основании IP-адреса отправителя. Ядро СКУД создает отдельный поток, в котором посредством sql-запроса к базе данных КИС предприятия получает информацию о статусе владельца пропуска (физического лица) и на основании ее принимает решение о допуске.

3. В журнале событий регистрируется факт предъявления электронного пропуска. Технически регистрация реализована в отдельной базе данных, для снижения нагрузки на основную базу, так как количество записей измеряется десятками миллионов.

4. Формируется ответный пакет, который по протоколу UDP отправляется на АРМ вахты (работника службы безопасности) для отображения фотографии физического лица и дополнительной информации о нем. На данном АРМ запущен UDP-listener, доступный в клиентском приложении 1С:Предприятия в виде СОМ-объекта. Строка данных содержит в себе описательную информацию о событии и идентификатор физического лица, по которому с сервера приложений запрашивается соответствующая фотография.

5. Ответный пакет отправляется также на микроконтроллер турникета, электронного замка, шлагбаума, пищевого оборудования и другим получателям для открытия устройства (выполнении на нем определенной команды) или индикации запрета доступа.

Протокол UDP выбран на основании его большего быстродействия (в среднем на 40%) относительно TCP, надежность и возможность получения подтверждения доставки которого в современной хорошо работающей локальной вычислительной сети в данном случае необязательны и могут замедлить выполнение операций. Также необходимо отметить более простую программную реализацию протокола UDP по сравнению с TCP. Служба ядра СКУД развернута непосредственно на сервере СУБД КИС с целью уменьшения времени отклика.

Аппаратная часть СКУД выполнена на базе микроконтроллера Atmel AVR ATmega2560. Такие микроконтроллеры выпускаются, в том числе, под брендом Arduino [85]. Выбор микроконтроллера обусловлен его большой

распространенностью, документированностью и соотношением цена-качество. Среда разработки Arduino IDE хорошо подходит для начинающих разработчиков, позволяя при этом реализовать достаточно сложные программные решения. На предприятиях в качестве электронных идентификаторов часто используются ID-карты стандарта EM-marine, которые могут быть прочитаны по протоколу wiegand [72]. Такие карты не обладают большой защищенностью, могут быть сравнительно легко скопированы, в них отсутствует перезаписываемая область памяти, но при этом их отличает низкая стоимость.

Функция СКУД на предприятии пищевой промышленности сводится преимущественно к регистрационно-статистической, нежели обеспечивающей безопасность на серьезном уровне. Это обусловлено, в том числе, большим потоком посетителей на вход и выход и открытостью объекта контроля по своей природе. Попытка повысить уровень безопасности при помощи более высокотехнологичных средств аутентификации (биометрических, считывания венозного рисунка ладони, UHF-RFID и пр.) значительно удорожает аппаратную и программную части СКУД и часто ведет к потере качества. Это, не в последнюю очередь, определяется несовершенством существующих решений (речь идет о решениях для массового применения, имеющих разумное соотношение цены-качества). В любом случае, рассматриваемая в данной главе СКУД предприятия является модульной и позволяет с минимальными трудозатратами поменять систему аутентификации на более технологичную и современную. Опыт внедрения показал, что наиболее перспективной в настоящее время является двухфакторная аутентификация, сочетающая в себе несколько методов для повышения безопасности СКУД. Также необходимо отметить, что наравне с электронными пропусками работников, объекты материального учета, сырье и готовая продукция маркируются метками формата UHF-RFID, что дает полную картину о перемещениях. Например, отгрузка партии готовой продукции будет разрешена только после создания и проведения в КИС соответствующих документов.

Вопрос считывания карт по протоколу wiegand на микроконтроллере Atmel AVR ATmega2560 хорошо изучен, существует стабильно работающая библиотека

[16]. Ее недостатком является отсутствие поддержки более одного считывателя, что для СКУД предприятия недопустимо. Необходимы контроллеры, работающие с двумя считывателями, а для контроллера электронного замка производственного помещения с возможностью управления технологическими процессами – с тремя (третий считыватель используется для регистрации при уже открытой двери). Франческо Угетти (Francesco Ugetti) пытался решить проблему с подключением более одного считывателя и в итоге получил крайне нестабильно работающую систему [16]. По результатам ее эксплуатации при работе над диссертацией управлением информационных технологий МГУПП было принято решение разработать свою библиотеку. Основные заслуживающие внимания программные решения, представлены в Приложении А. За основу была взята библиотека, поддерживающая только один считыватель [17].

В разработанной версии библиотеки реализованы следующие нововведения.

1. Введен флаг разрешения чтения карт. Он используется для отсечения считывателей от контроллера на время обработки других команд (например, команды открытия турникета).

2. Так как количество считывателей более одного, то вводится переменная – идентификатор считывателя.

3. Введены также переменные, соответствующие параметрам дополнительных считывателей. В листинге 1 приведен пример для двух считывателей, для трех дополнительно вводится третья переменная, например, `_cardTempHighC`, `_bitCountC` и т.д. Каждому считывателю во время работы для считывания нулей и единиц необходимо два цифровых входа с аппаратной поддержкой прерываний (interrupts). Микроконтроллер Atmel AVR ATmega2560, таким образом, поддерживает до трех считывателей, так как содержит в своем составе шесть цифровых разъемов с аппаратной поддержкой прерываний.

Одной из ошибок решения [16]. было объявление переменной `_cardTemp` и других без директивы `volatile` [36], что при работе с прерываниями приводило к ошибкам считывания и зависанию микроконтроллера вследствие возможного кеширования переменной в оперативной памяти. Это объясняется малыми

временными интервалами между битами информации – порядка 200 мкс. Разработанная при подготовке диссертации библиотека работает достаточно стабильно в условиях промышленной эксплуатации, зафиксирована непрерывная работа в течение 47 дней. Библиотека использовалась для протокола *wiegand26* (26 бит в номере карты), но может быть легко адаптирована для протокола *wiegand34* и других вариаций этого протокола, с большим количеством бит. В настоящее время это особенно актуально в связи с удешевлением оборудования стандарта UHF RFID.

Операция считывания номера электронного пропуска критична по времени выполнения. Завершение передачи набора бит определяется исходя из того, что пауза между отдельными посылками равна экспериментально подбираемому числу. По результатам выполненных в процессе работы над диссертацией исследований рекомендуется начинать с интервала в 15 мс и менять его в меньшую или большую сторону в зависимости от модели считывателя. Чем меньше пауза, тем меньше время считывания карты и, следовательно, время отклика системы. Современная СКУД предприятия пищевой промышленности для комфортной работы пользователей должна обладать минимальным временем отклика при предъявлении электронного пропуска, которое в идеале не должно превышать 0,2-0,5 с. Пределом комфортности для пользователей с момента предъявления пропуска до открытия турникета или появления сигнала о запрете прохода считается 1 с.

Необходимо отметить, что слабая защищенность ID-карт формата *em-marine* в данном случае обеспечивает малое время отклика, тогда как карты, выпускаемые под торговой маркой *mifare* и им подобные, считываются примерно в три раза медленнее. При этом по сравнению с ID-картами их отличает более высокая защищенность и расширенный функционал. Что касается цены, то она, хотя и снижается в последнее время, но все равно остается в несколько раз выше цены на ID карты. Стоимость ID-карты составляет примерно 10 руб., карты *mifare* – порядка 30 руб., то есть в три раза дороже. Выбор аппаратных средств СКУД предприятия должен быть оправданным, особенно это касается электронных

идентификаторов. При внедрении СКУД на крупном предприятии необходимо выдать тысячи (часто десятки тысяч) пропусков, и ошибка в выборе их типа будет очень трудно исправима.

Микроконтроллер Atmel AVR ATmega2560 взаимодействует с турникетом через цифровые входы/выходы, для этого используется 7 из 54 доступных. Необходимо отметить, что цифровые разъемы используются также подключаемыми платами расширения, например, модулем ethernet shield. Вопрос о питании микроконтроллера является неоднозначным и в настоящее время широко обсуждается в технических обсуждениях [81]. Экспериментальным путем выбрано наилучшее значение напряжения – 9В DC. Так как в схеме обычно присутствует реле, требующее 5В DC, и установлен только один преобразователь напряжения с 12В DC на 5В DC вольт, то приходится подключать микроконтроллер к источнику с напряжением 12В DC (к основному блоку питания, перед преобразователем). Опыт эксплуатации показал, что система при этом работает стабильно, перегрева и зависаний не наблюдается. Так как микроконтроллер расположен в непосредственной близости от основного блока питания, к кабелю не предъявляется никаких особых требований. При подключении турникета, напротив, рекомендуется применять для подачи напряжения кабель сечением не менее 1,5 мм. На рисунке 45 представлен алгоритм управления турникетом с точки зрения микроконтроллера.

Как видно из рисунка 45, процесс управления турникетом представляет собой вечный цикл `while (true) {}`. По команде открытия на вход или выход (`id=1` или `id=2`) турникет открывается на 5 секунд (настраиваемый параметр). Если в течение этих 5 секунд будет получен сигнал о повороте планок (факт прохода), то турникет закроется немедленно при получении такого сигнала. Управление производится в потенциальном режиме работы турникета, для открытия необходимо подать -12В (землю) на соответствующий управляющий контакт.

Для связи микроконтроллера Atmel AVR ATmega2560 с центральным сервером по протоколу UDP используется плата ethernet shield w5100.

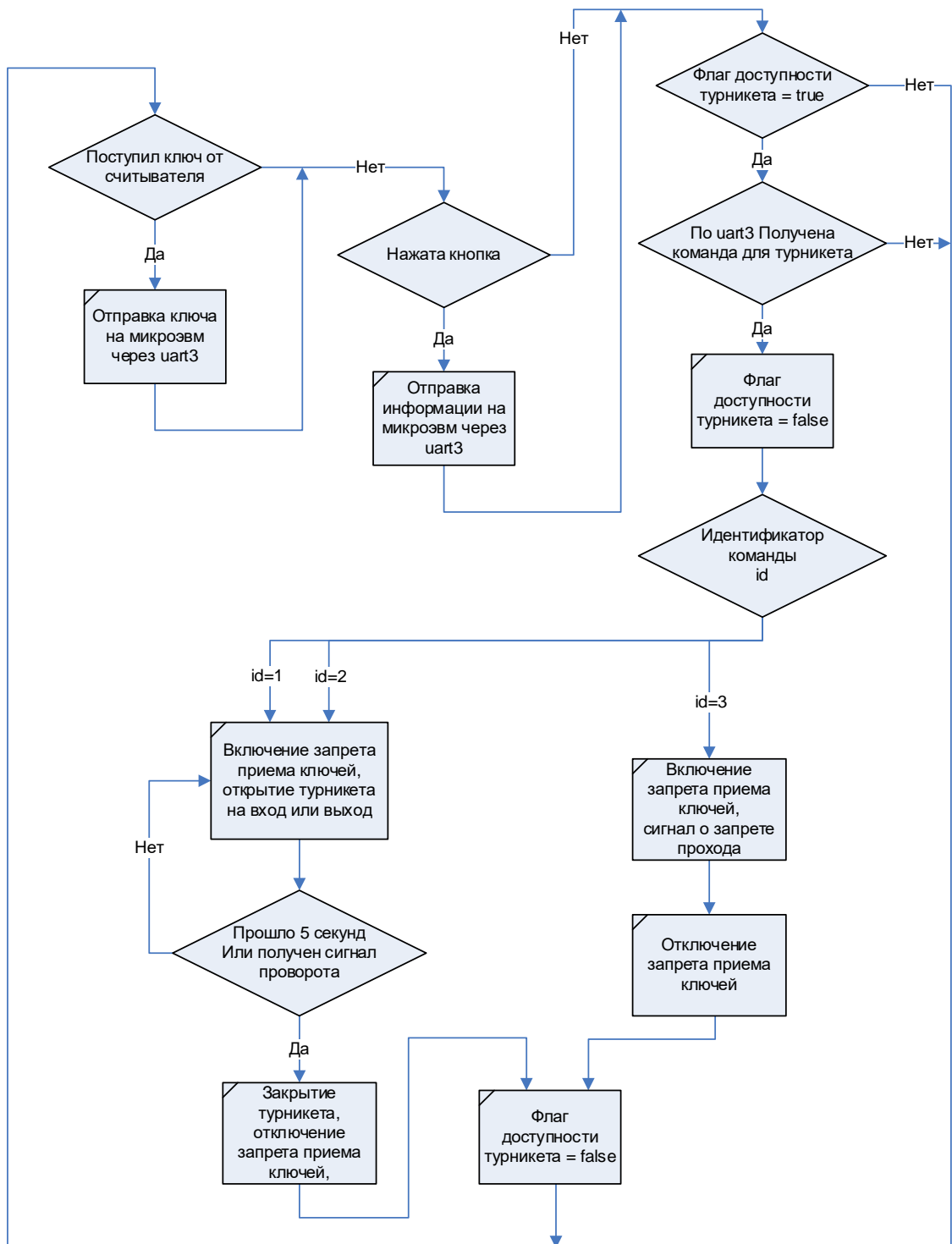


Рисунок 45 – Алгоритм процесса управления турникетом

Между микроконтроллером и турникетом желательно устанавливать реле. Данная плата работает весьма нестабильно, что связано с реализацией библиотек Ethernet.h и EthernetUdp.h (стек TCP/IP реализован программно), но аналоги показывают еще худшие результаты. Для реагирования на зависания используется механизм watchdog [116], который срабатывает, если в течение 8 секунд

микроконтроллер не получил UDP-пакет определенного содержания с основного сервера (контрольный пакет). Данная реализация оказалась достаточно стабильной, зафиксирован uptime 47 дней, за этот период через турникет было совершено 48234 прохода.

Централизованная архитектура программного обеспечения СКУД при всех своих достоинствах имеет значительный недостаток – отсутствие возможности автономной работы. Этот и другие недостатки (невозможность или недостаточность функциональности удаленного мониторинга, удаленного обновления программного обеспечения контроллера, удаленной перезагрузки) связаны, прежде всего, с аппаратными ограничениями микроконтроллера Atmel AVR ATmega2560. К его недостаткам также можно отнести невозможность установки полноценной операционной системы, отсутствие функциональности таймеров, потоков при разработке программного обеспечения. Удешевление нового поколения микрокомпьютеров при значительном повышении их технических характеристик и качества позволило автору диссертации и его коллегам начать разработку программного обеспечения СКУД в распределенной архитектуре.

В качестве микрокомпьютера был выбран Orange pi one [60]. Операционная система – Ubuntu 16.04.2 LTS, mainline kernel [113]. Согласно технической документации, данный микрокомпьютер работает с напряжением 3,3В на цифровых разъемах, вследствие чего требуется использовать конвертеры уровней (5В / 3,3В). Соединять таким способом микрокомпьютер с микроконтроллером весьма неудобно, в схеме появляются дополнительные элементы и контактные площадки. Многие микрокомпьютеры имеют в своем составе цифровые порты с недокументированной возможностью подачи напряжения 5В (5V tolerant ports). Orange pi one был изучен автором диссертации на предмет такой возможности для порта uart3. Выяснилось, что разъем tx допускает подачу напряжения 5В (является 5V tolerant), а разъем rx – нет. Несмотря на то, что такая схема подключения официально не рекомендована производителем микрокомпьютера, она оказалась пригодной для промышленной эксплуатации.

Распределенная архитектура программного обеспечения СКУД – это не альтернатива централизованной, а скорее ее развитие, улучшенный вариант. Необходимо соблюсти баланс – с одной стороны, информация для принятия решения о допуске должна быть максимально актуальной, а с другой стороны СКУД должна быть автономной, в идеале полностью. Попытка достичь этого идеала ведет к необходимости создания инфраструктуры репликации в режиме реального времени между КИС предприятия и контроллерами СКУД, что достаточно затруднительно в реализации. Более того, некоторый функционал СКУД предприятия вступает в противоречие с концепцией полной автономности. В качестве примера можно привести функционал запрета двойного прохода (antipassback) и функционал просмотра журнала СКУД в режиме реального времени.

Поэтому для обеспечения автономности контроллер использует базу данных, актуализируемую данными КИС предприятия каждую ночь. Автономная база данных используется контроллером только в случае потери связи с центральным сервером КИС предприятия.

Микрокомпьютер Orange pi one под управлением операционной системы Ubuntu 16.04.2 LTS позволяет выполнять программный код, написанный на языке С#. Это достигается посредством интерпретатора mono [39]. На данный момент используется версия 5.0.0, установка производится согласно документации [40]. При этом выполнение запросов к MS SQL серверу с использованием хранимых процедур работает стабильно и с минимальными настройками. Таким образом, при разработке новой версии СКУД удалось сохранить преемственность архитектур и использовать существующие наработки, сделанные на С#. Это является реализацией развиваемого в диссертации подхода, при котором разработка модернизированного и программного обеспечения является наименее затратной. На рисунке 46 представлена структурно-логическая схема СКУД, реализованной в распределенной архитектуре программного обеспечения.

Как видно из рисунка 46, функции считывания ключей, управления турникетом, получения информации для принятия решения о допуске и другие

функции были разнесены в основном между двумя устройствами – микроконтроллером Atmel AVR ATmega2560 и микрокомпьютером Orange pi one.

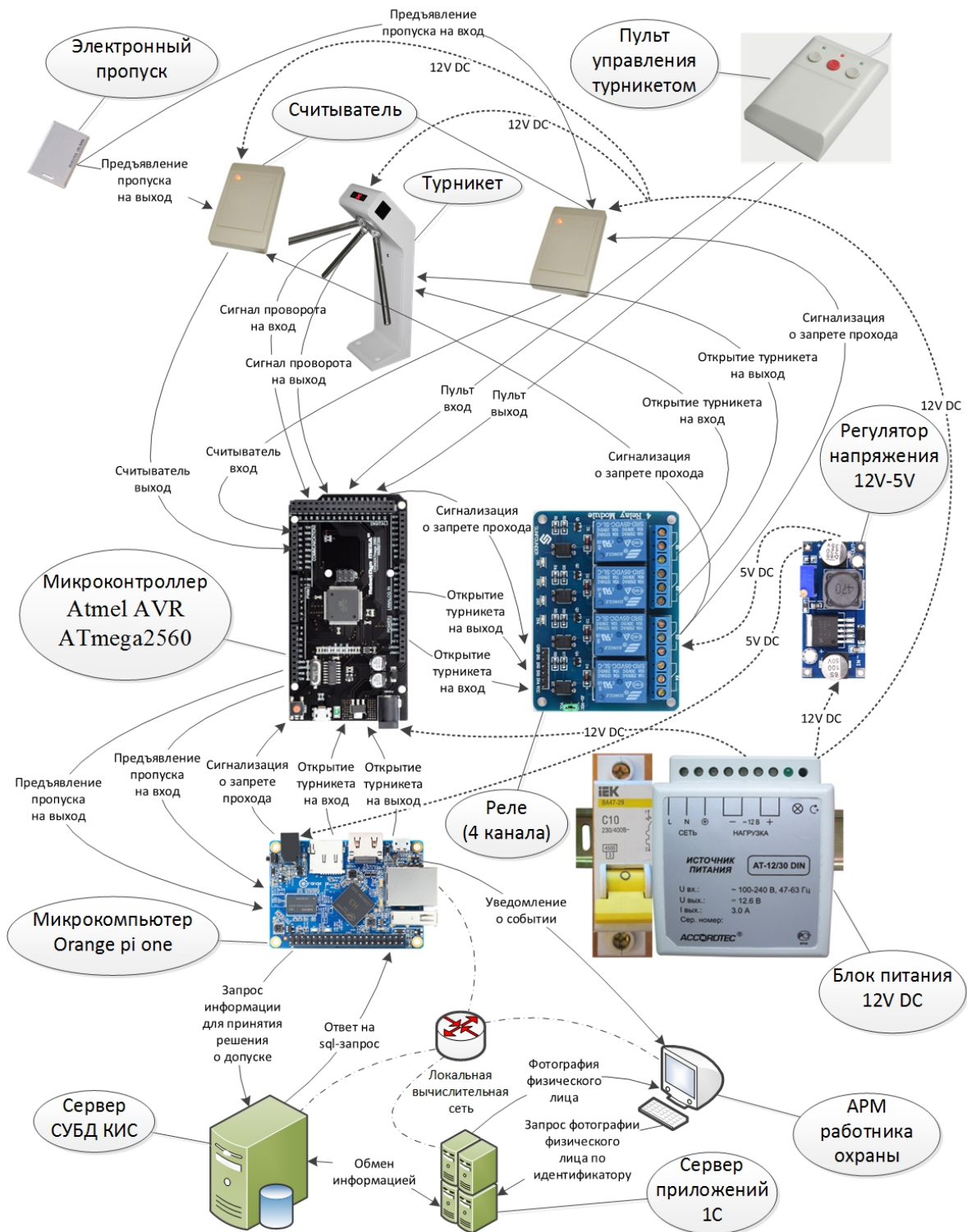


Рисунок 46 – Структурно-логическая схема ядра СКУД

При всех своих достоинствах операционная система Linux не является системой реального времени (RTS) и не может эффективно решить задачу

приоритезации прерываний в user space [115]. Такие попытки предпринимались, и даже с некоторым положительным результатом, но при этом нельзя говорить о стабильности и надежности системы [84]. Однопоточность Atmel AVR ATMega2560 в данном случае является плюсом и обеспечивает то, что в момент срабатывания прерываний гарантированно выполнится программный код обработчика.

Более того, использование отдельного устройства для считывания ключей и управления турникетом за счет модульности делает систему более гибкой, удобной в обслуживании и отладке, дополнительно защищает микрокомпьютер от высоких для него напряжений (более 3,3В). Механизм работы с прерываниями на Orange pi one под linux с использованием C# на сегодняшний день даже в англоязычной части интернет очень слабо изучен и освещен, поэтому нет объективных причин рисковать надежностью и стабильностью работы СКУД, тем более, что стоимость микроконтроллера Atmel AVR ATMega2560 сравнительно невысока. В любом случае работы в этом направлении будут продолжены, более того, уже сейчас есть результаты, позволяющие говорить о том, что задача работы с прерываниями Orange pi one с целью считывания карт доступа будет решена [15].

Отметим, что в данной реализации более нет необходимости использовать платы расширения Ethernet shield для микроконтроллера, поскольку на микрокомпьютере присутствует порт RJ45.

В процессе разработки программного обеспечения для микроконтроллера Atmel AVR ATMega2560 необходимо каждый раз при выпуске новой версии производить запись программного обеспечения в микроконтроллер. Сделать это удаленно весьма непросто [37], в особенности при большом количестве устройств и их территориальной разнесенности. Для решения этой проблемы на микрокомпьютер может быть установлена среда разработки Arduino IDE. Соединив микрокомпьютер и микроконтроллер кабелем usb, разработчики получают возможности удаленного обновления программного обеспечения в микроконтроллере и выполнения удаленной отладки.

При работе СКУД коммуникация между микроконтроллером и микрокомпьютером происходит по порту `uart3`. Сборка Ubuntu 16.04.2 LTS с `mainline kernel` [113] на данный момент категоризируется как экспериментальная, в дереве устройств отключены все порты `uart`, кроме нулевого (системная консоль). Для включения остальных портов `uart` необходимо произвести правку соответствующего файла `dtb`. Файл для редактирования может быть получен посредством команды `“dtc -I dtb -O dts -o board.dts /boot/dtb/board.dtb”` [87]. Данная команда производит декомпиляцию файла дерева устройств. В выходной файл необходимо внести правки согласно Приложению А.

После внесения правок и сохранения файла необходимо произвести его компиляцию посредством команды `«dtc -I dts -O dtb -o /boot/dtb/board.dtb board.dts»` [89]. Затем микрокомпьютер следует перезагрузить и проверить доступность, например, `uart3` командой `«cat /dev/ttyS3»`.

Необходимо помнить о разнице напряжений цифровых портов микроконтроллера и микрокомпьютера: при организации коммуникации порту `uart3` использование делителя напряжения является обязательным. Как видно из рисунка 45, от микроконтроллера на микрокомпьютер поступает информация о событиях предъявления пропусков и нажатии кнопок на пульте. В обратную сторону (от микрокомпьютера к микроконтроллеру) поступают команды на открытие турникета на вход или выход и команды звуковой сигнализации в случае, если проход запрещен. Микрокомпьютер Orange pi one с операционной системой Ubuntu 16.04.2 LTS предоставляет широкие возможности для разработки программного обеспечения. Интерпретатор `mono` позволяет вести разработку на `C#`, при этом доступны классы работы с СУБД `MS SQL` и `MySQL`. СКУД предприятия пищевой промышленности, реализованная в распределенной архитектуре, позволяет получить информацию, необходимую для принятия решения о допуске, двумя способами.

В первом случае запрос делается к центральной СУБД КИС предприятия, во втором случае – к локальной СУБД микрокомпьютера. Информация, находящаяся в центральной БД актуальна по определению, для обеспечения актуальности

локальной базы данных необходимо определиться с периодичностью ее актуализации. Локальная БД, как было ранее отмечено, используется только в случае аварий, либо большой загрузки центрального сервера, и именно поэтому автор диссертации и его коллеги остановились на ночной выгрузке, когда нагрузка на инфраструктуру минимальна. При запросе информации с центрального сервера на получение ответа выделяется одна секунда, после этого текущий запрос отменяется и делается еще один к локальной СУБД. Очевидно, что не имеет смысла делать запрос к центральной СУБД, если она в данный момент по каким-либо причинам недоступна.

Специфика класса `SqlConnection` в `C#` такова, что возможность быстро проверить открытый экземпляр соединения на доступность отсутствует. В случае, например, физических проблем с сетью возможна большая задержка (определяемая параметром «`Connection timeout`») до получения обрабатываемого исключения. В качестве решения данной проблемы автором диссертации предложено использовать опрос центральной СУБД в отдельном потоке с периодичностью три секунды. Для опроса используется конструкция, в которой в открытом соединении к целевой БД выполняется команда «`select 1`». Данный запрос целесообразно выполнять при помощи метода «`SqlCommand.ExecuteScalar`». Результат записывается в глобальную переменную, доступную за пределами потока. В дальнейшем в основной программе, в зависимости от значения этой переменной, запрос информации для принятия решения о допуске делается либо к центральной СУБД, либо сразу, минуя ее, к локальной СУБД микрокомпьютера.

Задача поддержания локальной базы данных в актуальном состоянии весьма осложняется вследствие использования различных СУБД – `MS SQL` и `MySQL`, развернутых к тому же на операционных системах `Windows Server 2016` и `Ubuntu Linux 16.04.2 LTS`. Организация взаимодействия между СУБД через промежуточные сервисы приведет в итоге к сложному в отладке решению с низким быстродействием, ограниченно поддерживающему распределенные транзакции. Для решения этой проблемы был использован механизм связанных серверов (`Linked servers`) на стороне `MS SQL Server`. Данный механизм позволяет

использовать объекты внешних СУБД (в том числе MySQL, развернутого на Ubuntu Linux 12.04.2 LTS) в sql-запросах с поддержкой функционала распределенных транзакций.

В приложении А дан пример создания связанного сервера MySQL. Операционная система с MS SQL Server должна содержать соответствующий драйвер, который устанавливается согласно документации [127]. На данный момент доступна версия 5.3.

Использование связанных серверов существенно повышает скорость и удобство взаимодействия с MySQL Server контроллера из контекста центрального MS SQL Server. Однако возникает вопрос о выборе способа записи результата запроса к центральной СУБД в таблицу локальной СУБД. Использование, казалось бы, логичной конструкции «insert into _mysql (select _data from _msSQL)» приводит к резкому падению быстродействия. При помощи профайлера было установлено, что при таком способе записи передаются на локальный сервер по одной, и для каждой из них выполняется свой запрос на insert. Вероятно, это связано с реализацией драйвера или алгоритма в целом.

Более того, при записи данных с центрального сервера на локальный необходимо выполнить несколько условий. Согласно представленному на рисунке 47 алгоритму, при записи необходимо выполнить два действия. Сначала при помощи команды upsert добавить или обновить существующие записи о физических лицах на локальном сервере. Затем необходимо удалить с локального сервера записи, которые отсутствуют в наборе данных, сформированных на основном сервере. Команда upsert, присутствующая в MySQL Server, в данном случае является очень функциональной и экономит, по крайней мере, одну операцию.

Операция синхронизации локальных баз данных оформлена в виде задания в MS SQL Server Agent.

В период недоступности основного сервера контроллер использует информацию из локальной базы данных, в этой же базе находится таблица журнала

проходов. Как только основной сервер становится доступен, происходит (по триггеру) выгрузка журнала событий в центральную базу данных.

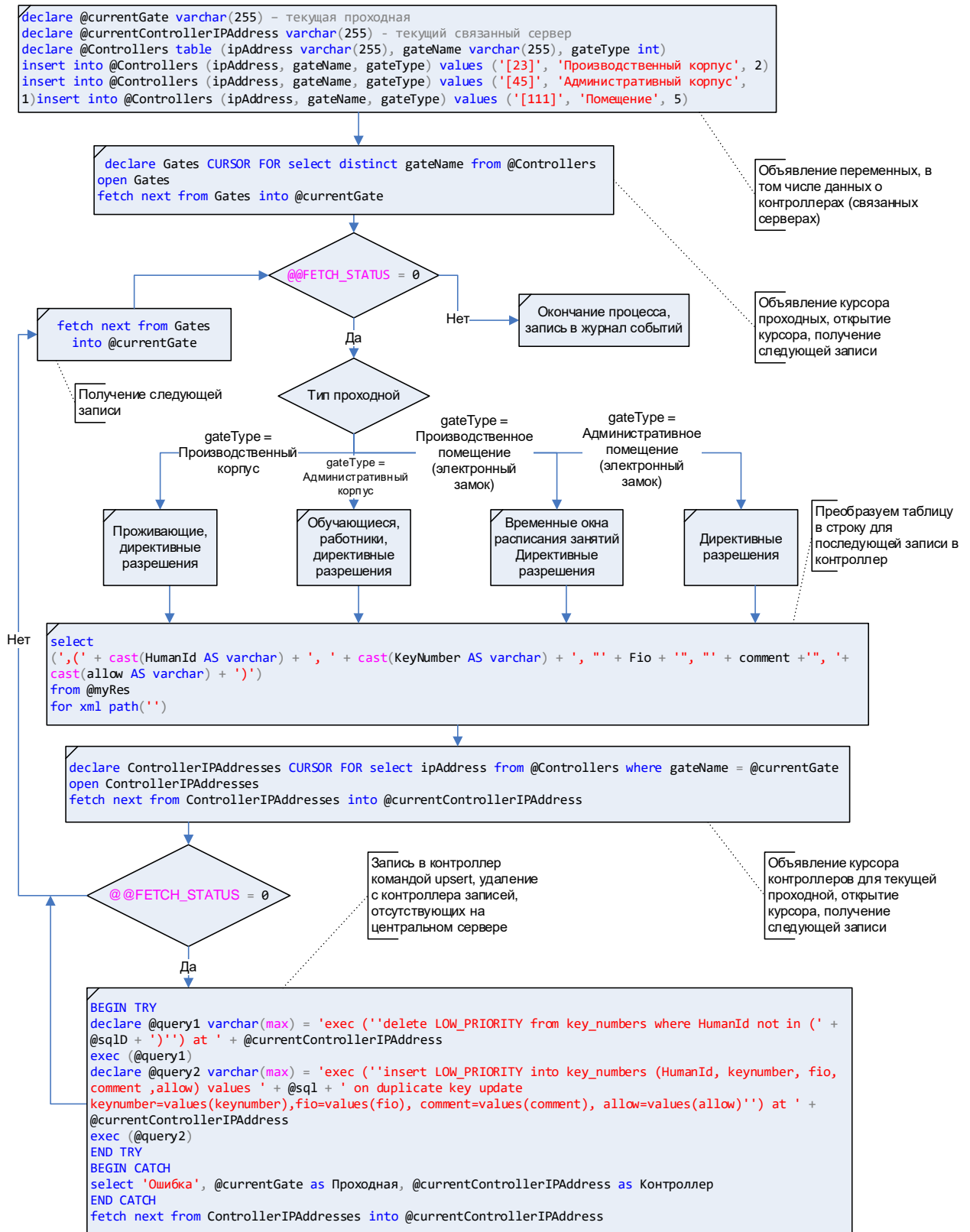


Рисунок 47 – Алгоритм синхронизации центральной базы данных с MySQL

При помощи этого механизма обеспечивается достоверность отчетов, основанных на журнале событий основного сервера. Пример такого отчета приведен на рисунке 48.

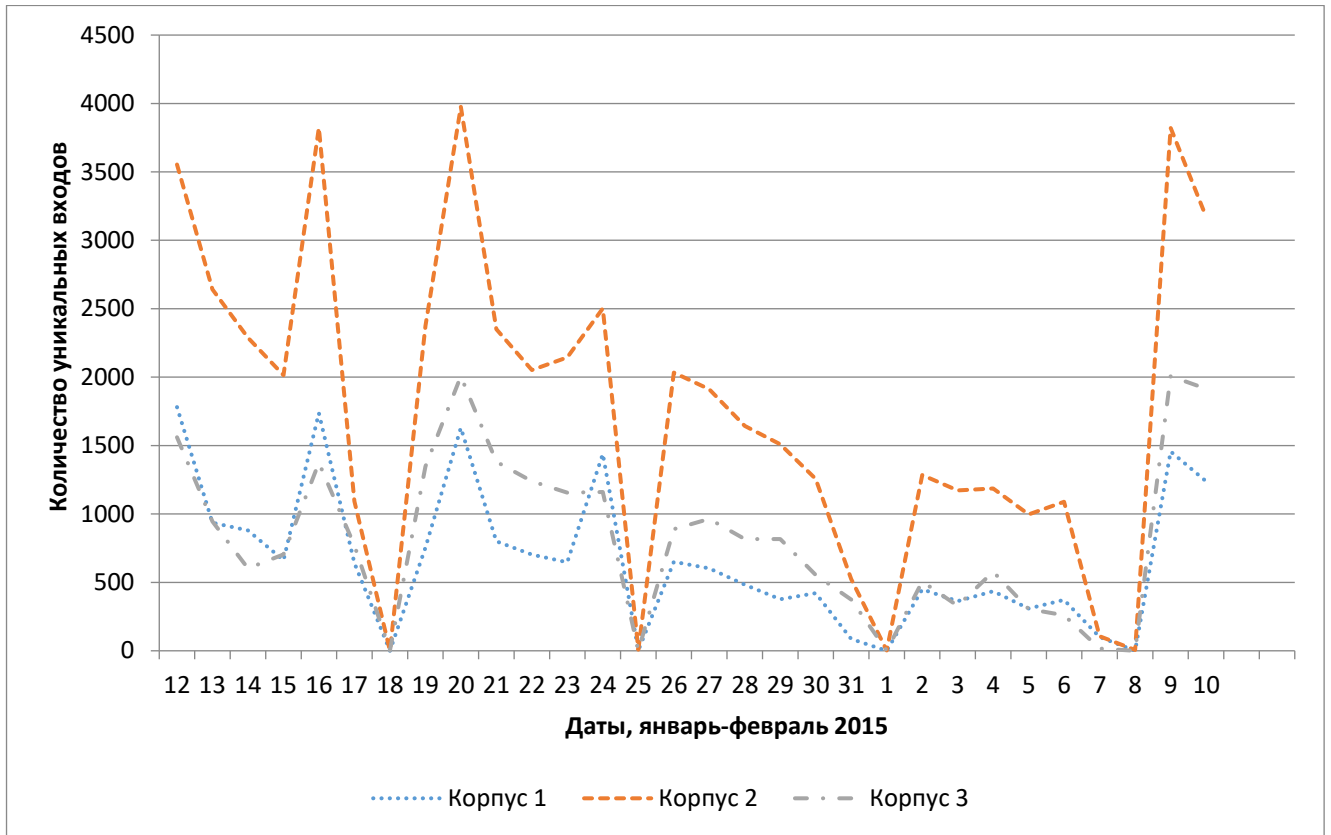


Рисунок 48 – Пример отчета по проходам в здания организации

СКУД разрабатывалась с учетом требований ГОСТ Р 51241-2008 [34] и, в зависимости от реализации на том или ином предприятии пищевой промышленности, может быть отнесена к универсальным системам большой емкости второго или третьего класса по функциональным возможностям. СКУД не содержит в своем составе хранилища для персональных данных, используется центральная СУБД ИАСУ.

4.3 Реализация и внедрение интегрированной автоматизированной системы управления

ООО «РИФ» является территориально-распределенным рыбоперерабатывающим предприятием. Управление предприятием осуществляется централизованно, для обоснованности принимаемых управленческих решений необходимо применение системы комплексной автоматизации. ИАСУ, как платформа комплексной автоматизации, должна оперировать полной, достоверной и актуальной информацией. Так сложилось исторически, что во многих случаях ввод в ИАСУ информации на различных этапах технологических процессов осуществлялся вручную. На выполнение регистрации фактов уходит много времени, работники производства отвлекаются от непосредственного технологического процесса, вследствие ошибок информация может попасть в ИАСУ в искаженном виде. В связи с этим при интеграции ИАСУ с экземплярами ПАК автоматизации были подробно проработаны механизмы сбора необходимой информации в режиме реального времени. Это позволило значительно повысить эффективность процессов и качество управленческих решений, принимаемых на основании агрегированной в ИАСУ информации с различных участков (и территорий) производства.

Экземпляры ПАК параллельно с управлением процессами предоставляют ИАСУ связанную с ними информацию. Информация журналируется, соответствующие операции рассматриваются как регистрации фактов. Помимо этого, информация, обработанная в ИАСУ, возвращается на ПАК в виде дополнительных сигналов управления, позволяя реализовать принцип нечеткого регулирования, при котором управление становится более плавным и точным во времени.

Например, при управлении процессом копчения рыбы ПАК и ИАСУ оперируют следующими параметрами: температура и влажность воздуха в камерах размораживания (или доведения до необходимой температуры); контроль металлических примесей в сырье; масса брутто и нетто при взвешивании на

различных этапах; концентрация рассола при посоле; температура и оптическая плотность дыма при копчении; температура внутри рыбы при копчении; температура и влажность воздуха в сушильных камерах. Низкая стоимость аппаратного обеспечения позволила повысить надежность ПАК путем дублирования датчиков влажности и температуры, соответствующие изменения были внесены в программное обеспечение. Также на различных этапах процесса применяются автоматизированные средства контроля временных интервалов (таймеры). В случае выхода измеряемых параметров за пределы допустимых значений предусмотрена звуковая сигнализация, в том числе на рабочем месте оператора. Для учета и контроля перемещения готовой продукции применяются идентификаторы стандарта UHF-RFID, стоимость которых на данный момент значительно снизилась и составляет 15-20 руб. за один экземпляр. Соответствующая структурная схема модели представлена на рисунке 49.

Технологические процессы, безусловно, являются основными для предприятия пищевой промышленности, однако для его эффективного функционирования при разработке и внедрении системы комплексной автоматизации должны также быть детально проработаны и обеспечивающие (административно-хозяйственные) процессы. Отдельного внимания заслуживает задача учета расхода воды, которая требуется на технологические, санитарные и бытовые нужды. Разработанный ПАК одновременно с управлением технологическими процессами считывает показания с соответствующих импульсных счетчиков воды, что в дальнейшем позволяет учесть эти цифры при расчете эффективности того или иного технологического процесса. Необходимо отметить, что процессы посола рыбы являются весьма затратными в части потребления воды, и без должного контроля за ее расходом персонал сложно будет поставить в рамки необходимой экономии. ИАСУ при расчете эффективности оперирует расходом воды в кубических метрах за одну смену в разрезе технологических нужд, мойки оборудования, полов и др. В результате в качестве показателя стратегической карты используется критерий, соответствующий расходу воды на единицу конкретной продукции.

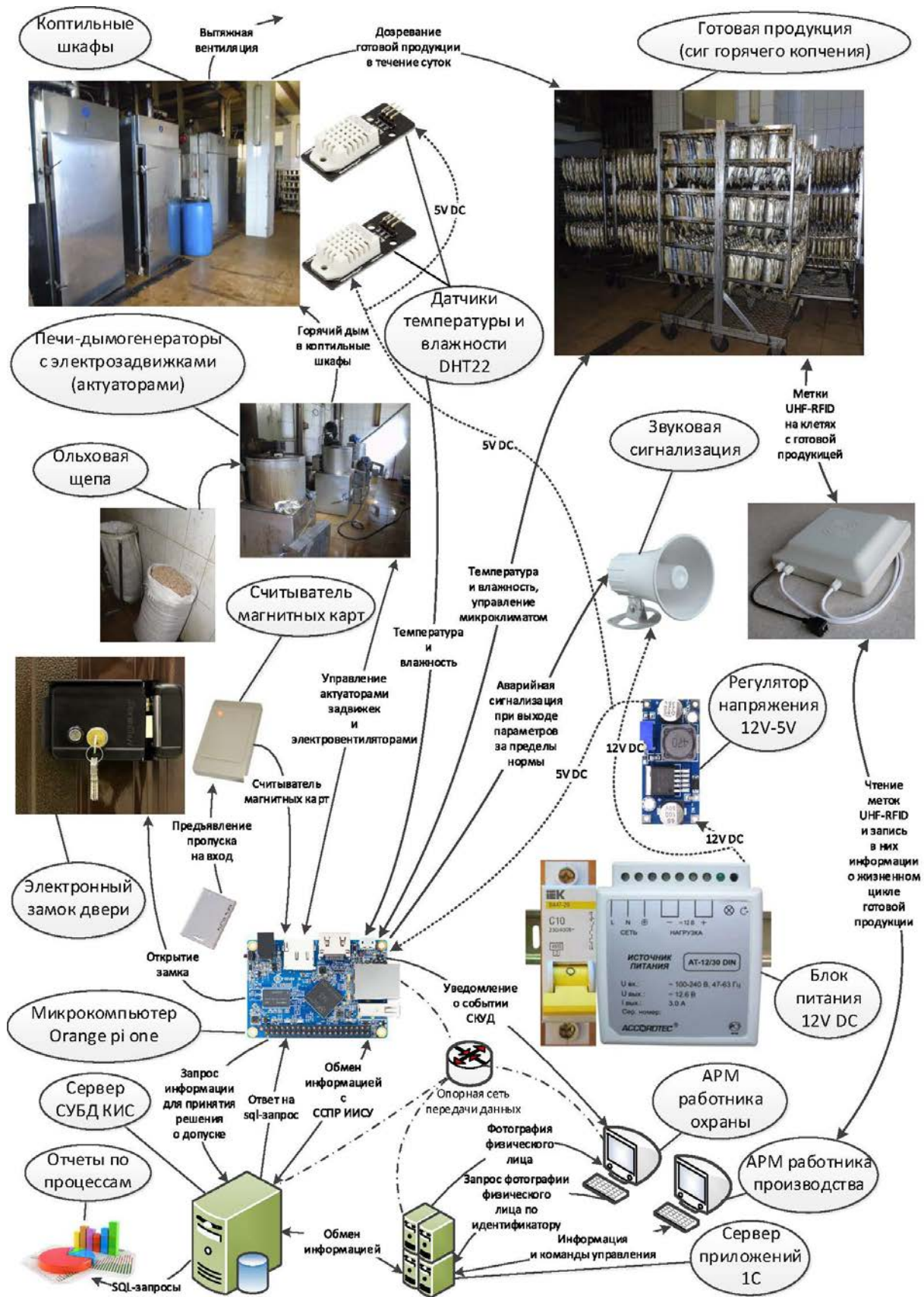


Рисунок 49 – Структурная схема модели комплексной автоматизации на примере процесса горячего копчения рыбы

Выводы по главе 4

Реализован на практике обладающий значительными вычислительными ресурсами ПАК автоматизации, что позволило запускать на его базе обученную нейросеть, разработанную в программном пакете TensorFlow.

Однако выявленные в процессе опытной эксплуатации недостатки данного решения (зависимость от достоверности и размера обучающей выборки, склонность к переобучению, сложность программно-аппаратной реализации) показали его недостаточную эффективность для промышленного применения, что подтверждает целесообразность применения разработанных в третьей главе подходов.

На основе матричных методов теории графов разработана мнемосхема управления опорной сетью передачи данных, позволяющая контролировать основные параметры сети в режиме реального времени. Показано использование общности инфраструктуры обеспечения производственно-технологических и обеспечивающих процессов при реализации опорной сети передачи данных

На основании разработанных моделей и алгоритмов реализован на практике универсальный ПАК автоматизации, интегрированный в режиме реального времени с ИАСУ.

Внедрение разработанной ИАСУ в качестве системы комплексной автоматизации на ООО «РИФ» позволили этому рыбоперерабатывающему предприятию применить концепцию «от фермы до прилавка» при управлении бизнес-процессами полного цикла переработки продукции – от инкубации икры рыб ценных пород до продажи готовой продукции в собственном магазине и розничных сетях.

По результатам эксплуатации ПАК сделаны выводы о его пригодности к промышленной эксплуатации (получены соответствующие акты и свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ №2018618437).

Себестоимость разработанного решения в среднем в два раза ниже аналогов, присутствующих на рынке, при этом оно не уступает им в универсальности, технологичности, надежности, производительности.

Отмечена целесообразность привлечения персонала предприятия пищевой промышленности к разработке и внедрению ПАК – как ИТ-персонала, так и работников производства. При разработке сделан упор на использование открытого программного и аппаратного обеспечения отечественной разработки. По результатам опытной эксплуатации решения руководством предприятия отмечено повышение эффективности работы в области интеграции бизнес-процессов, кадровой и производственной дисциплины, экономии времени за счет удобства использования.

Заключение

В ходе выполнения научно-квалификационной работы по исследованию и разработке интегрированной автоматизированной системы управления рыбоперерабатывающим предприятием с применением универсального программно-аппаратного комплекса получены следующие основные результаты:

1. Обоснована целесообразность разработки ИАСУ и универсального ПАК, взаимодействующих в режиме реального времени и управляющих взаимосвязанными производственно-технологическими и обеспечивающими процессами.

2. Разработана когнитивная модель ИАСУ, включающая граф причинно-следственных связей и построенную на его основе концептуальную теоретико-множественную модель системы; разработаны стратегические карты, критерии автоматизированного управления, модели и алгоритмы автоматизированных процессов управления производством (с текстовым описанием), архитектура и информационно-логическая модель ИАСУ.

3. Разработаны функциональная схема и математическая модель системы автоматического управления технологической линией горячего копчения рыбы с применением универсального ПАК. При разработке использовались системы КОМПАС и Matlab.

4. Предложен алгоритм разработки универсального ПАК, позволяющий получать и анализировать возможные варианты для выбора наиболее рациональных, на основе которых разработана структурная схема модели универсального ПАК, которая позволила сохранить преемственность программного и аппаратного обеспечений и не предъявляет специфических требований к квалификации персонала.

5. Разработаны и внедрены на рыбоперерабатывающем предприятии (ООО «РИФ») ИАСУ и универсальный ПАК, взаимодействующие в режиме реального времени и выполняющие управление: производством, контролем доступа, перемещением персонала, оборудования, сырья и готовой продукции,

локальной вычислительной сетью, материально-технической базой, матричное управление производственно-технологическими и обеспечивающими процессами на всех уровнях предприятия. Это позволило реализовать концепцию жизненного цикла «от фермы до прилавка» при управлении бизнес-процессами полного цикла переработки продукции – от инкубации икры рыб ценных пород до продажи готовой продукции в собственном магазине и розничных сетях. Решение является доступным по цене, надежным (наработка на отказ более 1 года), масштабируемым (внедрением более 100 экземпляров) с открытой архитектурой, с накопленным объемом данных порядка 25 млн записей, производительность ПАК увеличена на 25-30% по сравнению с аналогами. Разработанная ИАСУ имеет значительный потенциал в разработке новых подсистем и в базовом функционале может использоваться на любом отечественном предприятии, при необходимости ИАСУ может быть адаптирована силами специалистов предприятия.

Список сокращений

- БД** – база данных;
- ЕИП** – единое информационное пространство;
- ЕИС** – единая информационная система;
- ИАСУ** – интегрированная автоматизированная система управления;
- ИС** – информационная система;
- КИС** – корпоративная информационная система;
- МГУПП** – Московский государственный университет пищевых производств;
- Метод ПЕРТ** – метод оценки и пересмотра программ;
- МКП** – метод критического пути;
- ОЗУ** – непостоянное запоминающее устройство, «стираемая» при выключении электропитания память, применительно к ЭВМ;
- ОСПД** – опорная сеть передачи данных;
- ПАК** – программно-аппаратный комплекс;
- ПЗУ** – постоянное запоминающее устройство, «нестираемая» при выключении электропитания память, применительно к ЭВМ;
- ПЛК** – программируемый логический контроллер;
- ПТК** – программно-технический комплекс;
- СКУД** – система контроля и управления доступом;
- СППР** – система поддержки принятия решений;
- СПУ** – сетевые методы планирования и управления;
- СУБД** – система управления базами данных;
- ЭОС** – электронная образовательная среда;
- BPMS** – Business Process Management Suite;
- ERP** – Enterprise Resource Planning;
- MES** – Manufacturing Execution System;
- RPA** – Robotics Process Automation;
- SWEBOK** – Software Engineering Body of Knowledge

Список литературы

1. Абрарова, Е.В. Об уравнениях движения системы тягач-полуприцеп со сцепкой типа «пятое колесо» / Е.В. Абрарова, А.А. Буров, С.Я. Степанов, Д.П. Шевалье // Задачи исследования устойчивости и стабилизации движения. М.: ВЦ РАН. – 1998. – С. 45-70.
2. Авен, О.И. Оценка качества и оптимизация вычислительных систем / О.И. Авен, Н.Н. Гурин, Я.А. Коган. – М.: Наука, 1982. – 452 с.
3. Австриевских, А.Н. Управление качеством на предприятиях пищевой и перерабатывающей промышленности: Учебник / А. Н. Австриевских, В. М. Кантере, И. В. Сурков, Е. О. Ермолаева. — 2-е изд., испр. и доп. — Новосибирск: Сиб. унив. изд-во, 2007. — 268 с.
4. Агеева, Т.И. Информационная управляющая система МГТУ им. Баумана: концепция и реализация / Т.И. Агеева, А.В. Балдин, В.А. Барышников – М.: Изд-во МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2009. – 376 с.
5. Адилов, Р.М. Системы искусственного интеллекта. Модуль 3. Системы машинного зрения: Учеб. пособие для вузов / Р.М. Адилов. – Пенза: ПГТА, 2008. – 132 с.
6. Аитов, В. Г. Система контроля доступа в высшем учебном заведении / В. Г. Аитов, В.О. Новицкий, И.И. Чекин // Прикладная информатика. – 2017. – Т. 12. – № 4. – С. 81-99.
7. Анхимюк, В.Л., Опейко О.Ф., Михеев Н.Н. Теория автоматического управления / В.Л. Анхимюк, О.Ф. Опейко, Н.Н. Михеев – Минск: Дизайн ПРО, 2000. – 352 с.
8. Апанасенко, С. И. Автоматизация контроля влажности кондитерских масс с применением интеллектуальных технологий: диссертация ... кандидата технических наук: 05.13.06 / Апанасенко Сергей Игоревич; [Место защиты: Моск. гос. ун-т приклад. биотехнологии]. – Москва, 2010. – 131 с.
9. Арзамасцев, А.А. Автоматизированная технология построения экспертных информационных систем / А.А. Арзамасцев, А.В. Неудахин // Вестник Тамбовского

университета. Серия: Естественные и технические науки. – Тамбов. – 2008. – Т.13. – Вып. 1. – С. 83–85.

10. Балыхин М.Г. Методологические основы создания экспертных систем контроля и прогнозирования качества пищевой продукции с использованием интеллектуальных технологий: Монография/ М.Г. Балыхин, А.Б. Борзов, И.Г. Благовещенский. – М.: Франтера, 2017. – 395 с.

11. Барский, А. Б. Нейронные сети: распознавание, управление, принятие решений / А. Б. Барский. — М. : Финансы и статистика, 2004. — 176 с.

12. Беллман, Р. Динамическое программирование и современная теория управления / Беллман, Р., Калаба Р. (Bellman R., Kalaba R.), Пер. с англ. — М.: Наука, 1969. – 119 с.

13. Березко А. Интеллектуальная ГИС / А. Березко, А. Рыбкина, А. Соловьев, Р. Красноперов // Вестник ОЗН РАН. – 2009. – Т.1. – С. 1–7.

14. Беркинблит М. Б. Нейронные сети / М. Б. Беркинблит – М.: МИРОС и ВЗМШ РАО, 1993. – 96 с.

15. Библиотека GPIO для доступа к символьным устройствам Linux в user space [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://git.kernel.org/pub/scm/libs/libgpiod/libgpiod.git/tree/README>

16. Библиотека Wiegand для Arduino (с поддержкой до трех считывателей) [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://github.com/ugge75/Wiegand-Protocol-Library-for-Arduino-MEGA-2560>

17. Библиотека Wiegand для Arduino (с поддержкой не более одного считывателя) [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://github.com/monkeyboard/Wiegand-Protocol-Library-for-Arduino>

18. Битюков, В.К. Экспертная система определения цветовых характеристик хлебобулочных изделий / В.К. Битюков, А.А. Хвостов, Д.И. Ребриков // Межвузовский сборник научных трудов «Системы управления и информационные технологии». – Воронеж: ВГУИТ, 2008. – №4.1. – С. 138 – 141.

19. Благовещенская М.М., Костин А.М., Благовещенский И.Г., Татаринев А.В. Распределенные автоматизированные системы интеллектуального

мониторинга оборудования зерноперерабатывающих предприятий // Сборник материалов научной конференции с международным участием «развитие пищевой и перерабатывающей промышленности в России кадры и наука». - М.: МГУПП, 2017. - с. 171 – 175.

20. Благовещенская, М.М. Автоматика и автоматизация пищевых производств: Учебник для вузов / М.М. Благовещенская, Н.О. Воронина, А.В. Казаков, И.К. Петров, Е.А. Прокофьев. – М.: Высш. шк., 1998. – 255 с.

21. Благовещенская, М.М. Информационные технологии систем управления технологическими процессами. Учеб. для вузов / М.М. Благовещенская, Л.А. Злобин. – М.: Высш. Шк., 2005 – 768 с.

22. Благовещенская, М.М. Использование цифровой видеокамеры в качестве интеллектуального датчика системы автоматического регулирования процесса формирования гранулированных комбикормов / М.М. Благовещенская, Н.А. Семина, И.Г. Благовещенский, С.Д. Савостин // Вестник ВГУИТ. – 2014. - №2. – С. 48-54.

23. Благовещенская, М.М. Система автоматического регулирования с цифровой видеокамерой / М.М. Благовещенская, Я.В. Иванов // Вестник ТГТУ. – 2010. – Том 16. – №4. – С. 776-779.

24. Бородин, И.Ф. Автоматизация технологических процессов / И.Ф. Бородин, Н.М. Недилько. – М.: Агропромиздат, 1986. – 368 с.

25. Бункин, П.Я. Типовые регуляторы систем управления: Методические указания к лабораторным работам/ П.Я. Бункин. – Владивосток: Издательский дом Дальневосточного федерального университета, 2013. – 25 с.

26. Бурцева, Ю. С. Беспойсковый метод расчета настроек регуляторов на минимум квадратичного критерия: дис. канд. техн. наук: 05.13.06 / Бурцева Юлия Сергеевна. – Москва, 2014. – 156 с.

27. Вдовенко, Л.А. Информационная систем предприятия. Учебное пособие / Вдовенко Л. А., 2-е изд., пераб. и доп. - М.: Вузовский учебник, НИЦ ИНФРА, 2015. – 304 с.

28. Волкова, В.Н. Теория систем и системный анализ: учебник для академического бакалавриата / В.Н. Волкова, А.А. Денисов. – 2 изд., перераб. и доп. – М.: Издательство Юрайт, 2015. – 462 с.
29. Волчихин, В. И. Основы обучения искусственных нейронных сетей: учеб. пособие / В. И. Волчихин, А. И. Иванов. — Пенза : Изд-во Пенз. гос. ун-та, 2004. — 112с.
30. Вульман, Ф.А. Математическое моделирование тепловых схем паротурбинных установок на ЭВМ / Ф.А. Вульман, А.В. Корягин, М.З. Кривошей // М.: Машиностроение, 1985. – 111 с.
31. Вульман, Ф.А. Тепловые расчеты на ЭВМ теплоэнергетических установок / Ф.А. Вульман, Н.С. Хорьков // М.: Энергия, 1975. – 200 с.
32. Гессе, Г. Игра в бисер / Г. Гессе. – М.: Аст, 2014 – 544 с.
33. Глушков, В.М. Кибернетика: Вопросы теории и практики / В.М. Глушков. – М.:Наука, 1986. – 480 с.
34. ГОСТ Р 51241-2008 Средства и системы контроля и управления доступом. Классификация. Общие технические требования. Методы испытаний. – М.: Стандартиформ, 2009. – 28 с.
35. Датчик концентрации углекислого газа в атмосфере МН-Z19 [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://ru.aliexpress.com/item/1PCS-module-MH-Z19-infrared-co2-sensor-for-co2-monitor-MH-Z19B-Free-shipping-new-stock/32371956420.html?spm=a2g0s.9042311.0.0.138c33edSVbsQX>
36. Директива «volatile» в языках программирования С и С++ [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://habrahabr.ru/company/abbyu/blog/161607/>
37. Доработка загрузчика (bootloader) Arduino для обновления микропрограммы по сети ethernet [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://www.freetronics.com.au/pages/how-to-upload-a-sketch-to-your-arduino-via-a-network#.WQXiotryhPY>
38. Жиров М. В., Совлуков А. С., Жирова В. В., Жиров В. М. Способ определения радиального распределения температуры в цилиндрическом резервуаре с виноматериалом: Патент на полезную модель № 121505 РФ; Зарег. 27.10.2012.

39. Инструкция по установке Mono на Linux [Электронный ресурс]. Режим доступа: <http://www.mono-project.com/docs/getting-started/install/linux/>
40. Интерпретатор (фреймворк) mono [Электронный ресурс]. Режим доступа: <http://www.mono-project.com/>
41. Информационная система «Проход и питание» [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://www.mos.ru/news/item/23225073/>
42. Ицкович, Э.Л. Методы рациональной автоматизации производства / Э.Л. Ицкович. - М.: Инфра-Инженерия, 2009. - 256 с.
43. Карпин, Е.Б. Автоматизация технологических процессов пищевых производств: учеб. для вузов по спец. «Автоматизация и комплекс. механизация хим.-технол. Процессов» / Е. Б. Карпин, О. И. Авен, И. К. Петров и др.; Под ред. Е. Б. Карпина. – М.: Агропромиздат, 1985. – 535 с.
44. Ключников, В. В. Проектирование систем управления технологическими процессами и аппаратами пищевых производств (задачи и упражнения): учебное пособие / В. В. Ключников. – Барнаул: Изд-во АлтГТУ, 2010. – 161 с.
45. Кокинз, Г. Управление результативностью / Г. Кокинз. – Ульяновск: ИПК «Ульяновский дом печати», Пер. с англ., 2007. – 318 с.
46. Комиссарчик, В.Ф. Автоматическое регулирование технологических процессов: учебное пособие / В.Ф. Комиссарчик. – Тверь: Тверской государственный технический университет, 2001 – 247 с.
47. Красинский, А.Я. О влиянии деформируемости колес на динамику работа с дифференциальным приводом / А.Я. Красинский, Д.Р. Каюмова // Нелинейная динамика. – 2011. – Т.7. – №4. – С. 803-822.
48. Краснов А.Е., Умеренков Д.Е. Построение детерминированной дискретной динамической модели хозяйственной деятельности предприятия в краткосрочной перспективе // Хранение и переработка сельхозсырья. 2005. № 3, С. 11 – 14.
49. Красовский, Н.Н. О приближенном вычислении оптимального управления прямым методом / Н.Н. Красовский // Прикл. Математика и механика. – 1960. – Т.24. – №2. – С. 271-276.

50. Красовский, Н.Н. Об одной задаче оптимального регулирования нелинейных систем / Н.Н. Красовский // Прикл. Математика и механика. – 1959. – Т.23. – №2. – С. 209-229.

51. Красовский, Н.Н. Проблемы стабилизации управляемых движений / Н.Н. Красовский // В кн. Малкин И.Г. Теория устойчивости движения. Дополнение 4 М.:Наука, 1966. – С 475-514.

52. Круглов, В.В., Борисов Н.Н. Искусственные нейронные сети. Теория и практика / В.В. Круглов, Н.Н. Борисов. – М.: Телеком, 2001. – 382 с

53. Крусь, Г.Н. Технология молока и молочных продуктов / Г.Н. Крусь, А.Г. Храмцов, З.В. Волокитина, С.А. Карпычев; Под ред. А.М. Шалыгиной. – М.: Колосс, 2006. – 255 с.

54. Летов, А.М. Математическая теория процессов управления / А.М. Летов. – М.: Наука, 1981. – 256 с.

55. Максимов, А.С. Реология пищевых продуктов. Лабораторный практикум / А.С. Максимов, В.Я. Черных. – М.:Гиорд, 2006. – 176 с.

56. МакСуини, П.Л.Г. Практические рекомендации сыроделам / П.Л.Г. МакСуини. – пер.с англ. Под ред. Канд. Техн. Наук И.А. Шергиной. – СПб.:Профессия, 2010. – 374 с.

57. Мартыненко, И.И. Проектирование систем автоматики / Мартыненко И.И., Лысенков В.Ф. – 2-е изд., перераб. и доп. – М.: Агропромиздат, 1990. – 243с.

58. Мартыненко, Ю.Г. Управление движением мобильных колесных роботов / Ю.Г. Мартыненко // Фундамент. и прикл. матем. – 2005. – Т. 11. – №8. – С. 29-80.

59. Методология функционального моделирования IDEF0. – М. Госстандарт России, 2000 г. – 75 с.

60. Микрокомпьютер Orange pi one [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://4pda.ru/forum/index.php?showtopic=750921>

61. Микрокомпьютеры Orange pi [Электронный ресурс]. Режим доступа: <http://www.orangepi.org>

62. Мышенков К.С. Модели и методы проектирования автоматизированных систем управления для зерноперерабатывающих предприятий: дис. ... докт. техн. наук. – М., 2005.- 295 с.

63. Новицкий В.О. Создание лабораторной службы зерновой корпорации на основе применения методологии системного подхода / В.О. Новицкий, М.Н. Кириллов // Хранение и переработка сельхозсырья. – 2018. – № 2. – С.86-91.

64. Новицкий, В.О. Исследование и моделирование сложных систем управления для зерновых и зерноперерабатывающих предприятий и компаний / В.О. Новицкий // Сборник научных трудов МПА: Вып. IX: Под ред. В.А.Бутковского. – М.: Троицкий мост. – 2011. – С.107-123.

65. Новицкий, В.О. Методология исследования и моделирования сложных систем управления для предприятий и компаний зернового сектора АПК / В.О. Новицкий, В.И. Карпов // Информационные технологии. – М.: Изд-во «Новые технологии», – 2010. – №9. – С.50-56.

66. Новицкий, В.О. Методология общесистемного проектирования автоматизированных систем / В.О. Новицкий. – М.: Издательство МГУПП, 2011. – 120 с.

67. Новицкий, В.О. Модели и методы оптимального управления производством для зерновых и зерноперерабатывающих предприятий: дис. доктора техн. наук: 05.13.06 / Новицкий Владимир Олегович. – Москва, 2010. – 450 с.

68. Новицкий, В.О. Системный подход к управлению на предприятиях и в компаниях по хранению и переработке зерна / В.О. Новицкий // Хлебопродукты.- 2009. – №7. – С. 54-56.

69. Нортон, Д. Система сбалансированных показателей Пер. с англ. / Д. Нортон, Р. Каплан. — М.: ЗАО «Олимп—Бизнес», 2003, 304 с.

70. О`Коннэл, Ф. Как успешно руководить проектами. Серебряная пуля / Ф. О`Коннэл. – М.:КУДИЦ-Образ, Пер. с англ., 2005. – 288 с.

71. ООО «ЗЭО» – разработка и производство промышленной электроники [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://zao-zeo.ru/>

72. Описание стандарта Wiegand [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://www.honeywellaccess.com/documents/Td2058.pdf>

73. Остапчук Н.В. Основы математического моделирования процессов пищевых производств: Учебное пособие. – 2 –е изд., перераб. и доп. – К.: Выща шк., - 1991. – 367 с.

74. Пат. 2049380 Российская Федерация, МПК А 01 G 9/26. Способ автоматического управления температурным режимом в теплице / Изаков Ф. Я., Попова С. А.; заявитель и патентообладатель Университет – N 2000131736/09; заявл. 07.06.1991; опубл.10.12.1995 , Бюл. №21. – 3 с.

75. Пат. 2183065 Российская Федерация, МПК А 23 В 4/044 Способ автоматического управления процессом горячего копчения рыбы / А.Н. Остриков, А.А. Шевцов, Ю.А. Дмитриев; заявитель и патентообладатель Воронеж. Гос. Технол. Акад. - № 2000123447/13. Заявлено 11.09.2000 опубл. 10.06.2002. Бюл. № 16

76. Пат. 2183066 Российская Федерация, МПК А 23 В 4/044 Способ автоматического управления процессом холодного копчения рыбы / А.Н. Остриков, А.А. Шевцов, Ю.А. Дмитриев; заявитель и патентообладатель Воронеж. Гос. Технол. Акад. - № 2000127208/13. Заявлено 30.10.2000 опубл. 10.06.2002. Бюл. № 16

77. Пат. 2308836 Российская Федерация, МПК А 23 В 4/044. Способ управления процессом горячего копчения рыбы / А.Н. Остриков, А.А. Шевцов, Н.Ю. Черноусова; заявитель и патентообладатель Воронеж. Гос. Технол. Акад. - № 2006112070/13. Заявлено 11.04.2006; опубл. 27.10.2007. Бюл. №30

78. Пат. 2615365 Российская Федерация, МПК А 23 В 4/044 Способ горячего копчения рыбной продукции / Л.И. Лыткина [и др.]; заявитель и патентообладатель ФГБОУ ВО «ВГУИТ». - 2015100174 Заявлено13.01.2015 опубл. 04.04.2017 Бюл. № 10

79. Петров И.В. Программируемые контроллеры. Стандартные языки и инструменты / И.В. Петров; под ред. проф. В. П. Дьяконова. – М.: СОЛОН-Пресс, 2003. – 256 с.

80. Пешко, М. С. Адаптивная система управления параметрами микроклимата процессов производства и хранения пищевых продуктов: дис. канд. техн. наук: 05.13.06 / Пешко Михаил Сергеевич. – Омск, 2015. – 200 с.

81. Питание Atmel AVR ATmega2560 [Электронный ресурс]. Режим доступа: <http://forum.arduino.cc/index.php?topic=223856.0>

82. Попырин, Л.С. Математическое моделирование и оптимизация теплоэнергетических установок / Л.С. Попырин. – М.: Энергия, 1978. – 416 с.

83. Похольченко, В.А. Совершенствование процессов копчения рыбы при производстве консервов: дис. канд. техн. наук: 05.18.12 / Похольченко Вячеслав Александрович. – Мурманск, 2005. – 212 с.

84. Проблемы с прерываниями в приложениях реального времени (RTS) в Linux [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://www.linux.org.ru/forum/development/9757537>

85. Программируемые логические контроллеры «ОВЕН» [Электронный ресурс]. Режим доступа: <http://www.owen.ru/prices/23207925>

86. Программно-аппаратный комплекс «Arduino» [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://www.arduino.cc/>

87. Промышленное активное сетевое оборудование SNR [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://shop.nag.ru/catalog/04963.SNR/19913.Kommutatory-promyshlennyye>

88. Птушкин А.Т., Новицкий О.А. Автоматизация производственных процессов в отрасли хранения и переработки зерна. // М., Агропромиздат. 1985г.

89. Редактирование файла дерева устройств [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://forum.armbian.com/index.php?/topic/1580-nanopi-neo-air/&page=15>

90. Ройтенберг, Я.Н. Автоматическое управление / Я.Н. Ройтенберг – М., «Наука», 1978. – 552 с.

91. Рысс, А.А. Автоматическое управление температурным режимом в теплицах / А.А. Рысс, Л.И. Гурвич. – М.: Агропромиздат, 1986. – 128 с.

92. Савостин, С.Д. Автоматизация контроля показателей качества муки в процессе размола с использованием интеллектуальных технологий дис. канд. техн. наук: 05.13.06 / Савостин Сергей Дмитриевич. – Москва, 2014. – 210 с.

93. Садовая, Т.Н. Влияние температуры созревания на органолептические и биохимические свойства сыров с плесенью / Т.Н. Садовая // М.: Техника и технология пищевых производств, 2011. – №3. – С. 1-5.

94. Сартов, Т.Э. Теория автоматического управления. Моделирования САУ: Учебно-методическое пособие по выполнению лабораторных работ / Т.Э. Сартов. – Бишкек: КГТУ им. И. Раззакова, 2012. – 55 с.

95. Свид. об офиц. регистр. прогр. для ЭВМ № 2010616113 РФ. System Diagram and Conceptual Modeler (SDCM) / Новицкий В.О., Карпов В.И.;– № 2010613330; Заяв.16.09.2010; Зарегистр. 09.06.2010.

96. Свистунов, В.М. Отопление, вентиляция и кондиционирование воздуха объектов агропромышленного комплекса и жилищно-коммунального хозяйства: учебник для вузов / В.М. Свистунов, Н.К. Пушняков. – СПб.: Политехника, 2001. – 423 с.

97. Симановский, А.Ю. Типы регуляторов: Методика настройки регуляторов / А.Ю. Симановский – Ивано-Франковск: МИКРОЛ, 2011 – 63 с.

98. Система бизнес-моделирования Business Studio. [Электронный ресурс]. Режим доступа: <http://www.businessstudio.ru/>

99. Скотт, Р. Производство сыра: научные основы и технологии / Р. Скотт, Р.К. Робинсон, Р.А. Уилби. – СПб.: Профессия, 2005. – 464 с.

100. Сурган, Г.А. Основы автоматизации технологических процессов консервного производства / Г.А. Сурган. – М.: Пищевая промышленность, 1973. – 224 с.

101. Таха, Х.А. Введение в исследование операция 7-е издание. — М.: Вильямс, 2005. — 912 с.

102. Тигранян, Р.Э. Микроклимат. Электронные системы обеспечения / Р.Э. Тигранян – М: Радиософт, 2005. – 112 с.

103. Трегуб, В.Г. Автоматизация периодических процессов в пищевой промышленности / В.Г. Трегуб. – Киев.: Техника, 1982. – 160 с.
104. ТУ 9263-007-71294732-08 Рыба горячего копчения
105. Федеральный закон «О персональных данных» [Электронный ресурс].
Режим доступа: http://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_61801/ -
Официальный сайт компании «КонсультантПлюс»
106. Федоров, И.Г. Моделирование бизнес-процессов в нотации BPMN 2.0/ И.Г. Федоров. – Москва: МЭСИ. – 2013. – 255 с.
107. Чижев А.А. Автоматическое регулирования и регуляторы в пищевой промышленности / А.А. Чижев, Л.М. Федоровский, В.Д. Чернецкий. – 2-е изд., перераб. и доп. – М.: Легкая пром-сть, 1984 – 240 с.
108. Шавров, А. В. Методы адаптивного управления технологическими процессами / А. В. Шавров, Е. В. Козлачкова, А. А. Переверзев, Н. Ф. Войнова / РГАЗУ – агропромышленному комплексу: сб. науч. тр. в 2 ч. Ч.2 – М., 2000. – С. 266-267.
109. Шавров, А. В. Теория управления технологическими процессами в условиях неопределенности / А. В. Шавров, А. П. Коломиец, Е. В. Козлачкова, А. А. Переверзев // Автоматизация производственных процессов: материалы международной науч.-техн. конф., г. Минск, 7-9 июня 2000 г. – М., 2000. – С. 44-45.
110. Шандров, Б.В. Технические средства автоматизации / Б.В. Шандров, А.Д. Чудаков // М.:Издательский центр «Академия». – 2007. – 368 с.
111. Широков, Л.А. Автоматизация производственных процессов и АСУТП в пищевой промышленности / Л.А. Широков, В.И. Михайлов, Р.З. Фельдман и др. под ред. Л.А. Широкова. – М.: Агропромиздат, 1986. – 311 с.
112. Штителъман Б.А. Исследование и разработка автоматической системы регулирования скорости воздуха на границе устойчивости процесса в пневмотранспортных установках мукомольных заводов: Автореф. дис. ... канд. техн. наук. - М.: МТИПП, 1975.

113. Экспериментальный дистрибутив Ubuntu 16.04.2 LTS для Orange pi one. [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://dl.armbian.com/orangepione/nightly/>
114. Яценко, В.Ф. Основы автоматизации технологических процессов пищевых производств / В.Ф. Яценко, В.А. Соколов, Л.Б. Сивакова и др. Под ред. В.А. Соколова. – М.: Легкая и пищевая промышленность, 1983. – 400 с.
115. Anderson, M. Interrupt Threads in Linux [Электронный ресурс]. Режим доступа: http://elinux.org/images/e/ef/InterruptThreads-Slides_Anderson.pdf
116. Arduino watchdog или автоматический RESET в случае зависания [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://geektimes.ru/post/255800/>
117. Hagedorn, P.; Wallaschek, J. Mechanical Vibration Aspects of Piezoelectric Travelling Wave Ultrasonic Motors / P. Hagedorn, J. Wallaschek // Proc. 2nd Int. Technology-Transfer Conf. – Bremen, Germany. – 1990. – pp. 32–37.
118. Hagedorn, P.; Wallaschek, J.: Travelling Wave Ultrasonic Motors, Part I: Working Principle and Mathematical Modelling of the Stator / P. Hagedorn, J. Wallaschek // J. Sound Vib. – 1992. – V.155(1). – pp. 31–46.
119. Hahn, F. Fuzzy controller decreases tomato cracking in greenhouses / F. Hahn // Computers and Electronics in Agriculture. – 2011. – Vol. 77. – P. 21-27.
120. Han, J.-H. Analysis of the thermal environment in a mushroom house using sensible heat balance and 3-D computational fluid dynamics / J.-H. Han, H.-J. Kwon, J.-Y. Yoon, K. Kim, S.-W. Nam, J.-E. Son // Biosystems Engineering. – 2009. – Vol. 104, Issue 3. – P. 417- 424.
121. Kalman, R.E. Control System Analysis and Design Via the «Second Method» of Lyapunov / R.E. Kalman, J.E. Bertram // J. Basic Eng. – 1960. – 82(2). – P.371-393.
122. Lafont, F. Optimized fuzzy control of a greenhouse / F. Lafont, J.-F. Balmat / Fuzzy Sets and Systems. – 2002. – Vol. 128, Issue 1. – P. 47–59.
123. ODBC Драйвер СУБД MySQL для Windows 64 [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://dev.mysql.com/downloads/connector/odbc/>

124. OMG Business Process Model and Notation (BPMN)Version 2.0 OMG Document Number: formal/2011-01-03 Standard document [Электронный ресурс]. Режим доступа: <http://www.omg.org/spec/BPMN/2.0>
125. RFID Case Study: Optimized Ripening Process with Cheese [Электронный ресурс]. Режим доступа: <http://www.brooks.com/applications-by-industry/semiconductor/rfid/rfid-projects/foods/optimized-ripening-process-with-cheese>
126. Richard Barker. Entity Relationship Modeling. Addison-Wesley, 1990, 240 p.
127. Swan, M. Blockchain: Blueprint for a New Economy / M. Swan / O'Reilly Media, Inc, 2015. – 152 p.
128. Touati, F. A fuzzy logic based irrigation system enhanced with wireless data logging applied to the state of Qatar / F. Touati, M. Al-Hitmi, K. Benhmed, R. Tabish // Computers and Electronics in Agriculture. – 2013. – Vol. 98. – P. 233-241.
129. Vanthoor, B.H.E. A methodology for model-based greenhouse design: Part 4, economic evaluation of different greenhouse designs: A Spanish case / B.H.E. Vanthoor, J.C. Gazquez, J.J. Magan, M.N.A. Ruijs, E. Baeza, C. Stanghellini, E.J. Henten, P.H.B. Visser / Biosystems engineering. – 2012. – Vol. 111. – P. 336-349.

Приложения

Приложение А. Программы для ЭВМ и конфигурационные файлы, связанные с разработкой ПАК автоматизации производственно-технологических и обеспечивающих процессов

Библиотека `wiegand` для нескольких считывателей (ATmega2560 r3)

```
//в заголовочный файл в секцию public добавлен флаг разрешения чтения
static volatile bool EnableRead;

int getGateActive(); //и функция получения текущего (активного) считывателя

//в секцию private заголовочного файла добавлены переменные для второго считывателя
//(количество бит, номер карты), а также номер считывателя.
static volatile unsigned long _cardTempHighB;
static int      _GateActive;
static volatile int _bitCountB;
static int      _wiegandTypeB;
static unsigned long _codeB;

//функция получения активного считывателя
unsigned long WIEGAND::getCode()
{
switch (_GateActive) {
    case 1:
        return _code;
        break;
    case 2:
        return _codeB;
        break;
    default:
        return 0;
    }
}

//функция накопления нулей (для единиц и остальных считывателей – аналогично)
void WIEGAND::ReadD0()
{
    if (EnableRead){
        _bitCount++;
    }
}
```

```

if (_bitCount>26)
{
    _cardTempHigh |= ((0x80000000 & _cardTemp)>>26);
    _cardTempHigh <<= 1;
    _cardTemp <<=1;
}
else
{
    _cardTemp <<= 1;
}
_lastWiegand = millis();
}
}

//Функция преобразования для wiegand 26 (фрагмент)
bool WIEGAND::DoWiegandConversion()
{
    unsigned long cardID;
    unsigned long cardIDB;
    unsigned long sysTick = millis();
    if (((sysTick - _lastWiegand) > 15) && EnableRead)
//если более 15 мс не поступают новые биты данных, то карта считается прочитанной
    {
        if (_bitCount==26)
        {
            _cardTemp >>= 1;
            cardID = GetCardId (&_cardTempHigh, &_cardTemp, _bitCount);
            _wiegandType=_bitCount;
            _bitCount=0;
            _cardTemp=0;
            _cardTempHigh=0;
            _code=cardID;
            _GateActive=1;
            return true;
        }
    }
}

```



```

}
//Функция получения номера карты
unsigned long WIEGAND::GetCardId (volatile unsigned long *codehigh, volatile unsigned long
*codelow, char bitlength)
{
unsigned long cardID=0;
cardID = (*codelow & 0x1FFFFFFE) >>1;
return cardID;
}

```

Включение uart в Orange pi one (Ubuntu 16.04.2 LTS, mainline kernel)

```

uart0@0 {
    allwinner,pins = "PA4", "PA5";
    allwinner,function = "uart0";
    allwinner,drive = <0x0>;
    allwinner,pull = <0x0>;
    linux,phandle = <0x18>;
    phandle = <0x18>;
};

uart1 {
    allwinner,pins = "PG6", "PG7";
    allwinner,function = "uart1";
    allwinner,drive = <0x0>;
    allwinner,pull = <0x0>;
    linux,phandle = <0x19>;
    phandle = <0x19>;
};

uart1_rts_cts {
    allwinner,pins = "PG8", "PG9";
    allwinner,function = "uart1";
    allwinner,drive = <0x0>;
    allwinner,pull = <0x0>;
    linux,phandle = <0x47>;
};

```

```

        phandle = <0x47>;
};
uart2 {
    allwinner,pins = "PA0", "PA1";
    allwinner,function = "uart2";
    allwinner,drive = <0x0>;
    allwinner,pull = <0x0>;
    linux,phandle = <0x1a>;
    phandle = <0x1a>;
};
uart3 {
    allwinner,pins = "PA13", "PA14";
    allwinner,function = "uart3";
    allwinner,drive = <0x0>;
    allwinner,pull = <0x0>;
    linux,phandle = <0x1b>;
    phandle = <0x1b>;
};

```

Создание связанного сервера MySQL

```
USE [master]
```

```

EXEC master.dbo.sp_addlinkedserver @server = N'ИмяСвязанногоСервера', @srvproduct=N'',
@provider=N'MSDASQL', @provstr=N'DRIVER={MySQL ODBC 5.3 ANSI Driver};
DATABASE=ИмяБазыДанных;PASSWORD=Пароль;
USER=ИмяПользователя;SERVER=IP-адрес;OPTION=2'

```

Приложение Б. Формы интерфейса консоли удаленного управления ПАК



```

root@b-10-10: ~
login as: root
root@192.168.46.87's password:

Welcome to ARMBIAN 5.37 user-built Ubuntu 16.04.3 LTS 3.4.113-s
System load:  0.17 0.07 0.06   Up time:      247 days
Memory usage: 16 % of 494MB   Swap usage:   7 % of 247Mb
92.168.46.87
CPU temp:     45°C
Usage of /:   21% of 7.3G

[ 0 security updates available, 73 updates total: apt upgrade ]
Last check: 2018-10-11 00:00

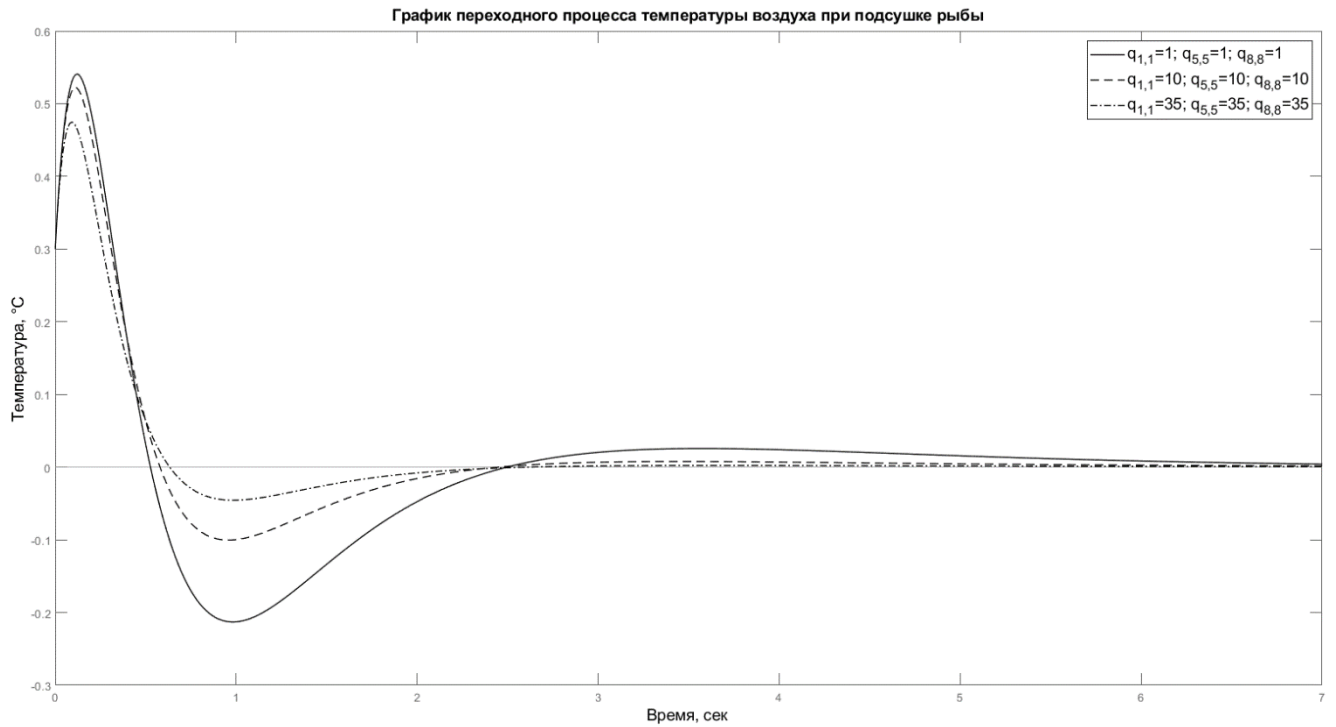
Last login: Tue Jul 24 09:59:25 2018 from 192.168.60.4

root@b-10-10:~# service skd-server status
● skd-server.service - LSB: skd-server (University)...
   Loaded: loaded (/etc/init.d/skd-server; bad; vendor preset:
   Active: active (running) since Mon 2018-02-05 15:17:11 MSK;
          Docs: man:systemd-sysv-generator(8)
   CGroup: /system.slice/skd-server.service

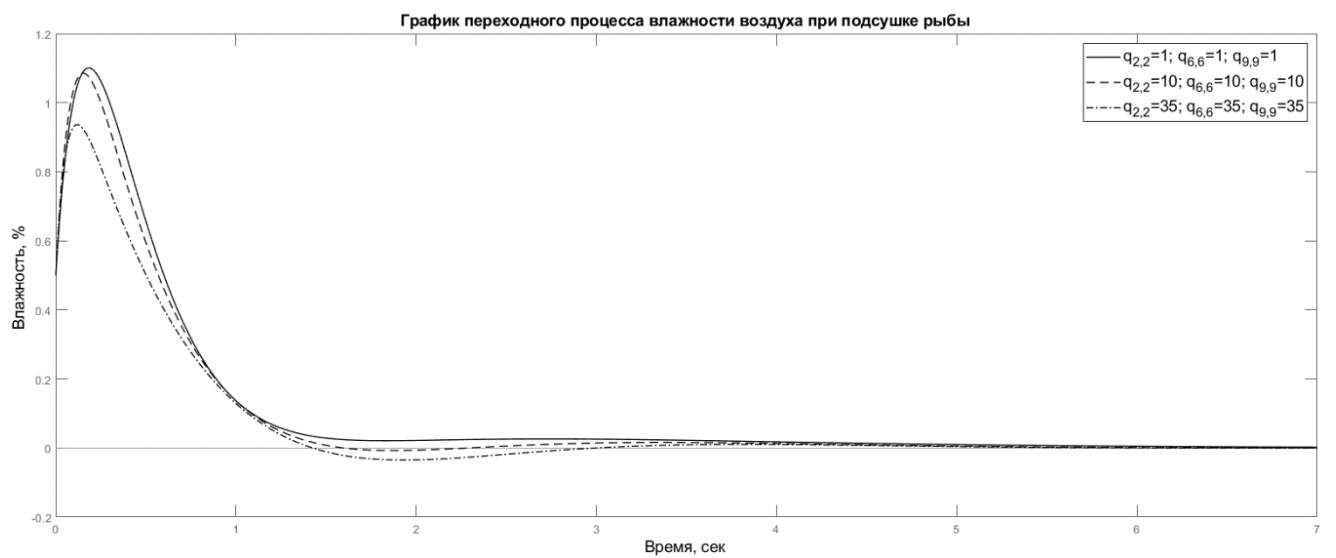
```

Приложение В. Графики переходных процессов горячего копчения рыбы, полученные в системе MATLAB

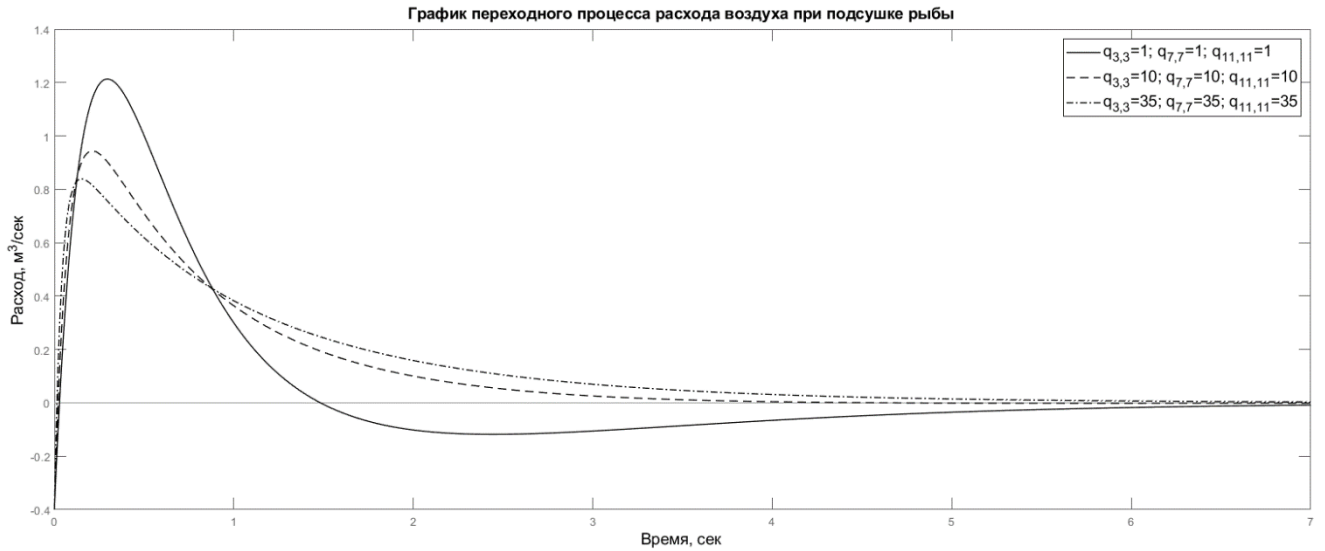
1. Температура воздуха при подсушке рыбы.



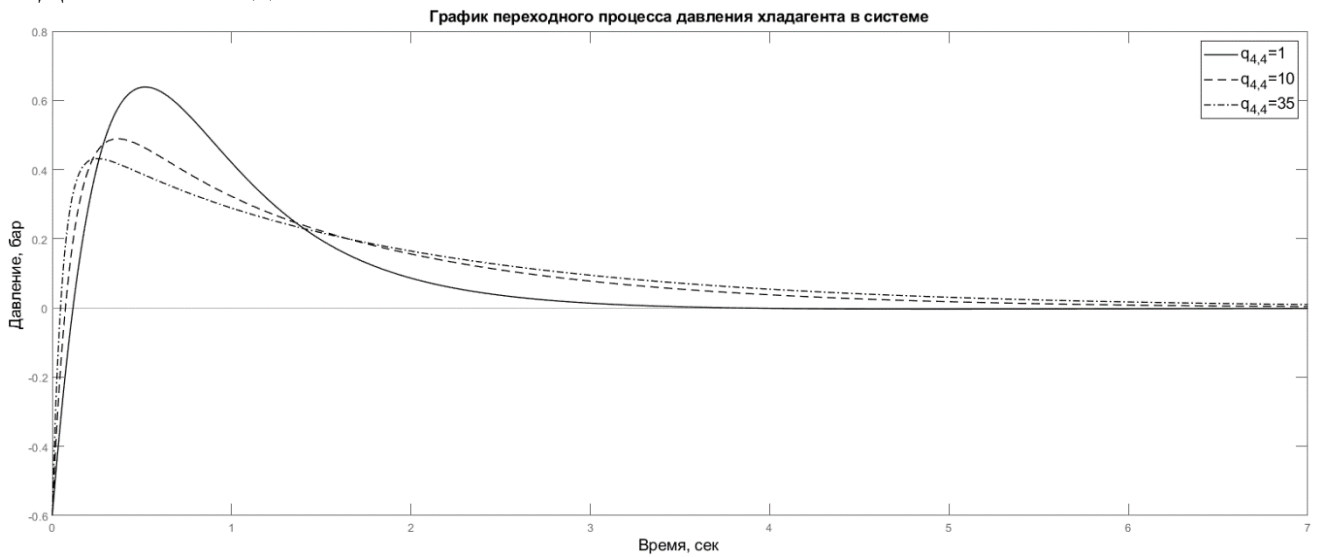
2. Влажность воздуха при подсушке рыбы.



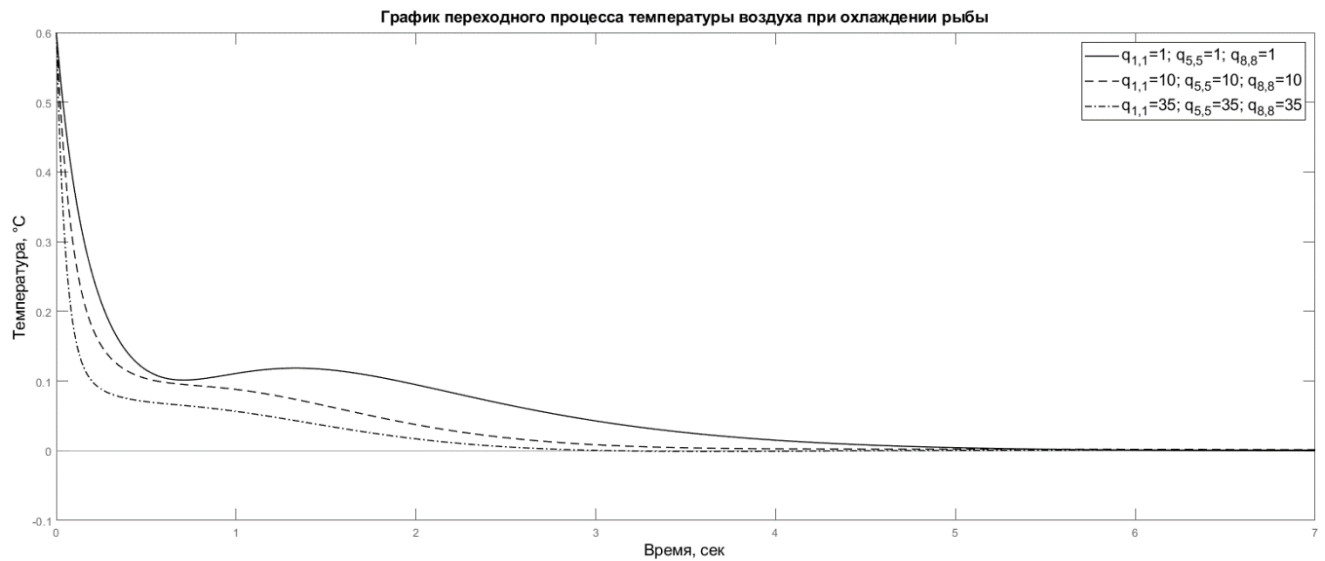
3. Расход воздуха при подсушке рыбы.



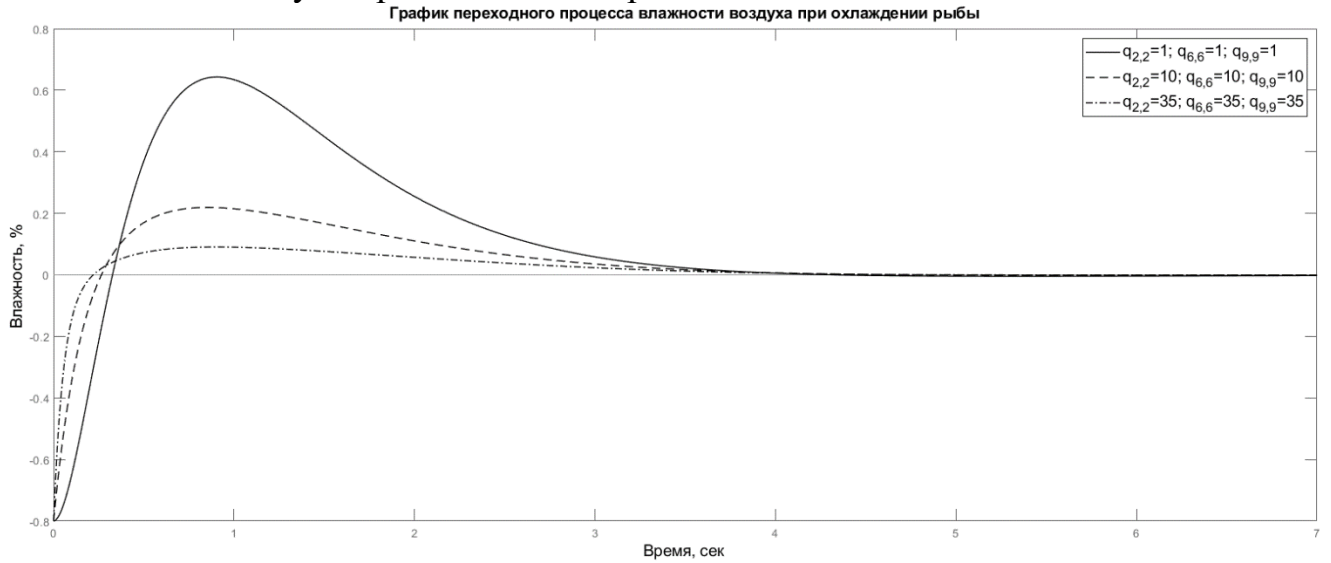
4. Давление хладагента.



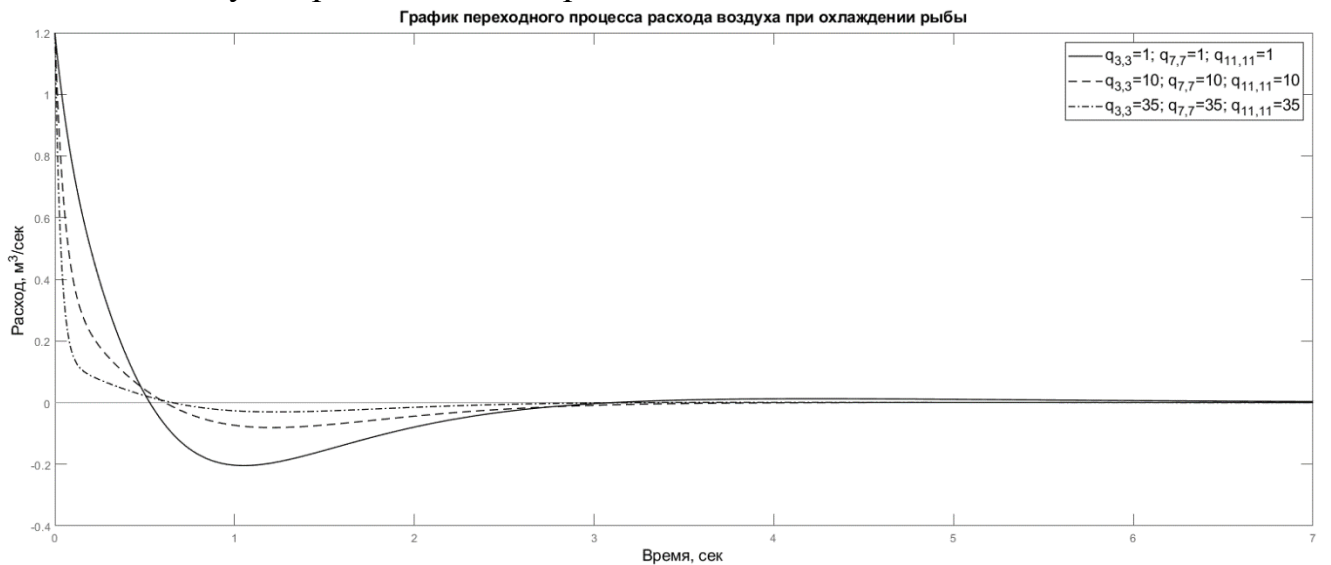
5. Температура воздуха при охлаждении рыбы.



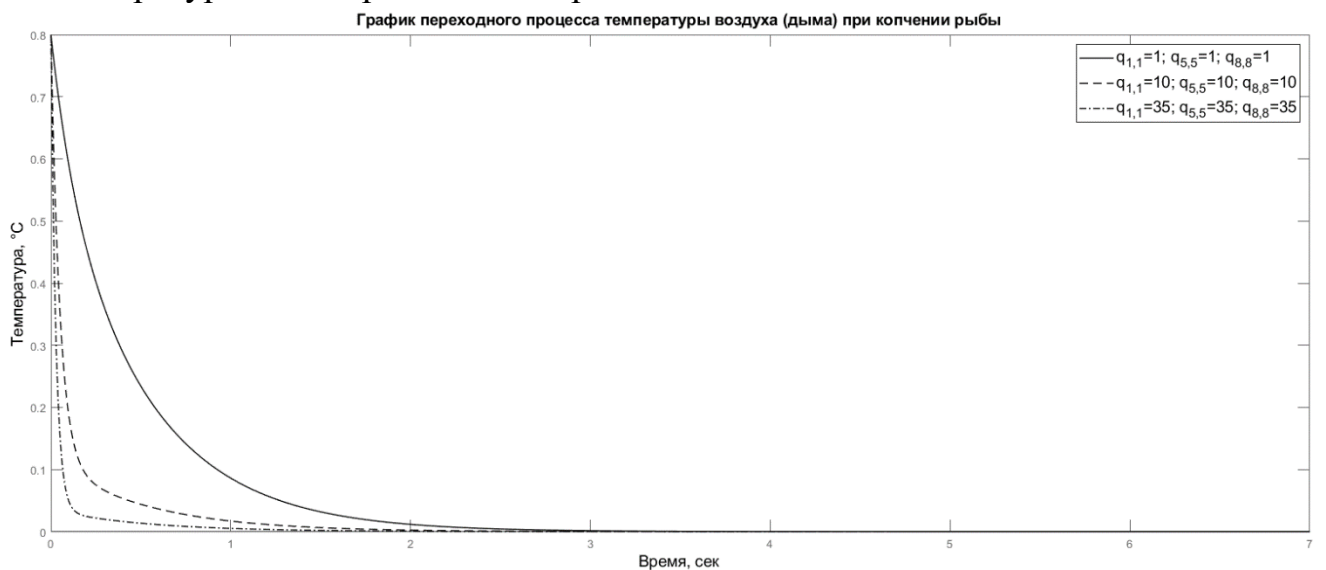
6. Влажность воздуха при охлаждении рыбы.



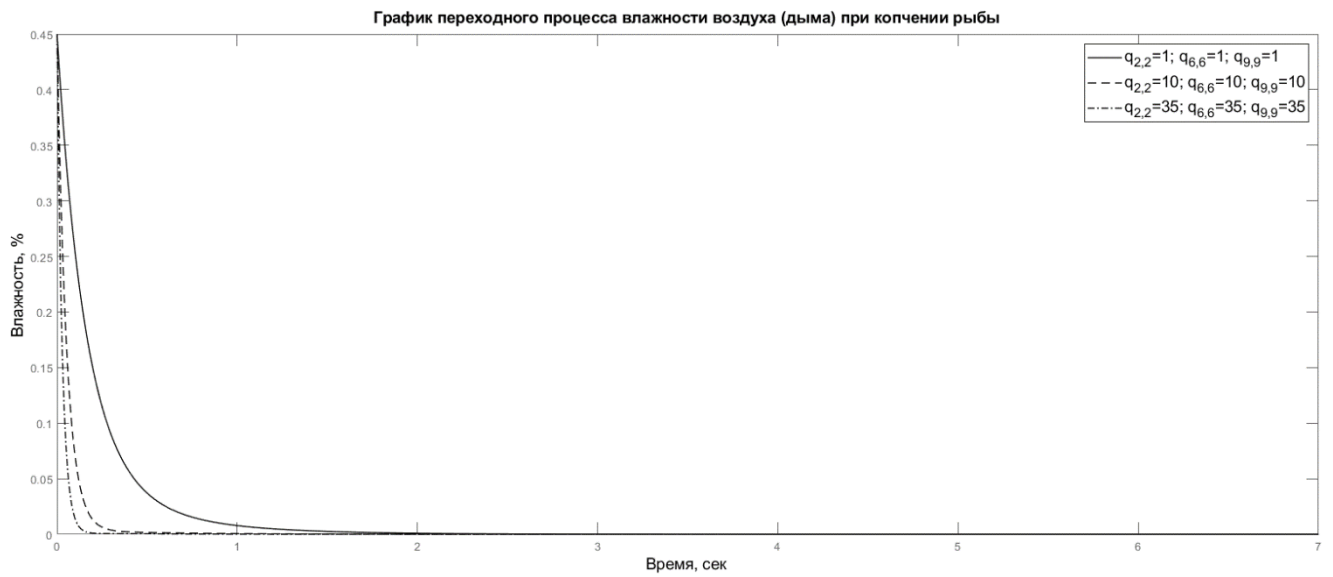
7. Расход воздуха при охлаждении рыбы.



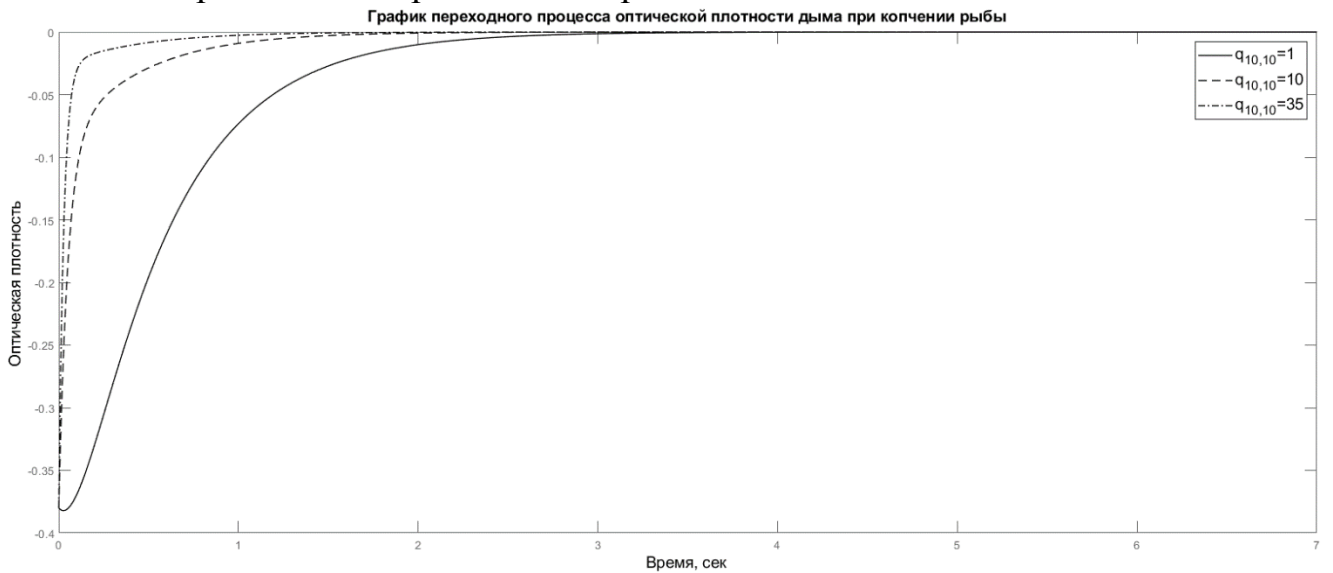
8. Температура дыма при копчении рыбы.



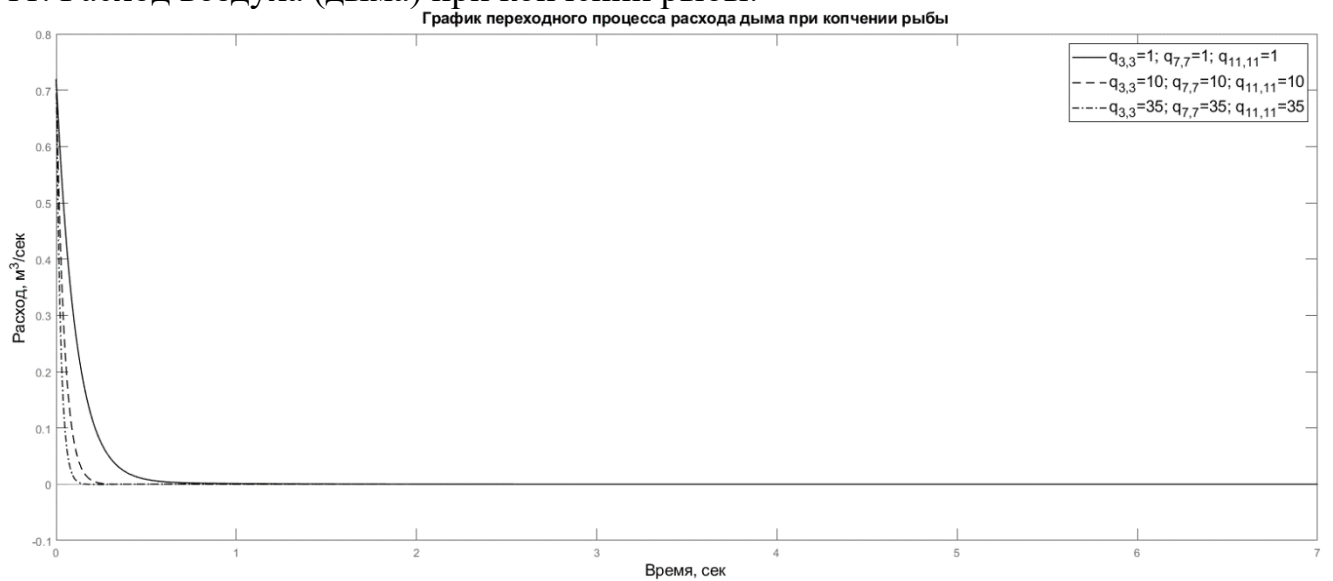
9. Влажность воздуха (дыма) при копчении рыбы.



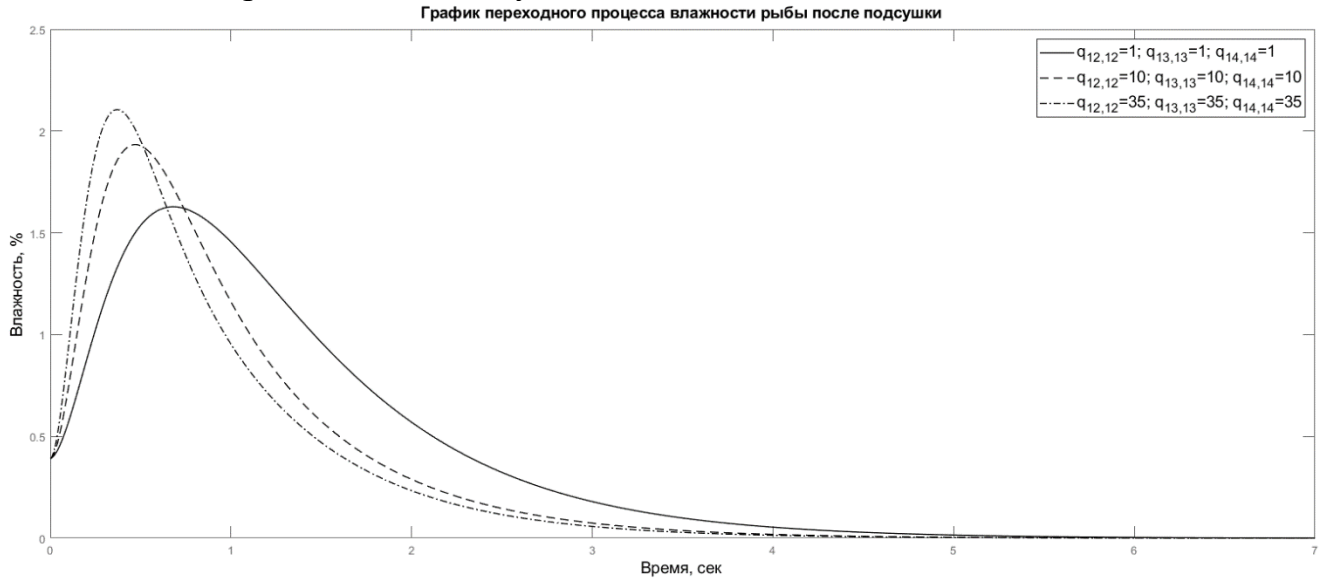
10. Концентрация дыма при копчении рыбы.



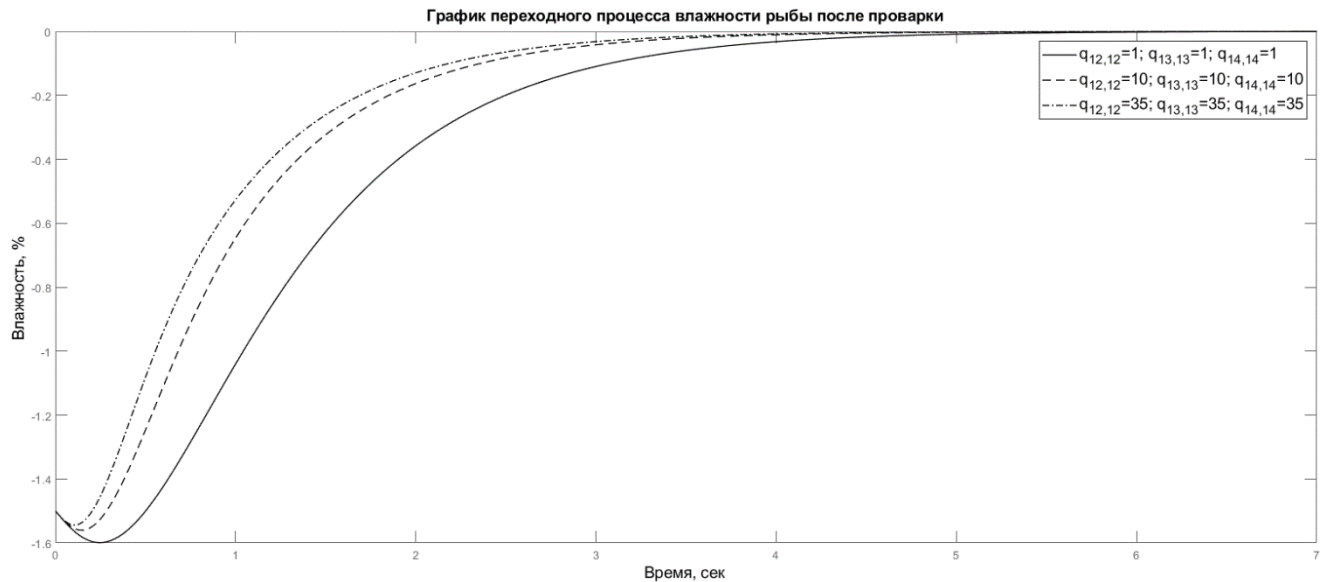
11. Расход воздуха (дыма) при копчении рыбы.



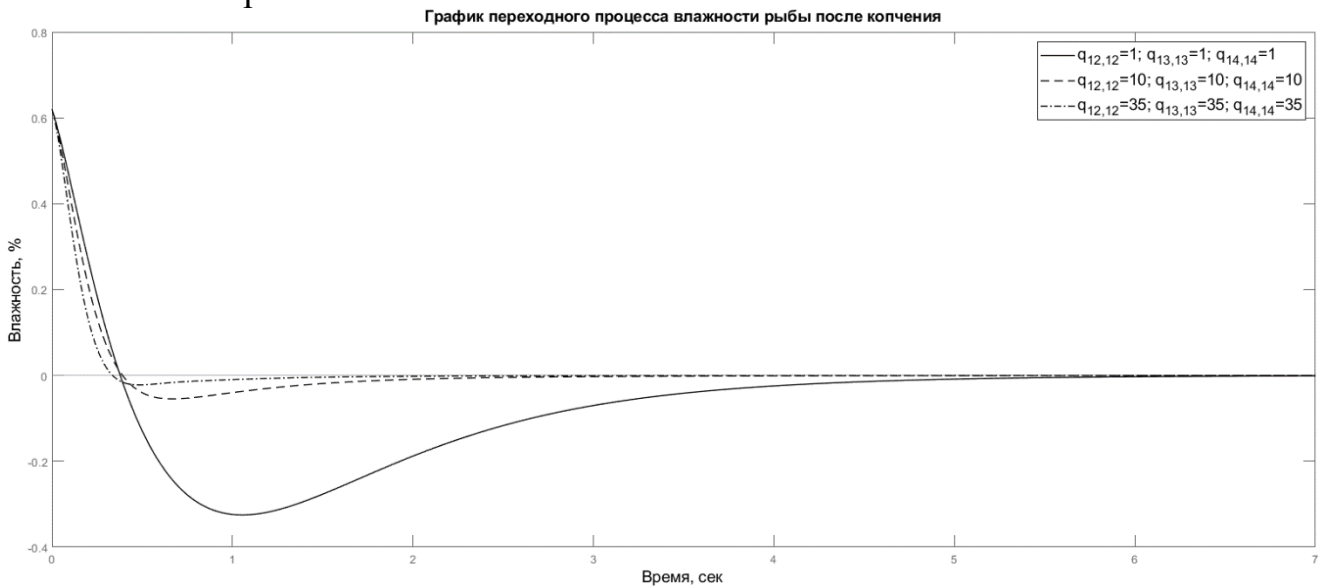
12. Влажность рыбы после подсушки.



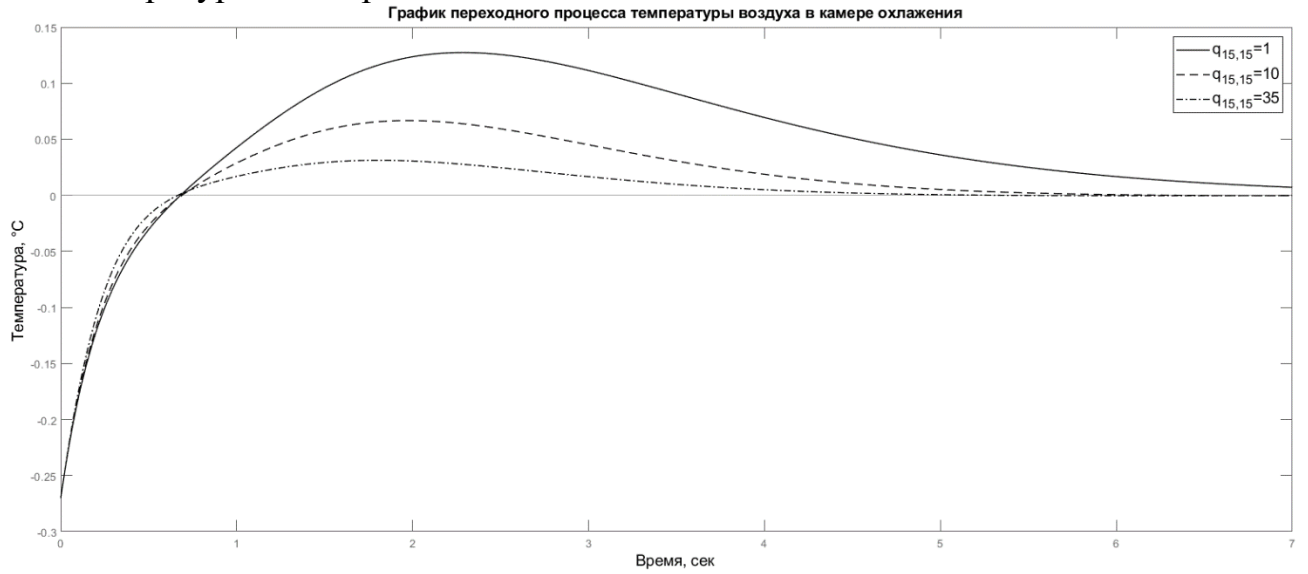
13. Влажность рыбы после проварки.



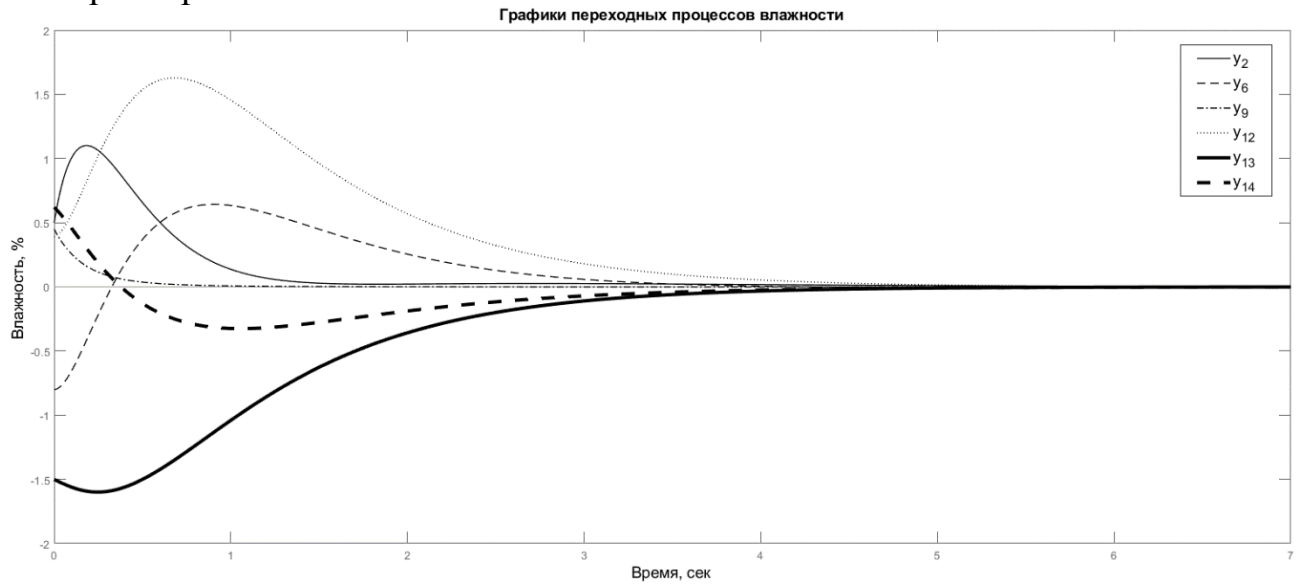
14. Влажность рыбы после копчения.



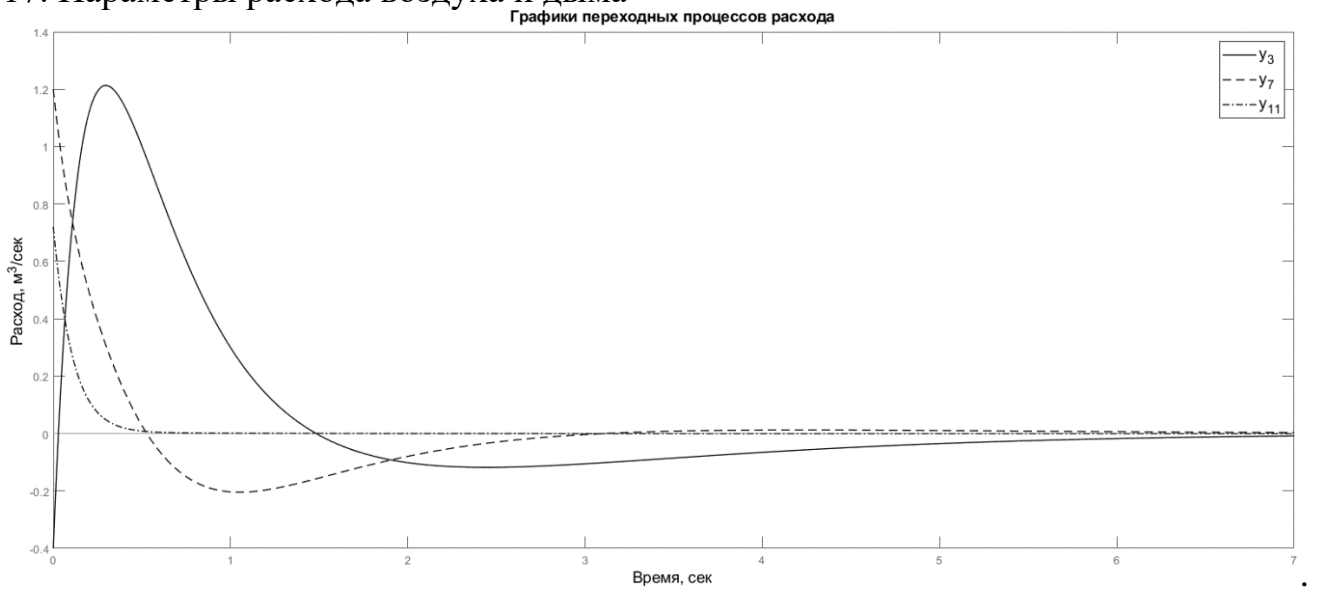
15. Температура в камере охлаждения.



16. Параметры влажности.



17. Параметры расхода воздуха и дыма



Приложение Г. Документы, подтверждающие апробацию и внедрение результатов



ОБЩЕСТВО С ОГРАНИЧЕННОЙ ОТВЕТСТВЕННОСТЬЮ «РИФ»

Юридический адрес: Физический адрес:
143718, Московская обл., Ленинский район
г.п. Буднинское, пос. Пинафоло, д. 25, корпус 2, пом. 321
ИНН 5003065391 КПП 500301001
Тел.: (495) 6416439
info@rif.ru

АКТ ВНЕДРЕНИЯ

результатов диссертационной работы начальника управления информационных технологий
ФГБОУ ВО «Московский государственный университет пищевых производств»

Антова Василия Григорьевича

Настоящий акт подтверждает, что основные результаты диссертационной работы Антова Василия Григорьевича специальности 05.13.06 «Автоматизация и управление технологическими процессами и производствами (пищевая промышленность)» на тему «Разработка интегрированной автоматизированной системы управления рыбоперерабатывающим предприятием с применением универсального программно-аппаратного комплекса» использованы в производственной деятельности ООО «РИФ» в виде:

1. Механизма сбора информации о сырье и готовой продукции в режиме реального времени.
2. Управления следующими параметрами процесса копчения рыбы: температура, расход, влажность воздуха в процессе просушки; давление хладагента; температура, расход, влажность и концентрация дыма в процессе копчения; температура, расход, влажность охлаждающего воздуха; температура в камере охлаждения и др.
3. Управления учета и контроля перевешивания готовой продукции с применением идентификаторов стандарта UHF-RFID.
4. Автоматизированного учета показателей расхода воды.

Разработана и внедрена интегрированная информационная система управления процессами предприятия на базе платформ ИС: Предприятие (создана собственная конфигурация).

Использование указанных разработок позволило повысить качество получаемой продукции в производственном процессе и снизить количество бракованной продукции до 8%.



ООО «РИФ»

Крестов С.В.

Крестов С.В.

Утверждаю
И.о. ректора ФГБОУ ВО «МГУПП»



Ясинов О.Ю.

«28» июля 2017 г.

АКТ

О внедрении интегрированной информационной системы управления «Университет» в учебный, научный и административно-хозяйственный процессы ФГБОУ ВО «Московский государственный университет пищевых производств»

Настоящим актом подтверждается, что интегрированная информационная система управления (ИИСУ) «Университет» внедрена в ФГБОУ ВО «МГУПП» и используется в учебном, научном и административно-хозяйственном процессах. ИИСУ «Университет» включает в себя:

- Электронную образовательную среду «e-learning»;
- Автоматизированную информационную систему, разработанную на базе платформы 1С для матричного управления учебным, научным и административно-хозяйственными процессами;
- Систему контроля доступа и видеонаблюдения, являющуюся неотъемлемой частью ИИСУ;
- Систему WEB-порталов ФГБОУ ВО «МГУПП»;
- Систему мониторинга и управления локальной вычислительной сетью.

Данная система разработана аспирантом Антовым В.Г., аспирантом Чекиным И.И. под научным руководством профессора кафедры «Информатика и вычислительная техника пищевых производств» д.т.н. Новицкого В.О.

По результатам внедрения ИИСУ «Университет» на сегодняшний день констатировано повышение качества учебного и научного процессов, повышение эффективности работы вуза за счет улучшения дисциплины труда, интеграция основных и вспомогательных бизнес-процессов, а также сокращения трудозатрат на их исполнение.

И.о. проректора по учебно-
воспитательной работе

Лабутина Н.В.

И.о. проректора по научной работе

Мартьяненко И.И.

И.о. проректора по административно-
хозяйственной работе

Крылова Л.А.

РОССИЙСКАЯ ФЕДЕРАЦИЯ

RU**2018618437**

**ФЕДЕРАЛЬНАЯ СЛУЖБА
ПО ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОЙ СОБСТВЕННОСТИ
(12) ГОСУДАРСТВЕННАЯ РЕГИСТРАЦИЯ ПРОГРАММЫ ДЛЯ ЭВМ**

Номер регистрации (свидетельства): 2018618437	Автор: Аитов Василий Григорьевич (RU)
Дата регистрации: 12.07.2018	Правообладатель: Аитов Василий Григорьевич (RU)
Номер и дата поступления заявки: 2018616978 19.06.2018	
Дата публикации: 12.07.2018	
Контактные реквизиты: aitov@mgupp.ru	

Название программы для ЭВМ:
Программа автоматизации технологических и обеспечивающих процессов предприятия.

Реферат:

Программа предназначена для автоматизированного управления технологическими и административно-хозяйственными процессами предприятия с учетом общности обеспечивающей инфраструктуры. Реализован функционал системы контроля и управления доступом (работа со считывателями, турникетами, электронными замками и др.). Наравне с этим, программа позволяет управлять процессом созревания твердых сортов сыра при помощи датчиков и исполнительных устройств. Осуществляется фиксация входных и выходных параметров. Программа реализована в виде сервиса (daemon).

Язык программирования: C#

Объем программы для ЭВМ: 116 Кб