

На правах рукописи



ГАПЛАЕВ АЗИЗ АХМЕД-БЕШИРОВИЧ

**АВТОМАТИЗИРОВАННЫЙ КОМПЛЕКС КОНТРОЛЯ И ИСПЫТАНИЙ
СИСТЕМ УПРАВЛЕНИЯ ПРОТИВОПОЖАРНОЙ ЗАЩИТОЙ
НЕФТЕПЕРЕРАБАТЫВАЮЩИХ ПРОИЗВОДСТВ**

Специальность: 05.13.06 «Автоматизация и управление
технологическими процессами и производствами»
(технические науки, отрасль – промышленность)

Автореферат
диссертации на соискание ученой степени
кандидата технических наук

Москва – 2018

Работа выполнена на кафедре пожарной автоматики ФГБОУ ВО «Академия Государственной противопожарной службы МЧС России»

Научный руководитель: **Федоров Андрей Владимирович**,
доктор технических наук, профессор,
заведующий сектором пожарной безопасности
ООО «НИИ Транснефть»

Официальные оппоненты: **Демёхин Феликс Владимирович**,
доктор технических наук,
технический директор ООО «Пожинжиниринг»

Хафизов Ильдар Фанилевич,
доктор технических наук, доцент,
профессор кафедры пожарной и промышленной
безопасности ФГБОУ ВО «Уфимский государственный
нефтяной технический университет»

Ведущая организация: ФГБУ «Всероссийский ордена «Знак Почёта» научно-исследовательский институт противопожарной обороны» МЧС России

Защита диссертации состоится 28 июня 2018 года в 15:00 на заседании диссертационного совета Д.205.002.01 при Академии Государственной противопожарной службы МЧС России по адресу: 129366, г. Москва, ул. Бориса Галушкина, 4, зал диссертационного совета.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке Академии Государственной противопожарной службы МЧС России и на сайте:
<http://academygps.ru/upload/iblock/71f/71f48049257bde027172c085c65806f3.pdf>

Автореферат разослан « 27 » апреля 2018 года.

Отзыв на автореферат с заверенной подписью и печатью просим направить в Академию Государственной противопожарной службы МЧС России по указанному адресу.

Ученый секретарь
диссертационного совета
кандидат технических наук, доцент



Р.Ш. Хабибулин

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность темы исследования. Важность развития проблемной области разработки и создания автоматизированных комплексов научных исследований, контроля и испытаний систем противопожарной и противоаварийной автоматики, их народнохозяйственное значение обусловлено увеличением масштабов работ по интенсификации и компьютеризации систем противопожарной и противоаварийной защиты потенциально опасных нефтеперерабатывающих объектов, комплексной автоматизации производства и интегрированного управления функционированием как сетью отдельных технологических процессов, так и отдельным предприятием и целой отраслью народного хозяйства. Создание на научной основе автоматизированного комплекса контроля и испытаний (АККИ) автоматизированной системы управления противопожарной защитой (АСУ ППЗ), систем управления технологическими процессами, их последовательная увязка по иерархическим уровням и интеграция в единую систему сбора и обработки данных и оперативного управления повышает уровень пожаровзрывобезопасности, качество и продуктивность работы всех звеньев производства в нефтеперерабатывающей отрасли.

По данным статистики ВНИИПО МЧС России за 2005–2016 гг. 40 % систем противопожарной защиты (СППЗ) на промышленных объектах не выполнили свою задачу. До конца еще не удалось решить задачи автоматизации контроля и испытаний АСУ ППЗ нефтеперерабатывающих производств на этапах проектирования, монтажа, эксплуатации, а также при поставках на объекты нового оборудования систем пожарной и противоаварийной автоматики. До сих пор не разрешены проблемы в повышении уровня автоматизации, надежности и информативности систем противопожарной защиты (ППЗ).

В связи с тем, что отсутствует возможности проведения полномасштабных экспериментов на технологических установках нефтеперерабатывающих объектов по отработке сценариев аварийных ситуаций, отработки документов организационного обеспечения и тренинга персонала необходимо создание подсистемы АККИ, которая реализует функцию диагностирования и прогнозирования аварийных (пожароопасных) ситуаций в технологических процессах нефтепереработки. Для алгоритмической структуры математического обеспечения АККИ необходимо создание модели процесса нефтепереработки, анализ динамики изменений пожароопасных параметров для определения потенциальной возможности возникновения аварийной ситуации. Значимость разработки такой модели состоит в необходимости определять и динамически оценивать состояние системы, изменение параметров процессов при изменении структуры связей ее элементов. Существующий математический аппарат моделирования таких ситуаций не способен в полной мере обеспечить комплексное решение данных задач, так как применяемые в настоящее время модели не учитывают одновременное описание изменений структуры связей элементов (трубопроводы, коммуникации) и изменений процессов (пожароопасные параметры) внутри структуры сложной системы.

Перечисленные проблемы в комплексе подтверждают необходимость создания АККИ автоматизированной системы управления противопожарной за-

щитой (АСУ ППЗ) на примере одной из самых опасных технологических установок ЭЛОУ АВТ-6 АО «Рязанская нефтеперерабатывающая компания» (АО «РНПК»). Данная научно-техническая задача является актуальной, и ее решение направлено на повышение промышленной и пожарной безопасности нефтеперерабатывающих производств.

Диссертационное исследование выполнено в соответствии с планом реконструкции технологической установки ЭЛОУ АВТ-6 АО «РНПК» и в соответствии с планом научной деятельности Академии ГПС МЧС России. В основе диссертационной работы – результаты, полученные автором в ходе исследований, проводимых по планам научно-исследовательских работ Академии Государственной противопожарной службы МЧС России в период 2013–2017 гг.

Степень разработанности. Существенный вклад в разработку теоретических основ создания АСУ ППЗ и автоматизированных комплексов (АК) контроля, тренинга и испытаний систем противопожарной защиты внесли такие ученые, как Н.Г. Топольский, А.В. Федоров, А.Н. Членов, А.А. Таранцев, Н.Н. Брушлинский, И.Ф. Хафизов, Ф.В. Демёхин, А.А. Абросимов и др.

Несмотря на достигнутые результаты в исследованиях, посвященных разработкам автоматизированных научно-исследовательских и обучающих комплексов, в настоящее время не разработаны и не реализованы структурные и технические решения, модели и алгоритмы контроля и испытаний элементов АСУ ППЗ нефтеперерабатывающих производств с учетом результатов моделирования аварийных ситуаций в потенциально опасных технологических процессах НПЗ.

Объект исследования – автоматизированная система управления противопожарной защитой нефтеперерабатывающих производств.

Предмет исследования – автоматизация контроля и испытаний автоматизированной системы управления противопожарной защитой нефтеперерабатывающих производств.

Цель исследования – разработка и реализация модели и алгоритмов контроля и испытаний автоматизированной системы управления противопожарной защитой нефтеперерабатывающих производств.

Для достижения поставленной цели в работе решаются следующие задачи:

– комплексный анализ пожаровзрывоопасности объектов нефтепереработки и существующих структурных и технических решений по автоматизации задач контроля и испытаний элементов установок пожарной сигнализации и установок пожаротушения;

– проведение формализованного описания общесистемных решений, и алгоритмизация функциональной структуры автоматизированного комплекса контроля и испытаний АСУ ППЗ объектов нефтепереработки;

– разработка сетевых моделей и алгоритмов контроля аварийных ситуаций в технологическом блоке первичной переработки нефти ЭЛОУ АВТ-6 АО «РНПК» с применением тензорных методов на основе двойственных сетей и проведение вычислительных экспериментов по прогнозированию поведения

опасных технологических блоков при аварийном изменении параметров технологических процессов и разрушения элементов конструкции (изменение структуры) сетевой модели установки;

— разработка структуры технического и программного обеспечения автоматизированного комплекса контроля и испытаний АСУ ППЗ с представлением схем алгоритмов задач верхнего и нижних уровней управления, расчет уровня автоматизации.

Научная новизна диссертационного исследования:

1. Получены новые структурные и технические решения по автоматизации задач контроля и испытаний элементов установок пожарной сигнализации и установок пожаротушения на примере испытаний спринклерных оросителей и пожарных извещателей.

2. Произведено формализованное описание общесистемных решений и выполнена алгоритмизация функциональной и технической структур автоматизированного комплекса контроля и испытаний АСУ ППЗ объектов нефтепереработки.

3. Разработаны модель и алгоритмы контроля аварийных ситуаций в технологическом блоке установки первичной переработки нефти ЭЛОУ АВТ-6 с применением тензорных методов на основе двойственных сетей и получены новые результаты вычислительных экспериментов по прогнозированию поведения опасных технологических блоков при аварийном изменении параметров технологических процессов и разрушении элементов конструкции (изменении структуры) сетевой модели установки.

4. Разработана структура технического и программного обеспечения автоматизированного комплекса контроля и испытаний АСУ ППЗ с представлением схем алгоритмов задач верхнего и нижнего уровней управления.

Теоретическая и практическая значимость работы заключается:

— в повышении уровня пожаровзрывобезопасности объектов нефтепереработки на основе разработки обобщенной структуры, формализованного описания и алгоритмизации АККИ АСУ ППЗ, а также в технических решениях, позволяющих разработать исходные данные и техническое задание на проектирование и изготовление автоматизированных стендов контроля и испытаний;

— в построении математических моделей прогнозирования аварийных и пожароопасных ситуаций в виде двойственных сетей;

— в создании банка расчетных и аналитических данных по всем потенциально возможным видам аварийного (т. е. пожароопасного) разрушения конструкции установки в целях подготовки персонала и внесения изменений в действующие руководящие документы, технические требования и инструкции по действиям персонала в конкретной ситуации;

— в разработке полезной модели для автоматизации процесса контроля и испытаний «Устройство автоматизированного контроля и испытаний технических средств и систем пожарной сигнализации и автоматики», защищенной патентом;

— в разработке комплекса программ контроля и диагностики системы противопожарной защиты потенциально опасных производств.

Методология и методы исследования. Для решения поставленных задач используются методы моделирования и оптимизации АСУ ППЗ; системного анализа и синтеза, тензорные методы моделирования аварийных ситуаций с использованием теории двойственных сетей.

На защиту выносятся:

- новые структурные и технические решения по автоматизации задач контроля и испытаний установок пожарной сигнализации и установок пожаротушения;
- результаты формализованного описания общесистемных решений и алгоритмизации функциональной и технической структур автоматизированного комплекса контроля и испытаний АСУ ППЗ объектов нефтепереработки;
- модель и алгоритмы контроля аварийных ситуаций в технологическом блоке первичной переработки нефти ЭЛОУ АВТ-6 с применением тензорных методов на основе двойственных сетей на примере АО «РНПК». Новые результаты вычислительных экспериментов по прогнозированию поведения опасных технологических блоков при аварийном изменении параметров технологических процессов и разрушении элементов конструкции (изменении структуры) сетевой модели установки;
- структура технического и программного обеспечения автоматизированного комплекса контроля и испытаний АСУ ППЗ с представлением схем алгоритмов задач верхнего и нижних уровней управления.

Достоверность достигнута за счет применения апробированных математических методов, аналитических исследований и вычислительных экспериментов, согласованности полученных результатов с известными данными исследований.

Апробация работы. Основные результаты работы были доложены на следующих международных научно-практических конференциях:

- «Системы безопасности», Москва, Академия Государственной противопожарной службы МЧС России (2013–2017 гг.).
- «Пожаротушение, проблемы, технологии, инновации», Москва, Академия Государственной противопожарной службы МЧС России (2014–2016 гг.).
- «Актуальные проблемы обеспечения комплексной безопасности и пути их решения», Воронежский институт ГПС МЧС России (2013 г.).
- «Актуальные проблемы современной науки и образования», Липецк, Липецкая региональная общественная организация «Всероссийское общество изобретателей и рационализаторов» (2015 г.).

Публикации. По тематике диссертации опубликовано 16 работ, в том числе 4 статьи из перечня изданий, рекомендованных ВАК, 7 докладов на конференциях, получен один патент на полезную модель, 4 свидетельства «Роспатента» о государственной регистрации программы для ЭВМ.

Личный вклад автора. В совместных публикациях автору принадлежат: постановка и формализация задач исследования, разработка методов и конструктивных решений, теоретические обобщения и прикладные расчеты, разработка модели и алгоритмов, участие в технической реализации и внедрении разработок.

Внедрение результатов работы. Представленные в диссертации результаты исследований нашли практическое применение на промышленных объектах, а также в высших учебных заведениях пожарно-технического профиля, в том числе:

– в плане реконструкции АО «Рязанская нефтеперерабатывающая компания» (АО «РНПК») на технологической установке (ТУ) ЭЛОУ АВТ-6 в составе АСНИ интегрированной информационно-управляющей системы завода;

– в ООО «СТАЛТ» в научных исследованиях, в подготовке и тренинге персонала, осуществляющих его деятельность в области монтажа и эксплуатации установок противоаварийной защиты, пожаротушения и пожарной сигнализации.

– при проведении научно-исследовательской работы в Академии ГПС МЧС России по теме «Автоматизация научных исследований систем противопожарной защиты потенциально опасных производств» (план научно-технической деятельности АГПС МЧС России 2015, 2016 гг.– п. 118, 2017 г. – п. 82).

Практическое применение результатов исследования подтверждается актами внедрения.

Структура и объем диссертации. Диссертационная работа состоит из введения, четырех глав, заключения, списка литературы из 137 наименований и 6 приложений на 49 страницах. Содержание работы изложено на 226 страницах машинописного текста, содержит 54 рисунка и 26 таблиц. Приложения к диссертации содержат 43 рисунка и 10 таблиц.

ОСНОВНОЕ СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

Во введении обозначена актуальность темы исследования, основные проблемы в области промышленной и пожарной безопасности объектов нефтепереработки, а также излагается состояние современной противоаварийной и противопожарной защиты на опасных производственных объектах нефтеперерабатывающей промышленности. Представлены основные результаты диссертационной работы и сформулированы положения, выносимые на защиту.

В первой главе «Комплексный анализ пожарной опасности и особенностей контроля и испытаний автоматизированной системы управления противопожарной защитой нефтеперерабатывающих производств как объекта автоматизации» проведен комплексный анализ состояния технических средств противопожарной и противоаварийной защиты на промышленных предприятиях как объекта автоматизации, включающий как статистическую оценку опасности аварийных ситуаций, так и основные причинно-следственные связи их возникновения, а также анализ особенностей процесса контроля и испытаний АСУ ППЗ на объектах нефтеперерабатывающей промышленности. Показано, что причиной возникновения большинства пожаров и взрывов являлась разгерметизация технологического оборудования (рисунок 1). Автором настоящего исследования было предложено, во-первых, провести исследование (вычислительные эксперименты) поведения процессов в наиболее опасном технологическом блоке при изменении конструкции, структуры и динамики технологических параметров установки и, во-вторых, выполнить мате-

матическое моделирование аварийных ситуаций на потенциально взрывопожароопасной технологической установке.

На объектах нефтепереработки и нефтехимии, согласно аналитическим данным за последние 5 лет (2013–2017 гг.), произошел 84 аварийный случай, из которых 25 аварий связаны со взрывом, что составляет 30 % от общего количества аварий, 34 аварии – с пожаром (40 %) и 25 аварий связаны со выбросом опасных веществ, что составляет 30 % от общего количества произошедших аварий. Материальный ущерб от общего количества аварий только за 2016 год составил больше 14 млрд руб.

Результаты проведенного комплексного анализа подтверждают актуальность и необходимость создания АККИ АСУ ППЗ интегрированного в автоматизированную систему научных исследований (АСНИ) противопожарной защиты как первого звена обеспечения промышленной и пожарной безопасности нефтеперерабатывающих производств.

Разработаны принципы построения АККИ для нефтеперерабатывающих производств и представлена конфигурация комплекса технических средств противопожарной и противоаварийной защиты объектов нефтепереработки.

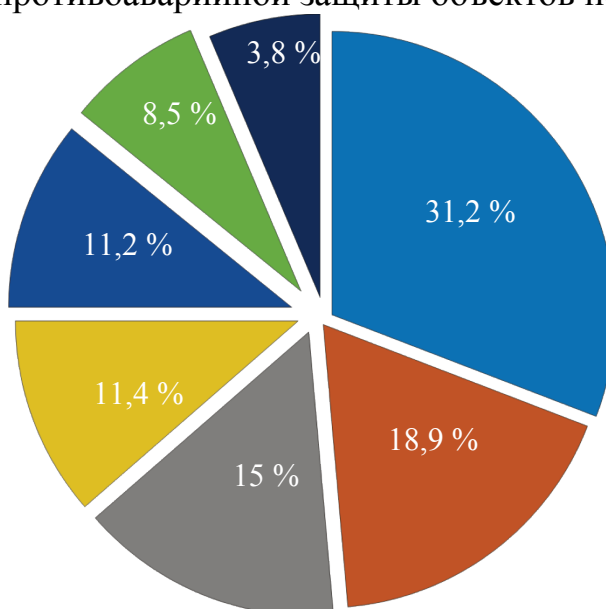


Рисунок 1 – Распределение аварий по видам технологического оборудования:

- технологические трубопроводы; ■ насосные станции;
- емкостные аппараты (теплообменники, дегидраторы); ■ печи;
- колонны (ректификационные, вакуумные, прочие); ■ прочие;
- резервуарные парки

Необходимость создания высокоэффективных автоматизированных систем управления технологическими процессами, обеспечивающих стабилизацию материальных и тепловых потоков в оптимальном режиме, повышение оперативности обслуживающего персонала в аварийных ситуациях, улучшении качества продукции, обеспечение экологической и пожаровзрывобезопасности производства, – всё это обусловлено сложностью технологических процессов нефтепереработки и значительной мощностью установок. Показано, что наиболее перспективным направлением развития автоматизированного комплекса контроля и испытаний АСУ ППЗ является создание систем моделирования потенциально опасных технологических процессов.

Представлен АККИ АСУ ППЗ, интегрированный в АСНИ НПЗ, позволяющий в конечном итоге повысить уровень пожаровзрывобезопасности технологического оборудования и снизить аварийность предприятия. Показана роль АККИ в модернизации объектов нефтепереработки на примере АО «РНПК».

Во второй главе «Формализованное описание структурных и технических решений автоматизированного комплекса контроля и испытаний автоматизированной системы управления противопожарной защитой объектов нефтепереработки» анализируется проблема построения по формализованному описанию АККИ АСУ ППЗ на примере технологического процесса первичной переработки нефти, которая включает в себя следующие структуры: организационную, функциональную, информационную, алгоритмическую, программную и техническую.

Используется системный подход в рамках общесистемных решений по составлению функционального описания АККИ, где определены главная цель создания системы, ее подсистемы, группы основных и вспомогательных функций, направленных на достижение поставленной цели. Разработана функциональная структура АККИ и задачи, необходимые для реализации функций соответствующих подсистем (рисунок 2). Основными функциями являются повышение как надежности и информативности систем защиты, так и эффективности процесса контроля и испытаний, а также предотвращение возникновения аварийных ситуаций в технологическом процессе нефтепереработки.

Определены основные классы формализуемых процедур для автоматизированного выполнения их техническими средствами системы ППЗ и осуществлено распределение по подсистемам: подсистема контроля и испытаний параметров АПС и ПАЗ; подсистема контроля и испытаний параметров АУПТ; подсистема моделирования аварийных ситуаций. При объединении вышеуказанных подсистем образуется АККИ. Структуры важнейших подсистем при автоматизации процесса контроля и испытаний АСУ ППЗ представлена на рисунке 3.

Целесообразной является структура АККИ АСУ ППЗ, содержащая три уровня: объектный, инструментальный и сервисный (базовый).

Установлено, что для АККИ АСУ ППЗ основным является объектный уровень, так как именно на этом уровне присутствует испытатель, роль которого является главной. Именно на объектном уровне в первую очередь регистрируется новая информация об изучаемом элементе АСУ ППЗ на объекте.

Представлено научно-методическое обеспечение (НМО) АККИ, в которое входят методы, способы, методики, алгоритмы проведения контроля и испытаний, проведения эксперимента, обработки и представления экспериментальных данных, которые характерны для достаточно узкой предметной области исследований и испытаний комплекса технических средств АСУ ППЗ НПЗ, и специальное НМО общего применения, которое одинаково успешно может использоваться для тренировок персонала, подготовки документации организационного обеспечения и в различных предметных областях.

Показано, что особенностью разработанного АККИ в составе АСНИ является его широкие функциональные возможности для проведения входного контроля, сертификационных и контрольных испытаний АСУ ППЗ, научных исследований, выполнения диссертационных работ (имитация работы систем управления и обеспечения безопасности технологического процесса, автоматизация экспериментов, математическое моделирование, алгоритмизация, программирование и др.), а также широкие возможности использования технического и программного обеспечения комплекса для дистанционной подготовки и тренировки персонала с использованием сервера удаленного доступа.

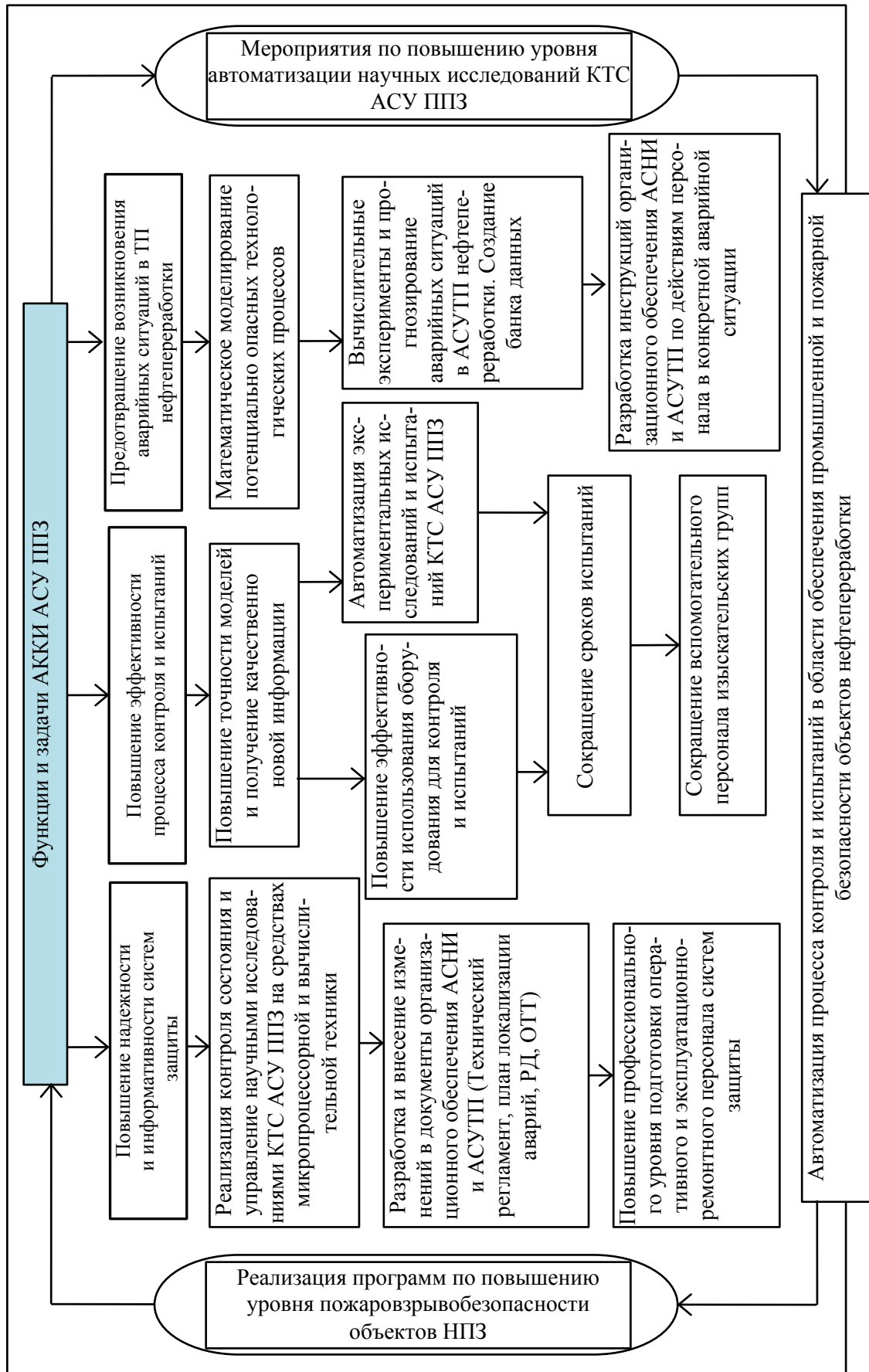


Рисунок 2 – Функциональная структура АККИ АСУ ППЗ

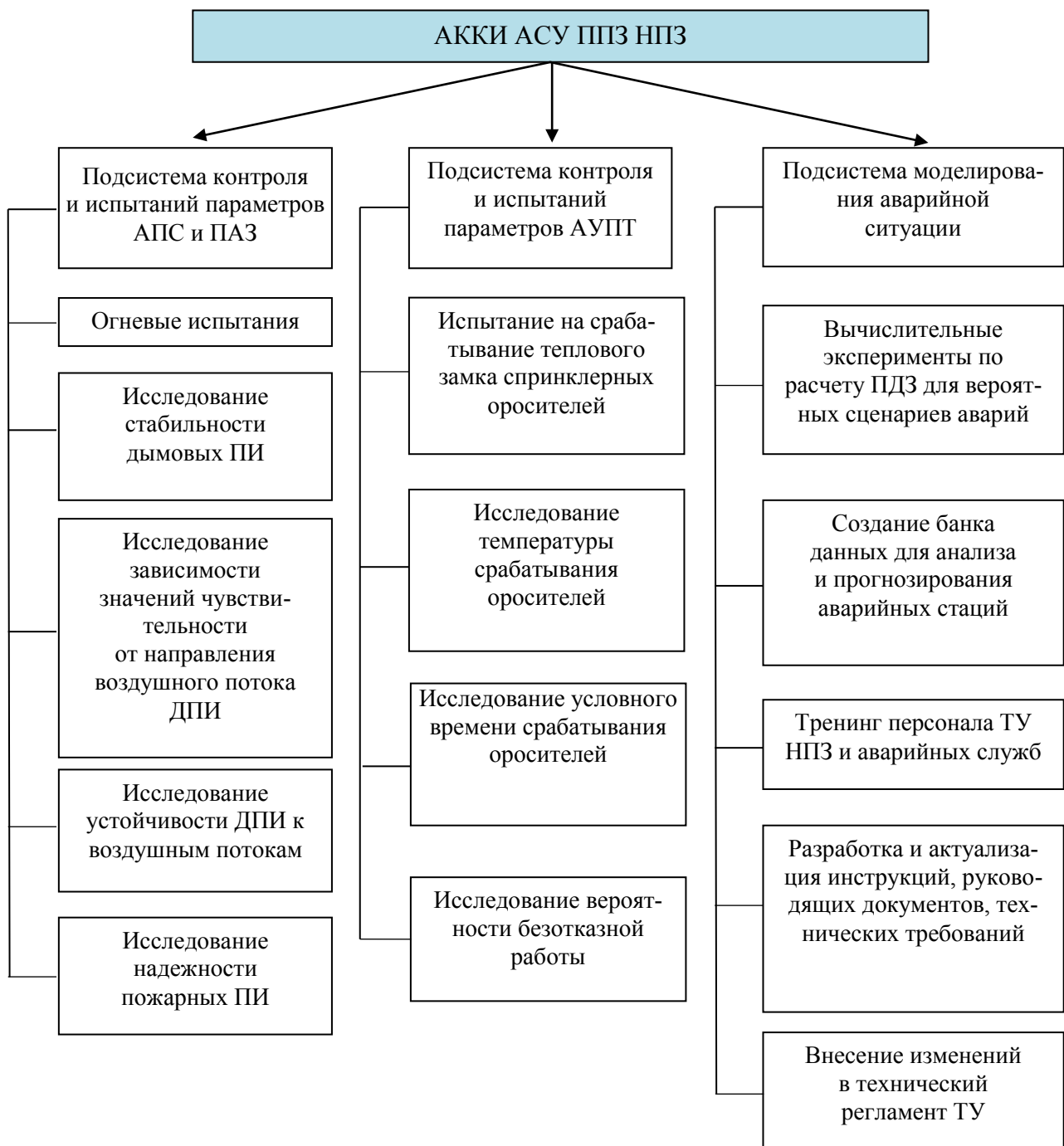


Рисунок 3 – Структура важнейших подсистем при автоматизации процесса контроля и испытаний АСУ ППЗ НПЗ

В третьей главе «Моделирование аварийных ситуаций в потенциально опасных технологических процессах объектов нефтепереработки» разработана сетевая модель исследования и анализа аварийных (т. е. пожароопасных ситуаций) ректификационной колонны как наиболее опасного технологического блока. Данная сетевая модель основана на применении тензорных методов моделирования и расчета сложных технических систем, основывающихся на использовании метода двойственных сетей.

Подобный метод двойственных сетей представляет собой абстрактное описание законов прохождения потока в сетях, сложных системах при изменении их структуры. Отличие от других геометрических методов заключается в изменении вектора и квадрата его длины при изменении структуры одной сети.

Кроме того, матрицы преобразования координат-путей прямоугольны и не образуют группу, если при изменении структуры меняется число узлов в графе сети. Для связки двух двойственных сетей вектор потока (т.е. его энергия) и квадрат его длины постоянны. Матрицы преобразования путей связывает инвариант, который обеспечивает свойства, аналогичные свойствам группы преобразования координат в обычной геометрии. Данный инвариант связывает матрицы преобразования путей, описывающих структуру, в двух двойственных сетях (матрица преобразования путей в данной сети обозначена как C , а в двойственной сети – A). Он выражается соотношением, представленным ниже:

$$C(C_t C)^{-1} C_t + A(A_t A)^{-1} A_t = I, \quad (1)$$

где I – единичная матрица.

Такая закономерность отличается от известной ортогональности матриц преобразования: $C_t = (A)^{-1}$ (их подматрицы представляют собой цикломатическую матрицу и матрицу разрезов из теории графов). Инвариант имеет вид формулы (1) для единичных весов ветвей (метрических коэффициентов). Если веса не единичные, то и метрическая матрица неединичная и соотношение (1) включает метрическую матрицу, принимая более общий вид. Таким образом, эта закономерность связывает метрику и структуру в пространстве сети. Сумма метрических тензоров в пространстве двойственных сетей – величина постоянная, равная метрическому тензору сети из несвязанных, свободных ветвей.

Материальные характеристики ветвей представляются как веса. Если ветвям сети приписаны веса (собственные и взаимные), выражаемые матрицей $Z(Z = Y^1)$, то указанное инвариантное соотношение для замкнутых путей примет следующий вид:

$$(Z)^{-1} = Y = {}^m C_t ({}^m C Z {}^m C)^{-1} {}^m C + Y^j A_t ({}^j A Y^j A_t)^{-1} {}^j A Y. \quad (2)$$

Если на сеть наложен вектор (т.е. осуществляется воздействие), то его компоненты принимают значения в базисе замкнутых (внутреннее воздействие) или разомкнутых (внешнее воздействие) путей. В данном случае инвариант – это постоянство длины вектора: часть вектора в одной сети, часть в двойственной, но их сумма является величиной постоянной и не зависящей от изменения соединений. Для вектора ${}^m d$, заданного в замкнутых путях, формула преобразования контравариантных компонент при изменении структуры примет вид:

$$\begin{aligned} {}^m d_0^\alpha &= {}^m d_c^\alpha + {}^m \underline{d}_c^\alpha = {}^m d^\alpha {}^m C_{\alpha'}^\alpha + {}^m d^\alpha {}^j A_{\alpha'}^\alpha Y^{\alpha\beta} = \\ &= \left({}^m C_{\alpha'}^\alpha \right) t^m d^\alpha + \left({}^j A_{\alpha'}^\alpha \right) t Y^{\alpha\beta} {}^m \underline{d}^\beta, \end{aligned} \quad (3)$$

где ${}^m d_c^\alpha$ и ${}^m \underline{d}_c^\alpha$ – компоненты вектора в двойственных сетях.

Поскольку в связанных ветвях компоненты вектора ${}^m d$ распадаются на совокупность компонент вектора в двойственных сетях и только в сумме дают компоненты полного вектора, поэтому нельзя получить компоненты данного вектора для связанной сети по их значениям в свободных ветвях. Для разомкнутых путей данные инвариантные соотношения при двойственной замене всех величин имеют такой же вид, а преобразования – такой же смысл.

Данные модели обеспечивают представление структуры связей элементов и процессов в системе (массовые потоки продуктов с кинетической, потенциальной и тепловой энергией). Это позволяет рассчитать последствия изменения управляющих воздействий, а также выхода из строя отдельных компонент кон-

струкции установки или ее подсистем и определить их соответствие предельно допустимым значениям (ПДЗ). Расчеты позволяют определить как реакцию опасных параметров (датчики давления и температуры) на опасные изменения процессов и структуры установки, так и управляющие воздействия по выводу системы из аварийной ситуации.

Анализ функциональных особенностей технологического блока ректификационной колонны показывает, что для представления элементов и процессов установки необходимо и достаточно 12 ветвей, соединенных в сетевую модель. Структура сетевой модели состоит из соединенных между собой ветвей, каждая из которых представляет необходимые элементы установки в соответствии с их функциональным назначением. Это основные потоки от входа до выхода, а также контуры (контур перегретого пара) и два циркулярных орошения.

В исследовательской работе рассматривается сетевая модель из 12 ветвей, которая достаточно полно охватывает основные особенности процессов, осуществляемых в исследуемой нефтеперерабатывающей установке. Данная сетевая модель соответствует технологической схеме (рисунок 4), которая представляет основные узлы и агрегаты ректификационной колонны наиболее взрывопожароопасного технологического блока открытой технологической установки ЭЛОУ АВТ-6 АО «РНПК».

Сеть включает в себя входной поток сырья, нагретой нефти, вывод фракции высококипящего компонента (ВКК) – мазута, фракции 290–350 °С. Также сюда включены два контура циркуляционного орошения, которые обеспечивают выделение двух фракций, с выводом парогазовой фракции. Кроме того, отдельным контуром представлена циркуляция перегретого пара, предназначенная для отпаривания ВКК в нижней части колонны.

В качестве примера рассматривается сценарий развития аварии, когда разрушен основной канал движения потока нефтегазовой смеси. Этот вариант представлен на рисунке 5, где разорван контур 4` сетевой модели установки за счет отделения ветви 4 от узла **D**, т. е. разрушен основной поток нефтегазовой смеси технологического процесса. Показаны результаты расчета откликов, потоков, которые начинают протекать в сети сразу после разрушений на данном участке.

Проводя вычисления методом расчета контурной сети, получаем матрицу решения контурной сети Y_c , рассчитываемая по формуле:

$$Y_c = {}^m C_{\alpha't}^\alpha \left({}^m C_{\alpha'\beta}^\alpha Z_{\alpha\beta} {}^m C_{\beta't}^\beta \right)^{-1} {}^m C_{\alpha'}^\alpha. \quad (4)$$

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
1	50	14	0	0	-4	-8	28	14	8	0	-4	-8
2	14	32	0	0	2	4	-14	32	-4	0	2	4
3	0	0	39	0	0	0	0	0	0	-39	0	0
4	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
5	-4	2	0	0	44	10	4	2	-10	0	-34	10
6	-8	4	0	0	10	20	8	4	-20	0	10	20
7	28	-14	0	0	4	8	50	-14	-8	0	4	8
8	14	32	0	0	2	4	-14	32	-4	0	2	4
9	8	-4	0	0	-10	-20	-8	-4	20	0	-10	-20
10	0	0	-39	0	0	0	0	0	0	39	0	0
11	-4	2	0	0	-34	10	4	2	-10	0	44	10
12	-8	4	0	0	10	20	8	4	-20	0	10	20

1/78

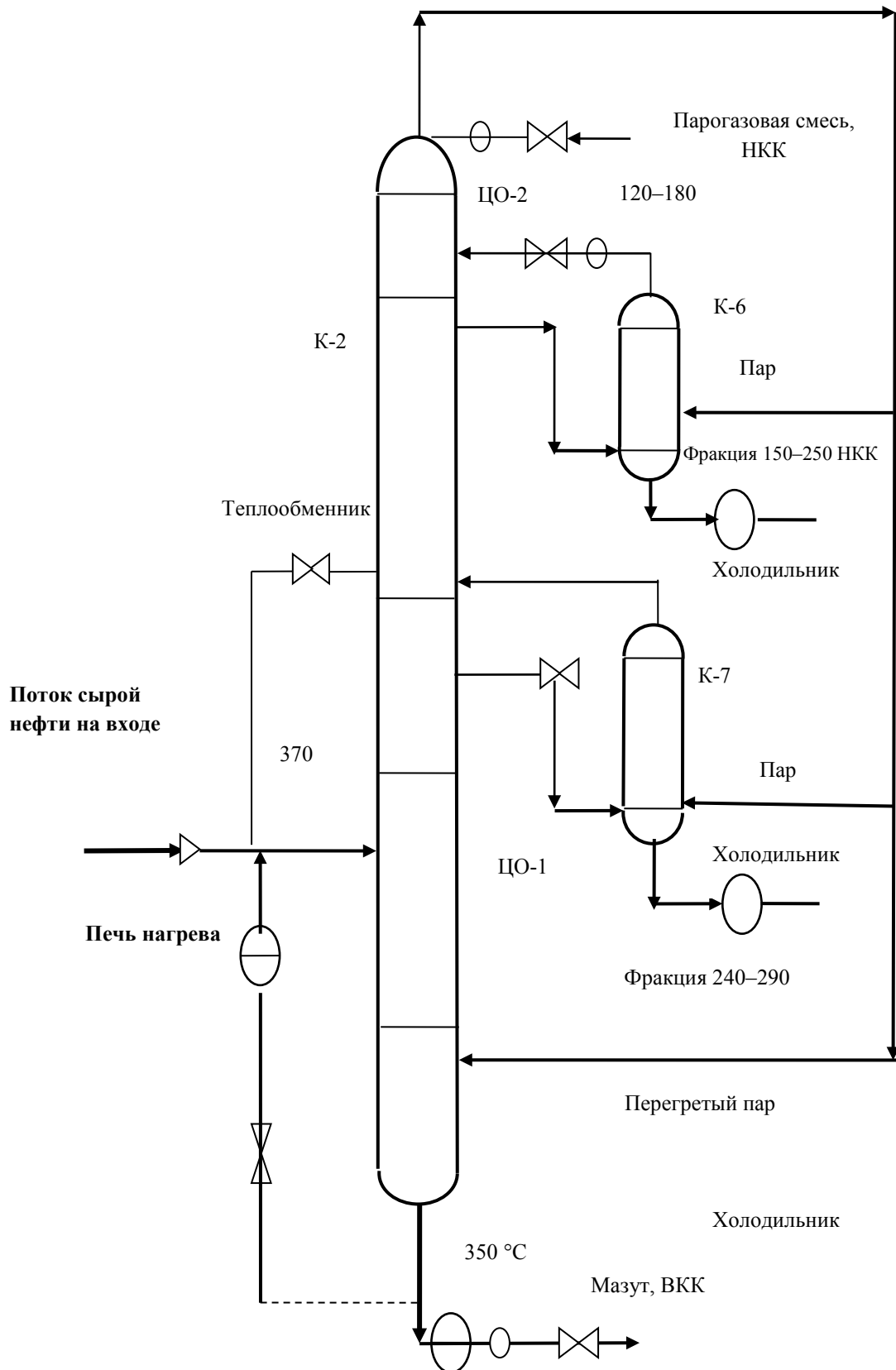


Рисунок 4 – Схема работы ректификационной колонны:
 К2 – ректификационная колонна АВТ; К6 и К7– колонны;
 ЦО-1 и ЦО-2 – циркуляционные орошения

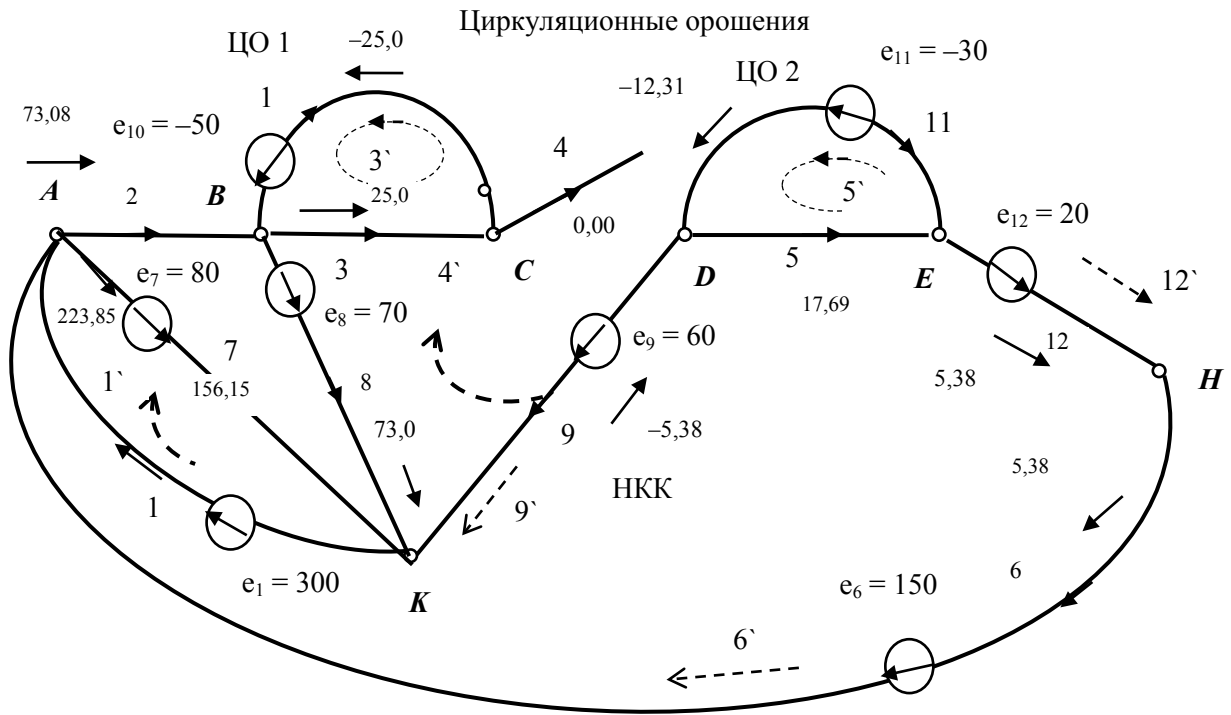


Рисунок 5 – Сетевая модель технологического блока ректификации на стенде АККИ при разрушениях конструкции

Значения элементов для матрицы контурной сети Y_c представлены целыми числами, деленными на определитель, который здесь равен 78. Строка и столбец 4 в матрице состоят из нулей, показывая, что эта ветвь оказалась вне контуров данной сети и потоки в них протекать не могут, т.е. канал вывода мазута не работает.

Вектор воздействия и ПДЗ – прежние, отклики в аварийной сети получают путем умножения новой матрицы решения на старый вектор воздействий. Далее сравниваются аварийные отклики с ПДЗ (таблица 1). Левая часть таблицы дает штатному режиму работы, верхние и нижние значения ПДЗ по-прежнему прежние. Правый столбец представляет датчики, которые срабатывают и подают сигнал тревоги при выходе значений давлений за пределы, т.е. ниже и выше допустимых значений.

Таблица 1 – Реакция датчиков стенда при разрыве контура 4' сетевой модели

Номер ветви	Контурная сеть, штатный режим работы				Аварийная сеть, разрушен контур 2 отклонения от ПДЗ				Сигнал датчика
	Воздействие, $B_{ш}$	Отклик $O_{ш}$	ПДЗ-низ -10% $O_{ш}$	ПДЗ+верх +10% $O_{ш}$	Отклик при аварии O_a	Абсолютное значение	Отклик $O_a - ПДЗ-$	ПДЗ+ - O_a	
1	300	225,07	202,56	247,58	223,85	223,85	21,28	23,73	–
2	0	80,42	72,38	88,46	73,08	73,08	0,70	15,39	–
3	0	32,96	29,66	36,25	25,00	25,00	-4,66	11,25	Д3
4	0	15,92	14,32	17,51	0,00	0,00	-14,32	17,51	Д4
5	0	20,14	18,13	22,15	17,69	17,69	-0,43	4,46	Д5
6	150	10,28	9,25	11,31	5,38	5,38	-3,87	5,93	Д6
7	80	154,93	139,44	170,42	156,15	156,15	16,72	14,27	–

Окончание таблицы 1

8	70	64,51	58,06	70,96	73,08	73,08	15,02	-2,12	Д8+
9	60	5,63	5,07	6,20	-5,38	5,38	0,31	0,81	-
10	-50	-17,04	15,34	18,75	-25,00	25,00	9,66	-6,25	Д10+
11	-30	-9,86	8,87	10,85	-12,31	12,31	3,43	-1,46	Д11+
12	20	10,28	9,25	11,31	5,38	5,38	-3,87	5,93	Д12

В данном случае разрушен основной поток нефтегазовой смеси, поэтому потоки уходят по другим ветвям; некоторые потоки меняют регламентное направление. Датчики давления выдают сигнал о:

- снижении показателя ниже ПДЗ в ветвях 3, 4, 5, 6, 12;
- превышении ПДЗ в ветвях 8, 10, 11.

На рисунке 6, где представлены отклонения потоков массы от границ ПДЗ при разрыве контура 4', показан расчет изменения потоков массы при изменении структуры, вызванном аварийной ситуацией.

Таким образом, возможно получить реакцию датчиков давления, определяющих отклики массовых потоков на изменение воздействий и структуры сетевой модели установки, реализованной на лабораторно-исследовательском стенде, при возникновении различных вариантов опасного развития ситуации.

Аналогичные результаты получены при расчетах изменения тепловых потоков при изменении температурных воздействий, а также при расчете вариантов опасных изменений структуры установки. Это осуществляется при расчете узловой подсистемы рассмотренной сетевой модели при соответствующих векторах температурных воздействий. Всего выполнено 7 вычислительных экспериментов для наиболее опасных сценариев аварийных ситуаций:

1. Разрушение в верхней части контура циркуляции перегретого пара.
2. Разрушение контура ЦО-2 циркуляционного орошения.
3. Разрушение контура циркуляционного орошения.
4. Разрушение канала вывода одной из фракций (бензина).
5. Разрушение канала вывода, поступления входного потока нефти.
6. Разрушение канала вывода фракции ВКК (мазута).
7. Разрушение основного канала движения потока нефтегазовой смеси.

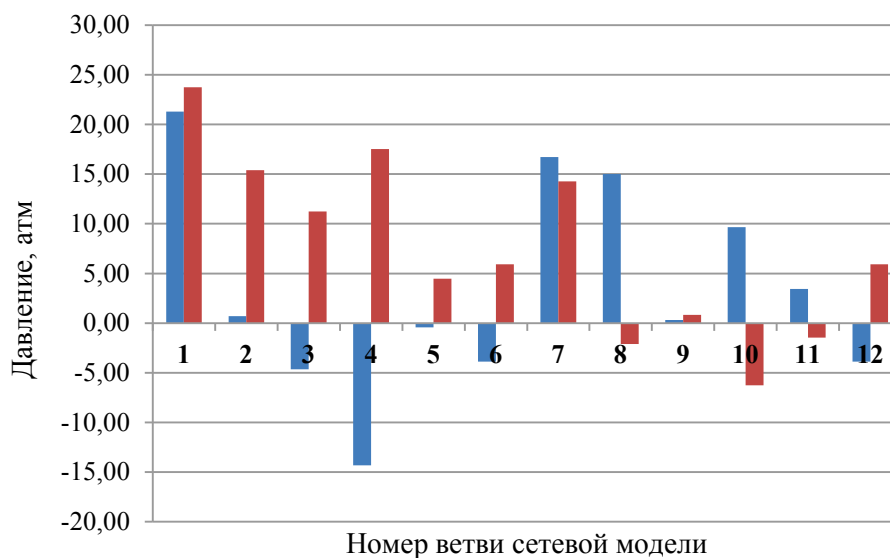


Рисунок 6 – Расчет изменения потоков массы при изменении структуры
■ от нижней границы ПДЗ; ■ от верхней границы ПДЗ

Полученные результаты предназначены для проведения вычислительных экспериментов при разных режимах работы рассматриваемой установки. Накопленные результаты расчетов могут применяться для организации компьютерных тренажерных комплексов и учебного процесса по обучению знаниям о поведении сложной технической системы при опасных изменениях структуры (аварийных ситуациях).

В четвертой главе «Исследование и организация технического обеспечения автоматизированного комплекса контроля и испытаний автоматизированной системы управления противопожарной защитой на нефтеперерабатывающем заводе» представлены структурные решения и технические предложения по организации технического обеспечения АККИ АСУ ППЗ интегрированного в информационно-управляющую систему (на примере АО «РНПК»), позволяющие в конечном итоге повысить не только уровень промышленной безопасности производства, но и пожаровзрывобезопасность технологических процессов и оборудования.

Предложена схема комплекса технических средств АККИ АСУ ППЗ, которая предусматривает три уровня управления с иерархической структурой: нижний (первый) уровень, реализованный на базе программируемых контроллеров «ИУК-31» (рисунок 7), второй уровень – на базе промышленного панельного компьютера AFL и третий уровень – частный сервер, реализованный на ПЭВМ типа «iCore 2» и выше.

Общие требования к составу и техническим характеристикам разрабатываемых автоматизированных стендов как составной части АККИ были определены после получения результатов проведенного анализа, касающегося технического обеспечения АККИ АСУ ППЗ НПЗ. Комплекс обеспечивает решение поставленных научно-исследовательских задач с учетом развития техники в области промышленной и пожарной безопасности. В состав комплекса входит оборудование и программное обеспечение, применяемое в промышленной автоматизации на современных объектах, а также специально разработанные модули, контрольные программы и тренажерные комплексы (рисунок 8).

Разработаны алгоритмы работы функциональных групп автоматизированного стенда АККИ АСУ ППЗ НПЗ и их прикладные программы функционирования и визуализации. В качестве примера блок-схема алгоритма испытаний теплового замка спринклерного оросителя и определение времени его срабатывания представлена на рисунке 9.

На данной схеме показана структура информационных связей АККИ АСУ ППЗ НПЗ с удаленным доступом, а также представлено формализованное описание трех режимов работы автоматизированного стенда – в режиме контроля, испытаний и в режиме «Виртуальная лаборатория», необходимый для дистанционного проведения исследований и тренировок персонала с использованием сервера удаленного доступа.

Выполнен расчет уровня автоматизации процесса контроля и испытаний элементов систем противопожарной и противояварийной защиты. Для решения поставленной задачи по определению уровня автоматизации процесса контроля и испытаний АСУ ППЗ за основу принята стандартная методика расчета уровня автоматизации АСУТП. Данная методика доработана и адаптирована для применения к комплексам контроля и испытаний АСУ ППЗ.

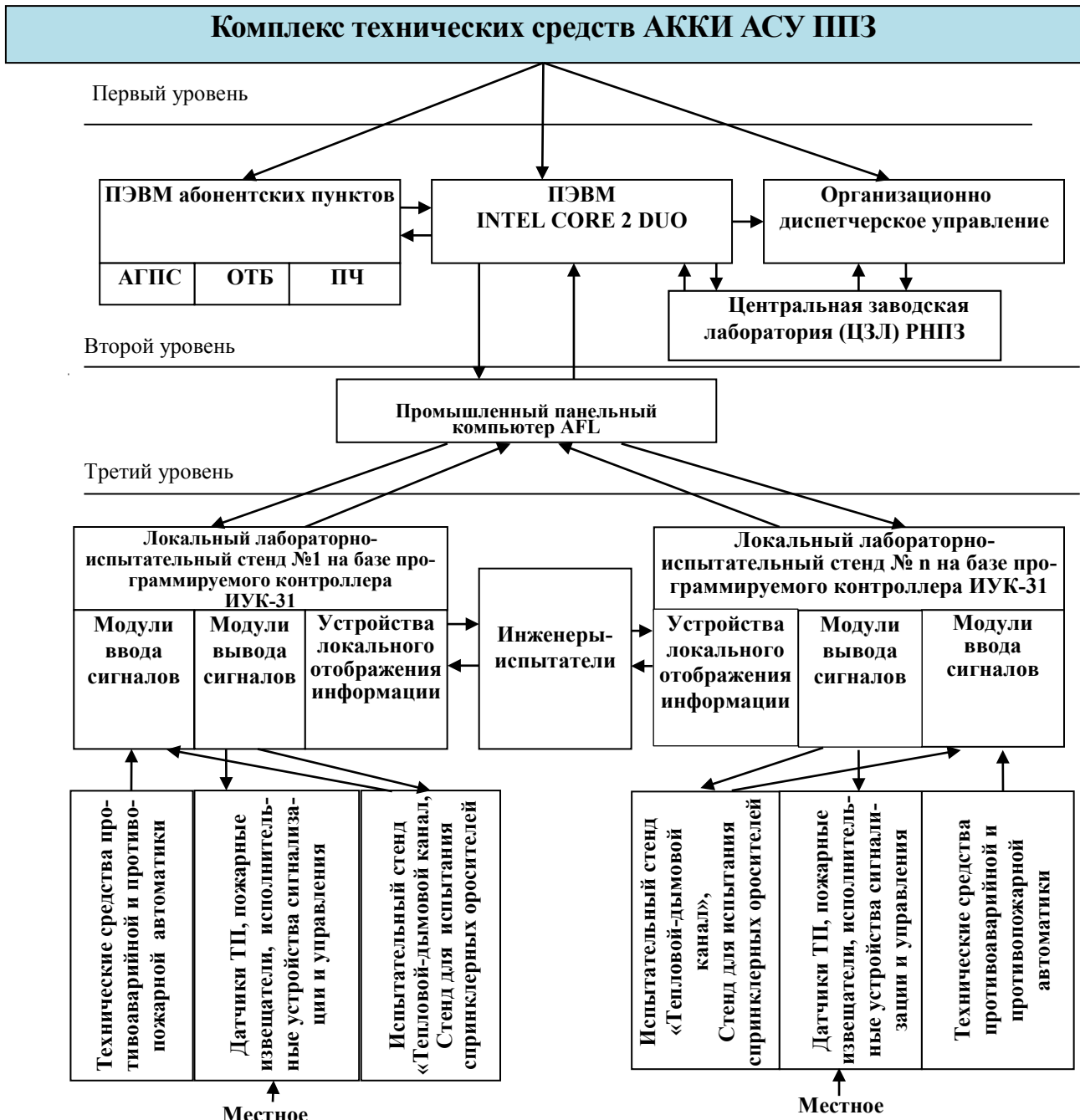


Рисунок 7 – Блок-схема структуры комплекса технических средств АККИ АСУ ППЗ нефтеперерабатывающих производств



Рисунок 8 – Схема расположения оборудования на автоматизированном стенде АККИ АСУ ППЗ

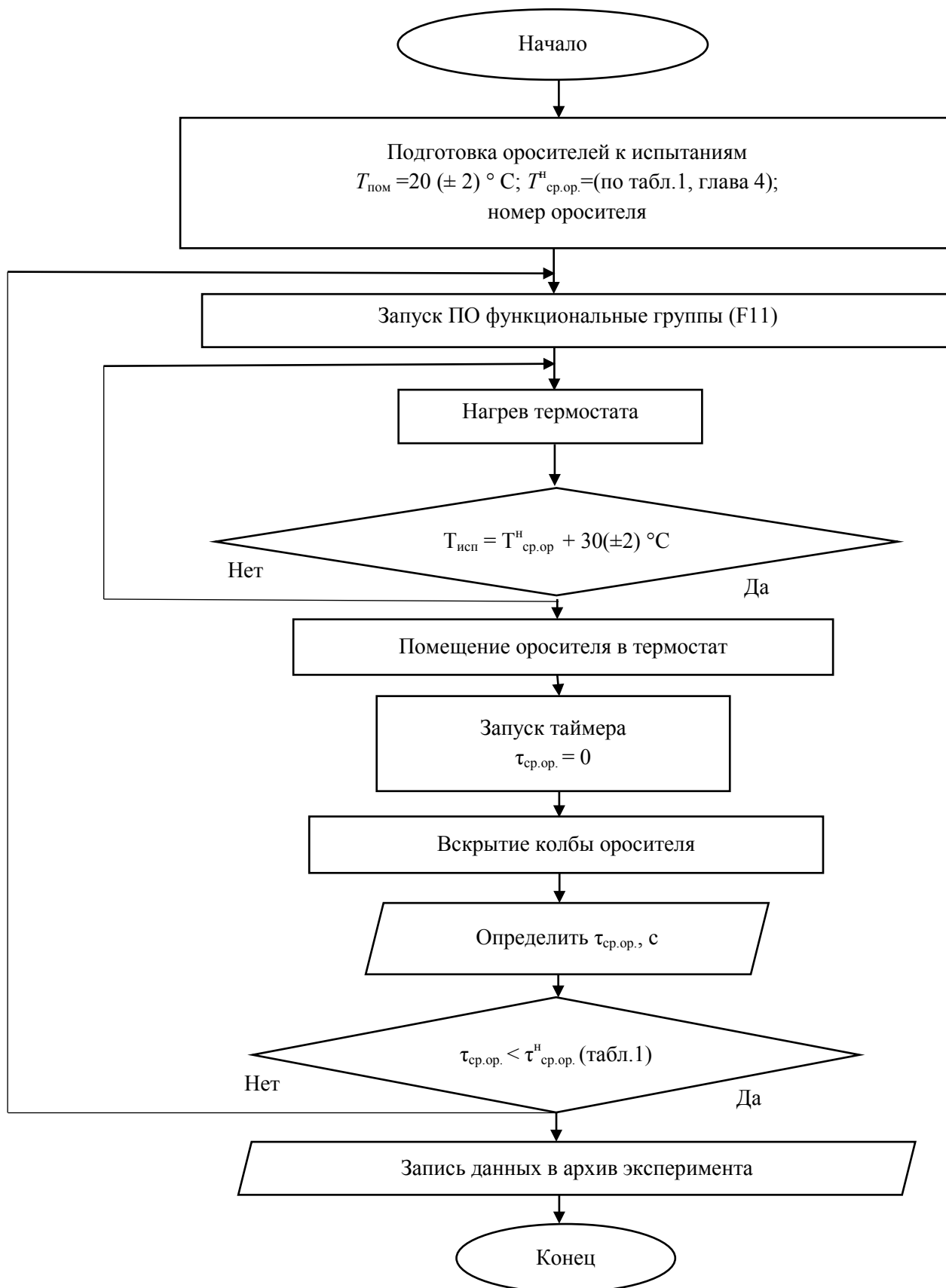


Рисунок 9 – Блок-схема алгоритма испытаний теплового замка спринклерного оросителя и определение времени его срабатывания

Количественная оценка уровня автоматизации осуществляется с помощью показателя K ($K_{\max} = 1$), его нормативное значение находится в диапазоне 0,75–0,9. Показатель K определяется по следующему уравнению:

$$K = \sum_{i=1}^{12} \alpha_i K_i \sum \alpha_i, \quad (5)$$

где K_i – частные показатели уровня автоматизации отдельных функций управления; α_i – коэффициент «важности» функций, определяющий относительную значимость данной функции в общем процессе управления.

В таблице 2 приведены функции управления технологическим объектом ППЗ и коэффициенты их «важности» α .

Таблица 2 – Функции управления

№ п/п	Параметры	α_i
1	Контроль параметров процесса проведения экспериментов	0,9
2	Контроль параметров качества проведения экспериментов	0,9
3	Регистрация параметров процесса проведения экспериментов	0,7
4	Контроль состояния основного оборудования ППЗ	1,0
5	Контроль работоспособности комплекса технических средств (КТС)	1,0
6	Расчет технико-экономических показателей (ТЭП)	0,8
7	Анализ аварийных ситуаций основного технологического процесса	0,7
8	Пуск и остановка КТС АККИ	0,8
9	Управление технологическим процессом АККИ	0,9
10	Оптимизация технологического процесса АККИ	0,9
11	Оценка качества ведения процесса проведения экспериментов	0,7
12	Обмен информацией со смежными и вышестоящими уровнями управления	0,7

Частный показатель уровня автоматизации этой функции принимается равным нулю, если система автоматизации не выполняет какую-либо функцию управления.

Произведен расчет частных и комплексных показателей уровня автоматизации процесса контроля и испытаний АСУ ППЗ для двух вариантов на примере АО «РНПК»:

I вариант – щитовая система, обеспечиваемая автономными приборами управления и контроля процесса проведения эксперимента;

II вариант – автоматизированная система управления и контроля процесса проведения эксперимента.

Получены следующие значения показателя K : $K_I = 0,58$; $K_{II} = 0,87$.

Таким образом, результаты расчетов показывают, что обеспечиваемый автономными приборами управления и контроля уровень автоматизации равен 0,58, что значительно ниже нормативного значения. Использование вычислительной техники с ее большими возможностями для создания АККИ элементов АСУ ППЗ нефтеперерабатывающих производств (вариант II) позволяет достичь необходимых значений показателя уровня автоматизации.

Особенность разработанного на уровне полезной модели АККИ АСУ ППЗ как подсистемы АСНИ (рисунок 10) заключается в широком спектре решаемых задач от изучения принципов действия и параметров отдельных ее элементов – технологических датчиков, пожарных извещателей, контрольно-измерительных приборов, контроллеров, до изучения способов их интеграции в АСУ – аппаратном, программном, программно-аппаратном, а также решения задач научного эксперимента, моделирования аварийных ситуаций, сертификационных испытаний, программирования, выполнения НИР, подготовки документов орга-

низационного обеспечения, задач подготовки и тренировки персонала, а также проведение диссертационных исследований.

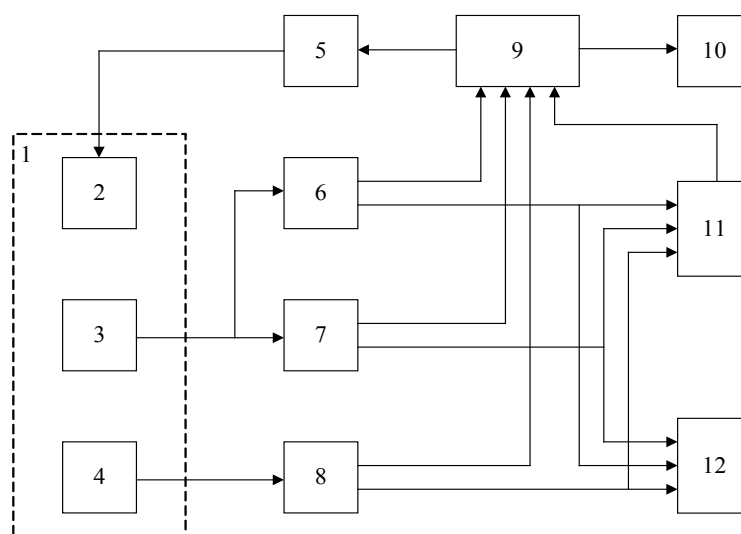


Рисунок 10 – Автоматизированный комплекс контроля и испытаний АСУ ППЗ НПЗ:

1 – испытательная камера; *2* – генератор воздействующего фактора; *3* – блок датчиков; *4* – блок извещателей; *5* – блок управления; *6* – контрольно-измерительный прибор; *7* – первый процессорный блок; *8* – второй процессорный блок; *9* – планшетный компьютер; *10* – блок коллективного отображения информации; *11* – блок исполнительных элементов; *12* – блок оповещения

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В исследованиях, отраженных в диссертационной работе решена научно-техническая задача, имеющая большое значение для нефтеперерабатывающей и нефтехимической промышленности – разработка автоматизированного комплекса контроля и испытаний АСУ ППЗ объектов НПЗ, позволяющая повысить уровень промышленной и пожарной безопасности потенциально опасных технологических процессов. Основные результаты диссертационной работы сводятся к следующему:

1. На основании комплексного анализа пожаровзрывоопасности нефтеперерабатывающих производств показано, что большинство пожаров и взрывов возникает по причине разгерметизации технологического оборудования. Разработаны принципы построения автоматизированного комплекса контроля и испытаний для нефтеперерабатывающих производств и представлена конфигурация комплекса технических средств АККИ АСУ противопожарной и противоаварийной защиты объектов нефтепереработки.

2. Разработаны общесистемные решения по автоматизации функциональной структуры АККИ АСУ ППЗ технологических процессов НПЗ. Определены основные классы формализуемых процедур для автоматизированного выполнения их техническими средствами АСУ ППЗ и осуществлено их распределение по подсистемам контроля и испытаний параметров АПС, ПАЗ и АУПТ, моделирования аварийных ситуаций.

3. На основе анализа особенностей представленной обобщенной структуры

важнейших подсистем автоматизации процесса контроля и испытаний АСУ противопожарной защиты разработана структурно-функциональная схема АККИ АСУ ППЗ нефтеперерабатывающего производства и выполнено ее формализованное описание. Представлено научно-методическое обеспечение АККИ, которое включает в себя методы, способы, методики, алгоритмы проведения эксперимента, обработки и представления экспериментальных данных.

4. Построена сетевая модель пожаровзрывоопасного процесса атмосферной ректификационной колонны К-2 с учетом структуры связей и параметров потоков продуктов с целью определения последствий аварийных изменений процессов при изменении структуры и выработки управляющих воздействий для вывода системы из предаварийного режима или снижения последствий аварии. Для 7 наиболее опасных сценариев аварий произведен расчет сетевой модели установки атмосферной ректификационной колонны К-2 для потоков тепловой энергии, протекающих в разомкнутых путях установки и выполнен расчет сетевых аналогов потоков продуктов в контурной подсети. Расчет подтверждает возможность превышения предельно допустимых значений для отдельных узлов и подсистем установки.

5. Разработаны структурные решения и технические предложения по организации технического обеспечения АККИ АСУ ППЗ в комплексе с созданием интегрированной информационно-управляющей системы. Предложена структурная схема, обосновано и разработано техническое задание, и конструкторская документация на изготовление автоматизированных стендов в составе АККИ АСУ ППЗ. В нем кроме функций контроля и испытаний предусмотрено повышение эффективности обучения и тренировок специалистов за счет обеспечения возможности детального изучения основ функционирования и структур построения различных автоматизированных устройств и систем управления технологическим процессом, в том числе систем пожарной автоматики.

6. Разработаны алгоритмы работы 11 функциональных групп автоматизированных стендов АККИ АСУ ППЗ НПЗ и прикладные программы их функционирования и визуализации. Предложена схема структуры информационных связей АККИ АСУ ППЗ НПЗ с удаленным доступом и представлено формализованное описание режимов работы автоматизированных стендов АККИ. Предложена концепция и структурная схема взаимосвязи автоматизированного комплекса контроля и испытаний, интегрированного в автоматизированную систему научных исследований и АСУ ППЗ нефтеперерабатывающего завода.

Результаты работы защищены патентом на полезную модель, четырьмя свидетельствами «Роспатента» о государственной регистрации программ для ЭВМ и реализованы в АО «Рязанская нефтеперерабатывающая компания», ОАО «Агрострой» и ООО «СТАЛТ», а также используются в научно-исследовательской деятельности и учебном процессе Академии ГПС МЧС России.

Основные положения диссертации опубликованы в следующих работах:

В научных изданиях, рекомендованных ВАК РФ:

1. Гаплаев А.А.-Б. Работоспособность систем пожарной автоматики на промышленных объектах в 2005-2014 годах [Текст] / А.В. Федоров, Е.Н. Ло-

маев, А.А-Б. Гаплаев, Е.О. Токтархан // Пожары и чрезвычайные ситуации: предотвращение, ликвидация. – 2016. – № 2. – С. 73–77.

2. Гаплаев, А.А-Б. Автоматизированная система научных исследований технических средств противоаварийной и противопожарной защиты взрывопожароопасных технологических процессов [Текст] / А.В. Федоров, А.А-Б. Гаплаев, Е.Н. Ломаев, А.Д. Ищенко // Пожары и чрезвычайные ситуации: предотвращение, ликвидация. – 2017. – № 2. – С. 46–52.

3. Гаплаев, А.А-Б. Универсальный лабораторно-испытательный комплекс [Электронный ресурс] / А.В. Федоров, А.А-Б. Гаплаев, А.Н. Членов, и др. // Технологии техносферной безопасности. – 2015. – № 4 (62). Режим доступа: <http://agps-2006.narod.ru/ttb/2015-4/42-04-15.ttb.pdf> (дата обращения 07.01.2016).

4. Гаплаев, А.А-Б. Повышение эффективности учебного процесса путем автоматизации [Текст] / А.В. Федоров, А.А-Б. Гаплаев, Д.В. Поляков // Пожары и чрезвычайные ситуации: предотвращение, ликвидация. – 2013. – № 3. – С. 69–71.

Патент на полезную модель:

5. Гаплаев, А. А-Б Патент на полезную модель «Устройство автоматизированного контроля и испытаний технических средств и систем пожарной сигнализации и автоматики» / А.В. Федоров, А.А-Б. Гаплаев, А.Н. Членов, и др. // ФИПС. – Москва. – 2016. – № 163012. МПК G 09 В 9/00, №2015119340/28; заявл. 22.05. 2015; опубл. 10.07.2016, Бюл. № 19.

В других научных изданиях:

6. Гаплаев, А.А-Б. Лабораторно-испытательный комплекс кафедры Пожарной автоматики Академии ГПС МЧС России [Текст] / А.В. Федоров, А.А-Б. Гаплаев, Е.Н. Ломаев // Материалы 24-й научно-технической конференции «Системы безопасности – 2015». – М.: Академия ГПС МЧС России, 2015. – С. 272–274.

7. Гаплаев, А.А-Б. Обоснование применения функционально-параметрического подхода к оценке надежности систем пожарной автоматики в процессе эксплуатации [Текст] / А.В. Федоров, А.А-Б. Гаплаев, Е.Н. Ломаев // Евразийский Союз Ученых. – 2015. – № 10-2 (19). – С. 84–86.

8. Гаплаев, А.А-Б. Функционально-параметрический подход к оценке надежности систем пожарной автоматики [Текст] / А.В. Федоров, А.А-Б. Гаплаев, Е.Н. Ломаев, В.В. Потапова // Сборник научных трудов по материалам Международной заочной научно-практической конференции «Актуальные проблемы современной науки и образования – 2015». – Липецк: Липецкая региональная общественная организация «Всероссийское общество изобретателей и рационализаторов», 2015. – С. 10–13.

9. Гаплаев, А.А-Б. Режимы функционирования автоматизированного лабораторно-испытательного комплекса для научных исследований, испытаний систем противопожарной защиты и дистанционного обучения [Текст] / А.В. Федоров, А.А-Б. Гаплаев, Е.Н. Ломаев // Сборник тезисов докладов международной научно-практической конференции «Пожаротушение: проблемы, технологии, инновации – 2016». – М.: Академия ГПС МЧС России, 2016. – С. 339–342.

10. Гаплаев, А. А-Б. Комплекс технических средств автоматизирован-

ной системы научных исследований элементов противопожарной защиты потенциально опасных производств [Текст] // Материалы 25-й научно-технической конференции «Системы безопасности – 2016». – М.: Академия ГПС МЧС России, 2016. – С. 365–367.

11. Гаплаев, А. А-Б. Общесистемные решения по автоматизации научных исследований систем противопожарной защиты потенциально опасных производств [Текст] / А.В. Федоров, А.А-Б. Гаплаев, Е.Н. Ломаев, В.В. Потапова // Материалы 25-й научно-технической конференции «Системы безопасности – 2016». – М.: Академия ГПС МЧС России, 2016. – С. 362–365.

12. Гаплаев, А. А-Б. Автоматизированный лабораторно-испытательный комплекс для систем противоаварийной и противопожарной защиты. [Текст] / А.В. Федоров, А.А-Б. Гаплаев, Е.Н. Ломаев, Потапова В.В. // Материалы V международной научно-практической конференции молодых ученых специалистов «Проблемы техносферной безопасности – 2016». – М.: Академия ГПС МЧС России, 2016. – С. 108–111.

Свидетельства о государственной регистрации программ для ЭВМ:

13. Гаплаев, А. А-Б., Федоров, А.В., Ломаев, Е.Н. и др. Программа для определения оптимальных характеристик средств пожарной автоматики на основе интегральной модели пожара: Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ №2016614637; зарег. в Реестре Роспатента 27.04.2016 г.

14. Гаплаев, А. А-Б., Бедило, М.В., Федоров, А.В. и др. Программа автоматизации процесса технического обслуживания систем противопожарной защиты промышленных объектов: Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ № 2017611948; зарег. в Реестре Роспатента 13.02.2017 г.

15. Гаплаев, А. А-Б., Бедило, М.В., Федоров, А.В. и др. Программа контроля и диагностики системы противопожарной защиты потенциально опасных производств: Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ № 2017611842; зарег. в Реестре Роспатента 09.02.2017 г.

16. Гаплаев, А.А-Б., Бедило, М.В., Федоров, А.В. и др. Программа функционирования лабораторно-исследовательского комплекса «Автоматизированные системы управления противопожарной и противоаварийной защитой промышленных объектов»: Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ № 2017611949; зарег. в Реестре Роспатента 13.02.2017 г.

Подписано в печать 18.04.2018 г. Формат 60×90 1/16.

Печать офсетная. Тираж 100 экз. Заказ № 387.

Академия ГПС МЧС России. 129366, г. Москва, ул. Б. Галушкина, 4