

*На правах рукописи*



**Журавлёв Денис Евгеньевич**

**ПРОГРАММНО-АППАРАТНЫЙ КОМПЛЕКС  
БЕСПРОВОДНОГО МОНИТОРИНГА ПОЖАРНОЙ  
БЕЗОПАСНОСТИ ОБЪЕКТОВ ЭНЕРГЕТИКИ**

Специальность: 05.26.03 – Пожарная и промышленная безопасность,  
(технические науки, отрасль энергетика)

**Автореферат**  
диссертации на соискание учёной степени  
кандидата технических наук

Москва 2022 г.

Работа выполнена в федеральном государственном бюджетном образовательном учреждении высшего образования «Академия Государственной противопожарной службы Министерства Российской Федерации по делам гражданской обороны, чрезвычайным ситуациям и ликвидации последствий стихийных бедствий» на кафедре специальной электротехники автоматизированных систем и связи (Академия ГПС МЧС России)

Научный руководитель: доктор технических наук, профессор  
**Зыков Владимир Иванович**

Официальные  
оппоненты:

**Матюшин Александр Васильевич,**  
доктор технических наук, старший научный сотрудник,  
ФГБУ ВНИИПО МЧС России, научно-исследовательский центр автоматических установок обнаружения и тушения пожаров (НИЦ АУО и ТП),  
главный научный сотрудник

**Чискидов Сергей Васильевич,**  
кандидат технических наук, доцент, ФГБВОУ ВО  
Академия гражданской защиты МЧС России, кафедра  
(информационных систем и технологий) факультета  
(инженерного), профессор

Ведущая организация: Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Национальный исследовательский Московский государственный строительный университет»

Защита состоится «13» сентября 2022 г. в 10 часов 00 минут на заседании диссертационного совета Д 205.002.02 в Академии ГПС МЧС России по адресу: 129366, Москва, ул. Б. Галушкина, 4.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке Академии ГПС МЧС России и на сайте:

<https://academygps.ru/upload/iblock/9cc/9cc1826e5764617b9d3c9097d5b8d070.pdf>

Автореферат разослан «06» июля 2022 г.

Учёный секретарь  
диссертационного совета  
д.т.н., профессор



Сивенков Андрей Борисович

## ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

**Актуальность темы исследования.** Экономическое благосостояние государства, уровень развития культуры материальных ценностей и обеспеченности граждан напрямую зависит от степени развития энергетической отрасли. Это основа промышленного комплекса, решающая задачи по выработке, транспортировке и распределению пользователям электро- и теплоэнергии, которая в совокупности с получением энергетических ресурсов, составляет топливно-энергетический комплекс (ТЭК) страны. Повышение степени развития общества находится в прямой связи с ростом темпов развития производства продуктов потребления и товаров обеспечения жизнедеятельности, и, как следствие, возрастающей потребностью в добыче и обработке сырья.

Обеспечение безопасного функционирования энергетической отрасли одна из основных задач Российской Федерации в рамках обеспечения национальной безопасности. Из внешних угроз, оказывающих негативное влияние на энергетическую отрасль, можно выделить геополитические и конъюнктурные факторы, а к угрозам внутренним отнести работоспособность отрасли энергетики в масштабах государства.

В «Энергетической стратегии России на период до 2030 год», утверждённой Правительством Российской Федерации в 2009 году, определены стратегические цели, в которых энергетическая безопасность государства стоит на особом контроле, как важнейшая составляющая национальной безопасности.

Объекты энергетического комплекса – фундамент энергетического сектора государства, их совокупность образует многоуровневую взаимосвязанную структуру, задача которой производить энергию и обеспечивать её трансфер до пользователей. Возникновение аварии даже на одном объекте энергетического комплекса, может поставить под угрозу нормальное функционирование всего сектора в целом.

Несмотря на то, что доля пожаров на объектах энергетического комплекса от общего числа пожаров минимальна, последствия от них для территорий и причиненный ущерб для граждан, часто носят глобальный характер. Принятие превентивных мер, направленных на недопущение пожаров и своевременная ликвидация пожаров на объектах энергетики – главная задача, решаемая в рамках реализации концепции национальной безопасности государства.

Своевременное обнаружение, передача сигнала о пожаре и выполнение работ по его тушению – основа мероприятий по уменьшению тяжести причиненного пожаром материального вреда и количества пострадавших людей, поэтому отказоустойчивость каналов связи и обеспечение гарантированной передачи информации в системе управления частями государственной противопожарной службы играют огромную роль.

Время прохождения информации о пожаре с момента его возникновения до регистрации в субъектовом центре управления в кризисных ситуациях МЧС России может достигать 15 минут. С учётом того, что прибытие сил и средств МЧС России в городе не превышает 10 минут (в сельских населенных

пунктах до 20 минут), время свободного развития пожара может достигать 20 минут, а среднее время тушения до 50 минут.

При свободном развитии пожара его мощность значительно возрастает уже через 20 минут после возникновения. Как следствие, материальный ущерб и негативные последствия от пожара возрастают в геометрической прогрессии, и, что самое главное, потеря времени может привести к гибели людей (рисунок 1).

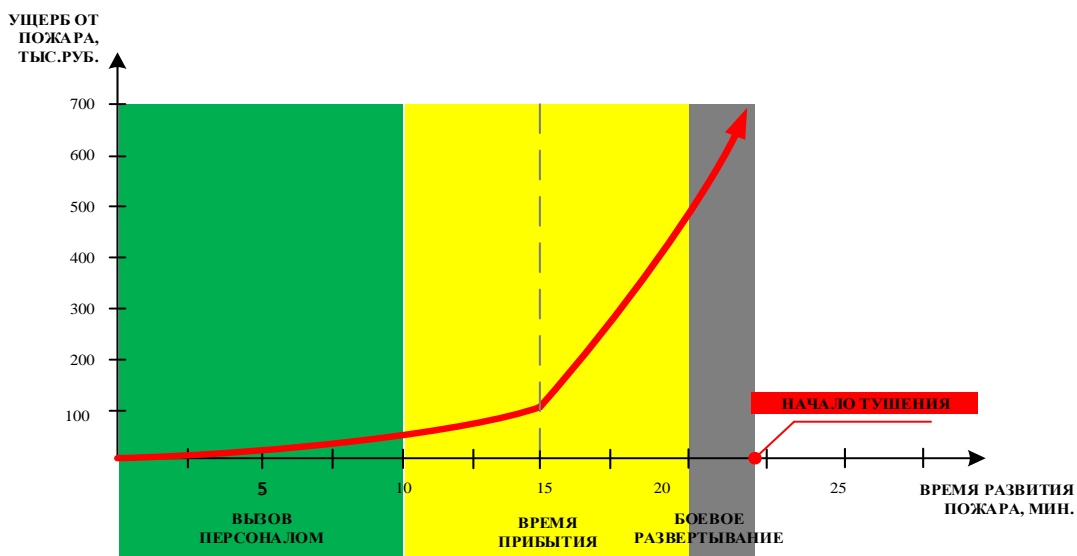


Рисунок 1 – Зависимость объёмов ущерба от пожара от времени свободного развития пожара

Всё ещё существует тенденция к увеличению среднего времени прибытия пожарно-спасательных формирований на место возгорания. Совершенствование алгоритмов работы систем обнаружения возгорания и обеспечение их бесперебойной работы оказывает положительное влияние на повышение уровня противопожарной защиты объектов энергетического комплекса. Основным преимуществом комплексных систем мониторинга пожарной безопасности объектов энергетического комплекса является применение алгоритмов проактивного сканирования объектов на предмет возникновения возгорания.

Внедрение систем мониторинга пожарной безопасности, с возможностью трансляции сигнала о пожаре на пульт диспетчера ближайшей пожарно-спасательной части (ПСЧ) и диспетчеру дежурной смены центра управления в кризисных ситуациях МЧС России по субъекту Российской Федерации, а также в Главное управление «Национальный центр управления в кризисных ситуациях МЧС России» (ГУ НЦУКС) позволит сократить среднее время прохождения сигнала о пожаре на 10 минут, тем самым сократить время свободного развития пожара. Это позволит руководству МЧС России контролировать процесс развития событий с момента получения тревожных сообщений о пожарах и чрезвычайных ситуациях (ЧС), а также позволит своевременно принимать управленческие решения по их ликвидации.

**Степень разработанности темы исследования.** Вопросами обеспечения безопасности объектов энергетического комплекса занимались многие ученые и специалисты. Наиболее фундаментальными работами в этой области исследования являются научные труды Н.Н. Брушлинского, Ю.Л. Воробьёва, И.А. Болодяна, Т.Г. Габричидзе, В.А. Акимова, Mark-Andre, Link M., Chen Xing, Frieder K. и др. В работах подробно анализируются опасности, характерные для данных объектов, исследуются риски возможных аварий и катастроф.

Большой вклад в решение вопроса по обеспечению пожарной безопасности объектов энергетического комплекса внесли учёные Академии ГПС МЧС России: И.Ф. Кимстач, А.К.Микеев, М.Д. Безбородько, В.М. Максимчук, М.В. Алешков, Ю.А. Кошмаров, А.В. Федоров, С.В. Пузач, А.Н. Членов, В.И. Зыков, Ю.А. Поляков и др.

Среди крупных международных организаций, в компетенцию которых входят вопросы обеспечения безопасного функционирования атомной энергетики, можно выделить Международное агентство по атомной энергии (далее – МАГАТЭ, от англ. International Atomic Energy Agency, IAEA). Члены МАГАТЭ в рамках деятельности по осваиванию науки и технологий ядерной индустрии могут рассчитывать на помощь в форме проведения экспертизы, подготовки специализированных кадров и учений, основанных на международном опыте.

Из представителей зарубежных стран, являющихся экспертами МАГАТЭ и посвятивших жизнь решению вопросов обеспечения безопасности функционирования объектов атомной энергетики, можно выделить P. Contri (IAEA), A.P. Haighton (British Energy Generation Ltd), M. Kaercher (Electricite de France), R. Lojk (Canada), E. Mailler (Association Vincotte Nuclear, Belgium), H. Tezuka (IAEA).

Отечественными учёными, как и их коллегами по всему миру, проведена огромная работа в области защиты объектов энергетического комплекса от пожаров, но вместе с тем вопрос передачи сигнала о пожаре на начальном этапе его возникновения и контроль за выполнением мероприятий по его тушению на Федеральном уровне с момента обнаружения пожара остаётся открытым.

На сегодняшний день нет научного обоснования процесса передачи достоверной информации в ГУ НЦУКС непосредственно с объекта защиты (объекта энергетики), который бы позволял координировать деятельность пожарно-спасательных бригад, проводить своевременный комплекс мер по эвакуации людей, агрегирование информации и реализацию операций технологического характера на ранней стадии развития пожара. Необходимо более глубокое исследование указанного вопроса, подкрепление полученных знаний практическими разработками, с перспективой внедрения результатов работы на объектах энергетического комплекса.

Таким образом, **целью работы является** разработка новых научно-обоснованных подходов и технических решений для создания программно-аппаратного комплекса проактивного мониторинга пожарной безопасности объектов энергетики и создание развернутой карты объектов энергетического комплекса в масштабах Российской Федерации для осуществления постоянного контроля их пожарной безопасности на Федеральном уровне.

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

- проанализировать статистику о пожарах на объектах энергетического комплекса с целью количественной оценки отказоустойчивости пожарной сигнализации;
- проанализировать работу ведомственной цифровой сети связи с интеграцией услуг МЧС России (ВЦСС) с целью оценки возможности её использования для передачи информации о пожарах и ЧС на объектах энергетического комплекса;
- разработать принципы построения программно-аппаратного комплекса беспроводного мониторинга пожарной безопасности объектов энергетики, а также модель приема и передачи тревожных сообщений о пожарах и ЧС;
- предложить беспроводную систему оповещения и поиска людей на объектах энергетического комплекса для обеспечения персонализированного обнаружения и эвакуации технического персонала в безопасную зону в случае возникновения пожаров и ЧС;
- построить математическую модель функционирования беспроводной системы оповещения и поиска людей на объектах энергетического комплекса;
- сформулировать технико-эксплуатационные требования к комплексной системе пожарного мониторинга (КСПМ) объектов защиты и предложить обобщённый критерий количественной оценки её функционирования с целью построения развёрнутой системы мониторинга объектов энергетического комплекса на территории Российской Федерации;
- провести расчёт экономической эффективности от внедрения предложенной беспроводной системы оповещения и поиска людей на объектах энергетического комплекса.

**Объект исследования** – беспроводные системы мониторинга обеспечения пожарной безопасности объектов энергетического комплекса.

**Предмет исследования** – программно-аппаратный комплекс мониторинга пожарной безопасности объектов энергетики и создание КСПМ для осуществления постоянного контроля их безопасности из ГУ НЦУКС.

**Научная новизна** работы заключается в следующем:

1. Исследованы потоки информации в каналах ВЦСС, обоснованы основные закономерности, присущие для этих потоков.
2. Разработан новый подход к моделированию КСПМ объектов энергетики, на основе модифицированных соотношений Джейсуола построена математическая модель функционирования системы пожарного мониторинга и научно обоснованы положения её применения.
3. Впервые разработан комплексный критерий количественной оценки функционирования беспроводных систем пожарного мониторинга объектов энергетики.
4. Предложены научно-обоснованные принципы построения КСПМ объектов энергетического комплекса, на основе которых созданы научно-методологические и организационно-технические основы моделирования системы, определены основные принципы и методы её построения.

Совокупность перечисленных результатов является единым комплексом методологических положений, математических моделей, методик и алгоритмов, позволяющих осуществлять анализ, определять приоритеты развития и проводить синтез структуры построения КСПМ объектов энергетического комплекса.

**Теоретическая значимость работы** заключается в:

- возможности применения математических моделей для оценки надежности (вероятности работы без отказов) КСПМ на объектах энергетики в количественном выражении;
- разработке комплексного (многопараметрического) критерия для оценки работы систем пожарного мониторинга на объектах энергетического комплекса с научным обоснованием интеграции таких систем на объектах защиты.

**Практическая значимость.** Практическое применение разработанных моделей с целью определения вероятности возникновения отказов в работе КСПМ при передаче тревожных сообщений от защищаемого объекта энергетики по радиоканалу диспетчеру ПСЧ и в центр управления в кризисных ситуациях МЧС России по субъекту Российской Федерации, а также в ГУ НЦУКС с использованием ВЦСС, позволяет обеспечить своевременное получение дежурным службами сигнала о возникновении пожара без участия технического персонала объекта энергетики. Разработанные технико-эксплуатационные требования к КСПМ на объектах энергетического комплекса могут использоваться при развитии информационных систем в интересах МЧС России.

Научно-обоснованная методика моделирования, проектирования и построения КСПМ объектов энергетического комплекса, позволяет повысить показатель оперативности при принятии управленческих решений на Федеральном уровне и снизить материальные потери от пожаров за счёт сокращения времени реагирования пожарно-спасательных подразделений. Гибкие подходы к построению системы открывают перспективы для дальнейшего развития компонентов системы в соответствии с требованиями МЧС России. Построенная развернутая сеть КСПМ имеет огромный потенциал по подключению новых объектов защиты.

**Методология и методы исследования.**

Решение поставленных задач проводилось путём теоретических и экспериментальных исследований. Основу исследований составляют методы математической статистики и экспертных оценок, теории массового обслуживания и математического моделирования с применением ЭВМ.

**Положения, выносимые на защиту:**

- результаты, полученные в ходе анализа статистических данных о пожарах на объектах энергетического комплекса и количественной оценки надежности применяемых на этих объектах систем раннего обнаружения пожаров;
- результаты оценки безотказной работы проводных и беспроводных систем пожарного мониторинга на объектах энергетического комплекса;
- беспроводная система оповещения и поиска технического персонала на объектах энергетического комплекса;

- функционально – технологические модели взаимодействия элементов КСПМ в ведомственной цифровой сети связи МЧС России;
- организационная структура КСПМ объектов энергетического комплекса, интегрированной в ведомственную цифровую сеть связи МЧС России;
- технико-эксплуатационные требования к КСПМ объектов энергетического комплекса, интегрированной в ведомственную цифровую сеть связи МЧС России, и комплексный критерий оценки её функционирования.

**Степень достоверности полученных результатов и выводов,** сформулированных в диссертации, подтверждается аналитическими методами математического моделирования, теории массового обслуживания и математической статистики; экспериментальными исследованиями; использованием современных поверенных измерительных приборов и измерительной аппаратуры; внутренней непротиворечивостью результатов и их согласованностью с данными других исследователей; удовлетворительной сходимостью экспериментальных и теоретических данных.

**Апробация результатов исследования.** Основные положения диссертационной работы докладывались и получили одобрение на: V Международной научно-практической конференции молодых ученых и специалистов «Проблемы техносферной безопасности – 2016» (г. Москва, Академия ГПС МЧС России, 2016); Международной конференции Курганской Государственной сельскохозяйственной Академии им. Т.С. Мальцева. (г. Курган, 2016); VIII Международной научно-практической конференции молодых учёных и специалистов «Проблемы техносферной безопасности – 2019» (г. Москва, Академия ГПС МЧС России, 2019); III Международной научно-практической конференции «Безопасность жизнедеятельности проблемы и решения – 2019» (г. Курган, 2019); VII Международной научно-практической конференции «Безопасность жизнедеятельности в третьем тысячелетии» (г. Челябинск, Южно-Уральский государственный университет, 2019); Всероссийской научно–практической конференции Курганской Государственной сельскохозяйственной Академии им. Т.С. Мальцева (г. Курган, 2019).

**Материалы диссертационной работы использованы при:**

- разработке «Руководства по радиосвязи Министерства Российской Федерации по делам гражданской обороны, чрезвычайным ситуациям и ликвидации последствий стихийных бедствий», утверждённого приказом МЧС России от 26.12.2018 № 633;

- подготовке технического задания «Создание, развитие и внедрение информационных систем для предоставления физическим лицам, субъектам малого и среднего предпринимательства, индивидуальным предпринимателям государственных услуг в электронной форме, а также для обработки и мониторинга данных по поднадзорным объектам в области пожарной безопасности и безопасности людей на водных объектах», в рамках реализации федерального проекта «Цифровое государственное управление» национальной программы «Цифровая экономика Российской Федерации»;



- изучении дисциплины «АСУ и связь» при чтении курса лекций по теме №4 «Организация связи в подразделениях ГПС МЧС России»;
- выполнении курсового проекта «Разработка системы связи и автоматизированной системы оперативного управления пожарно-спасательного гарнизона»;
- разработке технического задания на поставку персональных электронных карт для военнослужащих МЧС России;
- выборе оптимальной системы беспроводного мониторинга пожарной безопасности для филиала «Шатурской ГРЭС» ПАО «ЮНИПРО».

**Публикации.** По теме диссертационной работы опубликовано 10 научных работ, в том числе 4 – в рецензируемых научных изданиях, входящих в Перечень изданий, рекомендованных ВАК для публикации научных результатов диссертаций.

**Структура и объем работы.** Диссертационная работа состоит из введения, трёх глав, заключения, списка литературы и приложения. Содержание работы изложено на 137 страницах текста, включает в себя 16 таблиц, 37 рисунков, список литературы из 123 наименований и приложения.

## **ОСНОВНОЕ СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ**

Во введении обоснована актуальность темы диссертации, сформулированы цель и задачи исследования, определен объект и предмет исследования, изложена научная новизна и практическая значимость полученных результатов, приведены основные положения, выносимые на защиту.

**В первой главе** проведен анализ состояния вопроса, обоснование цели и задач исследования. Изложены теоретические аспекты и проведены исследования в части анализа статистических данных по пожарам и оценки надёжности систем пожарной сигнализации на производственных объектах.

Большая угроза для жизни и здоровья персонала на объектах энергетического комплекса возникает при горении полимерных материалов, горючих смесей и топлива, в результате чего выделяется большое количество дыма, а распространение пожара на большие площади происходит очень быстро. Часто это связано с несвоевременной передачей сигнала о пожаре на пульт пожарной охраны и большим количеством горючих материалов, что, в свою очередь, влияет на общую продолжительность ликвидации пожара, требует больших материальных затрат и привлечение большого количества сил и средств.

Пожары в кабельных тоннелях, коллекторах, трансформаторных подстанциях и электростанциях сопровождаются высокими температурами. Температура может достигать 900°С. Под воздействием токовой нагрузки электрические кабели подвергаются нагреванию изнутри до температуры 100°С. Возможны случаи, когда из-за большой токовой нагрузки на кабель и нагревании изоляции до температур, близких к температуре самовоспламенения, возгорание кабеля может произойти в нескольких местах и на протяжении всей его длины.

Оперативная обстановка при пожарах на объектах энергетики характеризуется сложностью определения места возникновения пожара вследствие плотного задымления, большой протяженности сооружений и спецификой проектирования, необходимостью подавать огнетушащие средства на большие расстояния и прочими особенностями.

Проведя анализ причин возгорания на объектах энергетического комплекса, можно сделать вывод об основных причинах их возникновения:

- неработоспособность оборудования;
- пренебрежение требованиями безопасности при проведении работ, с высокой степенью пожарной опасности;
- халатное отношение руководящего состава и персонала объекта к выполнению обязанностей, связанных с обеспечением пожарной безопасности;
- недостаточный контроль над подрядчиками инженерно-техническим персоналом объекта.

Причины возникновения пожара и условия его распространения во многом определяют последствия после него. Статистика показывает, что позднее сообщение о возгорании на объекте в 45 % случаев привело к быстрому распространению огня. Практически на всех объектах энергетического комплекса происшествия сопровождаются травмами людей и (или) их гибелью, поэтому на таких объектах необходимо устанавливать системы пожарной сигнализации, оповещения и организации эвакуации людей.

Одной из основных параметрических характеристик функционирования систем обнаружения пожара является надёжность, количественный показатель которой выражается вероятностью безотказной работы системы и зависит от параметра потока отказов электрических устройств.

Обеспечение противопожарной защиты объектов энергетики напрямую связано с модернизацией систем раннего обнаружения пожаров и обеспечением их бесперебойного функционирования. Одним из направлений обнаружения пожаров на объектах энергетики является применение комплексных систем пожарного мониторинга объектов энергетики (КСПМ), которые обеспечивают своевременное обнаружение загорания и передачи сигнала тревоги непосредственно в ПСЧ и в ГУ НЦУКС.

Создание КСПМ на объектах энергетики с возможностью автоматической передачи сигнала о загорании в ПСЧ муниципального образования и в ГУ НЦУКС позволило значительно сократить время сообщения о пожаре и тем самым уменьшить время свободного развития пожара. Помимо этого, КСПМ позволяет осуществлять контроль за развитием пожара на конкретном объекте энергетики на Федеральном уровне с первых минут поступления информации о происшествии.

Применение КСПМ объектов энергетики способствуют ограничению развития пожара, что исключает возможность больших материальных потерь и, главное, предотвращает гибель людей.

**Во второй главе** представлены результаты экспериментальных и теоретических исследований работы программно-аппаратного комплекса

беспроводного мониторинга пожарной безопасности объектов энергетики в системе цифровой сети связи с интеграцией услуг МЧС России и разработана функционально-технологическая модель её функционирования.

КСПМ объектов энергетического комплекса – это транспортная инфраструктура, включающая в себя объекты МЧС России. Она включает в себя каналы связи МЧС России, сетевое оборудование и средства обеспечения безопасности информации. КСПМ построена по ячеистой топологии с центрами в г. Москве (основным и резервным). Объекты защиты субъекта объединены в единый региональный сегмент МЧС России. Сетевой узел – Главное управление МЧС России по субъекту Российской Федерации. Управление и мониторинг работоспособностью цифровой сети связи МЧС России осуществляется ФГКУ «Рузский центр обеспечения пунктов управления МЧС России».

Построение программно-аппаратного комплекса беспроводного мониторинга пожарной безопасности объектов энергетики основано на следующих принципах:

- обеспечение централизованного управления АУПС;
- обеспечение полноты, актуальности и своевременности предоставляемой информации о состоянии АУПС на объектах энергетического комплекса;
- обеспечение надежного хранения поступающей и обрабатываемой информации;
- обеспечение доступа к хранимой информации ОДС ЦУКС и руководства МЧС России;
- возможность обработки и анализа массива регистрируемых событий для определения причин сбоев и возникающих проблем;
- максимальное использование существующей информационной инфраструктуры.

Для удобства ОДС МЧС России, состояние объектов наблюдения на карте представлено в виде пиктограмм. Все события, происходящие в системе мониторинга, имеют градацию по уровню важности (критичности). Цвет пиктограммы отражает статус объекта, он соответствует уровню важности (критичности):

- **критичный (красный)** – пожар, задымление, парообразование, резкое повышение температуры;
- **важный (оранжевый)** – отсутствие связи с АУПС и пожаротушения на объекте энергетического комплекса, пропадание питания;
- **информационный (голубой)** – необходимость проведения ТО, ремонта или регламентных работ АУПС.

Поступающее оператору, ответственному за объект, сообщение содержит полную информацию о происшествии на объекте наблюдения. Сообщение несет в себе информацию об изменении статуса аппаратной части, либо выход параметров аппаратуры за заданные интервалы нормальной работы.

Зона покрытия систем сотовой связи достаточно велика, для определения точного местоположения абонента, используются системы GPS, ГЛОНАС и т.д.

Однако, сотовые сети связи нередко имеют низкий уровень сигнала на объекте в виду наличия большого количества массивных перекрытий и технологических помещений. В системе поиска людей во многоэтажных зданиях объекта энергетики при пожаре или ЧС мобильные устройства сотовых сетей связи не способны дать достоверную информацию о этаже, на котором находится абонент.

В тоже время система, построенная на принципах технологий RFID, включенные в единую сеть связи, этого недостатка лишена. Данная технология позволит повысить качество работы технического персонала объекта защиты, обеспечить своевременное оповещение о внештатных ситуациях, проводить их эвакуацию в безопасную зону при возникновении угрозы жизни, а в случае проведения мероприятий по поиску людей – уменьшить время обнаружения.

Метка принимает энергию, а также обеспечивает обработку сигналов информации и синхронизации, передаваемых считывателем. После анализа и обработки информации, метка транслирует считывателю информацию в виде кода. Считыватель принимает информацию и ретранслирует на сервер обработки информации. Он отвечает за излучение мощности, передачу информации и сигналов синхронизации. Передаваемая информация обеспечивает идентификацию общего пула меток и реализует антиколлизийные алгоритмы, тогда как сигналы синхронизации обеспечивают связность устройств. Основные компоненты системы RFID и схема их совместного функционирования представлена на рисунке 2.

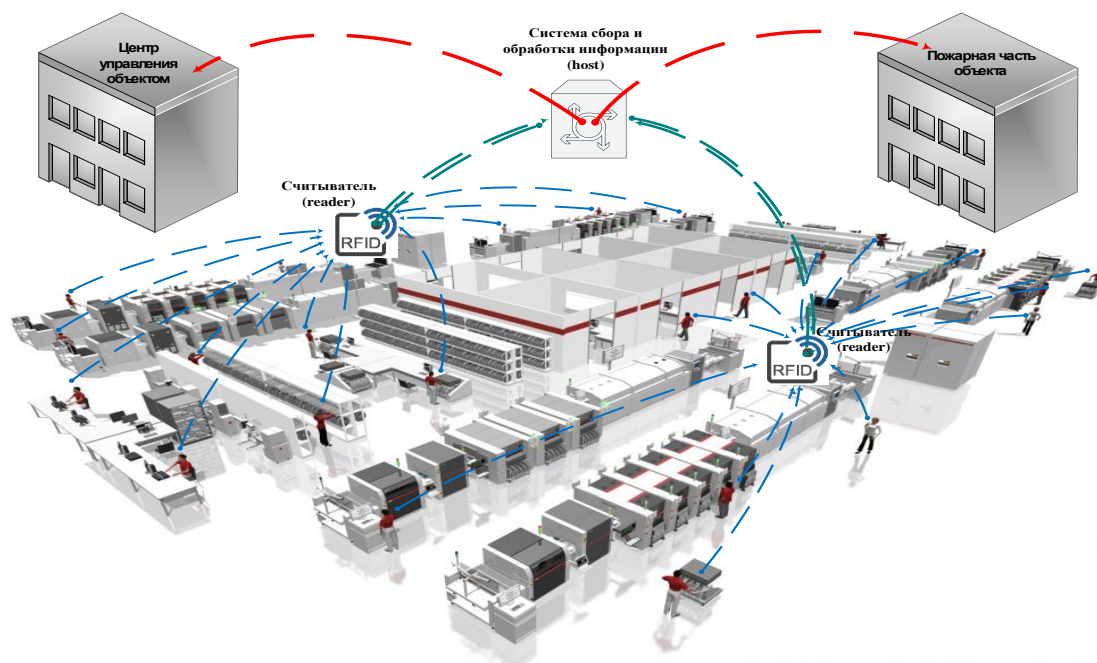


Рисунок 2 – Основные компоненты системы RFID

Классификация чиповых меток осуществляется по типу питания (пассивные, полуактивные, активные) и по возможности хранения информации (считывание, считывание/запись).

С точки зрения рассматриваемых характеристик, активные метки более привлекательны за счёт большей дальности связи и высокой надежности. Однако, они имеют более высокую стоимость из-за наличия источника питания.

В сравнении с пассивными метками полуактивные имеют дальность до нескольких десятков метров, что существенно расширяет возможности их применения, но и приводит к повышению стоимости. Требование к считыванию одновременно нескольких меток (зачастую близко друг от друга), расположенных в зоне покрытия считывателя, может приводить к коллизии сигналов, и накладывает необходимость наделения меток интеллектом.

К основным компонентам системы относятся:

- система сбора информации (host);
- считыватель (reader);
- метки (tag);
- канал распространения, посредством которого взаимодействуют считыватель и метки (channel).

В процессе рассмотрения того, как осуществляется функционирование RFID-меток, необходимо контролировать уровень мощности, воспринимаемой антенной, входящей в состав такой метки. Определённый уровень данной мощности RFID-метка поглощает. Что касается оставшейся мощности, то она отражается RFID-меткой в окружающее пространство. Чтобы более подробно охарактеризовать процессы поглощения и отражения, требуется определить, какой является мощность в RFID-метке, генерируемая благодаря работе считывателя. Кроме того, имеется необходимость в том, чтобы провести расчёт уровня мощности сигнала, попадающего в нагрузку RFID-метки.

Таким образом, чтобы RFID-сети проектировались с надлежащим качеством и могли работать с выполнением всех установленных для них требований, необходимо учитывать их модуляционную, а также энергетическую дальность действия. Системы, в состав которых включаются метки полуактивного типа, существенно превосходят по дальности действия системы, где метки являются пассивными. Применение двух уравнений – «энергетического» и «модуляционного» для выявления радиочастотной идентификации – это основа для создания RFID-систем, имеющих разные (по типу) метки, пригодные для эксплуатации в отличающихся условиях. Реализация функций автоматического мониторинга меток, а также применение распределенных баз данных, позволяет обеспечить высокое качество координации деятельности персонала, находящегося внутри защищаемого объекта. Всё это положительно сказывается на качестве технологической и производственной деятельности, реализуемой в пределах подобных объектов.

На рисунке 3 представлен алгоритм, в соответствии с которым функционирует система RFID-сети, обеспечивающая возможность отслеживания местонахождения людей в пределах какого-либо объекта энергетики. Алгоритм функционирования RFID-сети учитывает особенности работы маршрутов, предусматриваемых для эвакуации технического персонала, находящегося внутри объектов энергетики. Сигналы, полученные от меток,

подлежат дополнительному контролю (для этого применяется видеонаблюдение), что позволяет точно отделить тревожные сообщения от ложных сигналов.

Существует несколько функций, которые реализуются благодаря работе систем контроля доступа и оповещения на объектах, относящихся к энергетической инфраструктуре. Во-первых, это совершенствование качества технологической и производственной деятельности, реализуемой на объектах. Во-вторых, это обеспечение понимания того, где именно располагается персонал в момент начала развития пожара или ЧС, что значительно сократит время на его эвакуацию в безопасную зону.

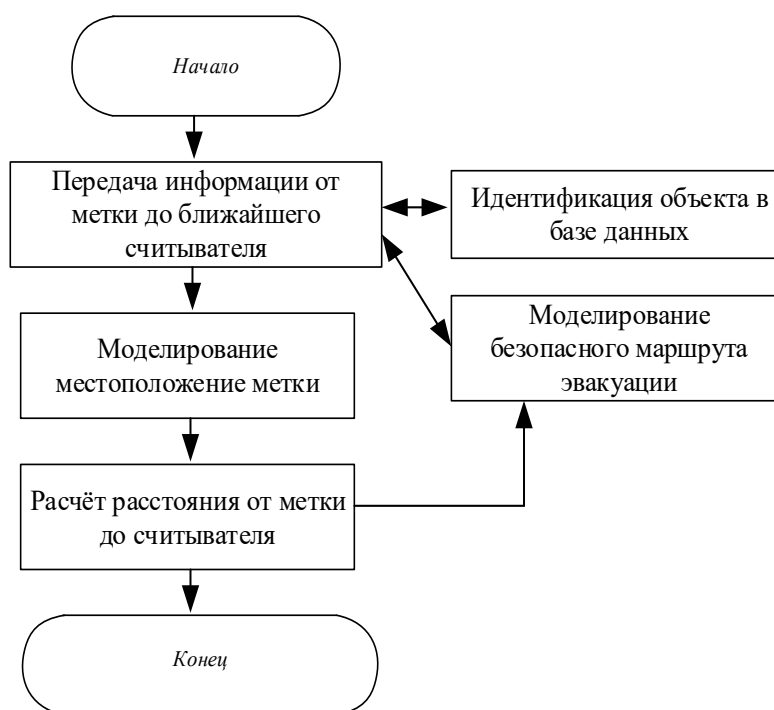


Рисунок 3 – Алгоритм определения местонахождения технического персонала на объекте энергетики

На базе программно-аппаратного комплекса, входящего в состав КСПМ, может быть развернута система управления и контроля за пожарной безопасностью объектов энергетики федерального масштаба. Дальнейшее развитие КСПМ, в соответствии с потребностями МЧС России, обеспечит сокращение времени реагирования пожарно-спасательных подразделений, сохранность инфраструктуры объектов энергетики, а также рациональное использование сил и средств.

**В третьей главе** разработана математическая модель функционирования КСПМ на объектах энергетики. Проведены экспериментальные исследования для подтверждения расчётных характеристик функционирования ВЦСС МЧС России.

Чтобы осуществить математическое моделирование процесса функционирования связанных сетей, следует воспользоваться большим статистическим массивом. Он предоставляет все, что нужно для определения особенностей распределения информационных потоков (в частности, сведения, необходимые для определения числа заявок, а также для расчёта временных интервалов,

отделяющих одну заявку от другой). Понимание того, в соответствии с какими законами распределяются потоки сообщений о пожарах и ЧС, дает возможность однозначно идентифицировать все нужные вероятностные параметры случайного процесса, реализуемого в рамках КСПМ. Кроме того, это требуется для понимания того, какой окажется нагрузка на входе КСПМ. Что касается вероятностных параметров информационных потоков, то они необходимы для нахождения способов совершенствования качества работы систем связи.

Изучение потоков сообщений, передаваемых по сети связи, даёт возможность сделать следующий вывод: временные промежутки, между поступающими сообщениями, являются случайными. Соответственно, определять особенности работы системы связи необходимо посредством аппарата теории массового обслуживания (СМО) с использованием модифицированных соотношений Джейсуола. Особенность метода Джейсуола заключается в том, чтобы процесс обслуживания заявок исследовать попеременно (сначала в тот момент, когда СМО занята обслуживанием поступающих заявок, а затем – когда занятость в СМО отсутствует). На стадии занятости системы обслуживанием заявок для характеристики процесса вводятся дополнительные переменные. А впоследствии, для описания особенностей исходного процесса применяются показатели, описывающие состояние процесса в СМО на стадиях незанятости и занятости.

Математическую модель можно описать при помощи одноканальной СМО, для нее характерны источник заявок, которые ранжируются по приоритету, время ожидания, закон распределения Эрланга, характеризующий продолжительность обслуживания. В рамках рассматриваемой модели канал, обеспечивающий передачу информации, эксплуатируется, чтобы выполнять требования, различные по уровню важности. Чтобы классы требований могли быть отличены друг от друга, всем им присваиваются порядковые номера  $i$  ( $1 \leq i \leq k$ ) в соответствии с имеющимся у нее приоритетом:  $i=1$  важная, а  $i=k$  менее важная.

Математическая модель, разрабатываемая настоящего исследования, имеет следующие особенности. В общем случае каждому каналу связи ставится в соответствие определённое число источников, генерирующих заявки. Эти источники подают заявки разных типов, при этом  $k \geq 2$ . Заявки, которые генерируются  $i$ -ым источником, рассматриваются как заявки  $i$ -го класса. Все заявки начинают обрабатываться после того, как в течение определённого временного промежутка (продолжительность которого является случайной) находятся в источнике.

Временные затраты, возникающие в связи с обработкой заявок, относящихся к классу  $i$  ( $1 \leq i \leq k$ ) – независимые величины, одинаково распределяемые, их плотность равняется  $S(t)$ , сведения об источниках ( $N_1, N_2, \dots, N_i, \dots, N_k$ ).

Теоретические исследования позволили сформировать конечные формулы, характеризующие математическую модель (в свою очередь, описывающую сеть, относящуюся ко второму типу). Для требований с высоким приоритетом использован индекс 1, для меньшего приоритета индекс 2.

Полученное на основе модифицированных соотношений Джейсуола значение вероятности того, что сеть связи находится в свободном состоянии (канал не занят), может быть рассчитана в соответствии с выражением:

$$P_0^{(2)} = \hat{P}_1 \left[ 1 + T_{II} \left\{ N_2 \lambda_2 \sum_{e=0}^{N_2-1} \binom{N_2-1}{e} \frac{1}{\Phi(e)} + N_1 \lambda_1 \sum_{e=1}^{N_2} \binom{N_2}{e} \frac{(1 - \bar{v}_1(e\lambda_2))}{\Phi(e-1)} \right\} \right]^{-1}, \quad (1)$$

$$\text{где } \Phi(e) = \begin{cases} \prod_{m=1}^e \frac{\bar{f}_2(\lambda_1 + m\lambda_2)}{(1 - (\lambda_1/(\lambda_1 + m\lambda_2)))\bar{f}_1(m\lambda_2)[1 - \bar{f}_2(\lambda_1 + m\lambda_2)]} & \text{при } e \neq 0 \\ 1 & \text{при } e = 0 \end{cases},$$

где  $e$  – последовательность, сформированная целыми числами;  $\bar{v}$  – средняя продолжительность временного интервала, в течение которого осуществляется выполнение требований с высоким приоритетом;  $\hat{P}_1$  – вероятность события, при котором во временной момент  $t$  система находится в свободном состоянии.

$$\hat{P}_1 = \left[ 1 + N_1 \lambda_1 T_{II1} \sum_{e=0}^{N_1-1} \binom{N_1-1}{e} \left( \frac{1}{\Phi(e)} \right) \right]^{-1}, \quad (2)$$

где  $T_{II1}$  – временной интервал, в течение которого осуществляется обслуживание заявки с высоким приоритетом.

С помощью выражений (1) и (2) рассчитана средняя величина поступающих на обслуживание заявок, имеющих высокий, а также низкий приоритеты, одновременно вводимых в систему:

$$E(M_1) = N_1 - [(1/\lambda_1 T_{II1})(1 - P_1)],$$

$$E(M_2) = N_2 - [(1/\lambda_2 T_{II2})(P_1 - P_0^{(2)})].$$

Продолжительность временного периода, в течение которого система характеризуется отсутствием заявок с высоким приоритетом, рассчитывается следующим образом:

$$t_{\text{ож1}} = \left[ \frac{N_1 \lambda_1 T_{n1}}{N_1 \lambda_1 T_{n1} + \delta} \right] \left[ (N_1 - 1) T_{n1} - \frac{1 - \delta}{\lambda_1} + \frac{E(C_2)^2}{2T_{n1}} \right], \quad (3)$$

$$\text{где } \delta = \left[ \sum_{e=0}^{N_1-1} \binom{N_1-1}{e} \left( \frac{1}{\Phi(e)} \right) \right]^{-1}, \quad E(C_2)^2 - \text{средние временные затраты,}$$

возникающие в связи с обработкой требований с низким приоритетом;  $C_2$  – вероятность того, что в момент времени  $t$  в системе будет отсутствовать требование с низким приоритетом.

Продолжительность временного периода, в течение которого система характеризуется отсутствием заявок с низким приоритетом, рассчитывается следующим образом:

$$t_{\text{ож2}} = (1 - P_0^{(2)}) \left[ (N_2 - 1) E(c_2) + \frac{E(c_2)^2}{2E(c_2)} - \frac{1}{\lambda_2} \right] + N_2 E(c_2) P_0^{(2)} \left[ 1 + \frac{\lambda_1 (1 - \bar{v}_1(\lambda_2))}{\lambda_2} \right], \quad (4)$$

где  $P_0^{(2)}$  рассчитывается в соответствии с формулой (1).



Таким образом, система, классифицирующая заявки, попадающие в КСПМ, с учётом выставленного для них приоритета, позволила разработать математическую модель для исследуемой сети связи. Математическая модель способна применяться для определения функционирования сети связи при разных соотношениях объёмов требований и приоритетов.

Математическая модель, разработанная на основе модифицированных соотношений Джейсуола, характеризуется преимуществом, для применения в сфере изучения особенностей передачи сообщений с автоматических установок пожарной сигнализации на объектах защиты. Временной интервал, в течение которого реализуется информационный обмен, определяется срабатыванием датчиков на объекте; тем, сколько времени требуется для того, чтобы сигнал был передан на пульт управления; тем, сколько нужно времени, чтобы сигнал об инциденте был передан ОДС ЦУКС. Таким образом, чтобы определить, насколько эффективно функционирует транспортная сеть, может быть применен специальный параметр – эффективность функционирования сети связи.

В данном случае для определения эффективности функционирования транслирующей информацию системы следует воспользоваться выражением ниже:

$$E = \sum_{i=0}^n P_i \left( \frac{T_{\Pi i}}{T_{\Pi i} + T_{ож i}} \right),$$

где  $T_{ож i}$  – непроизводительные временные потери;  $P_i$  – максимальная вероятность того, что сеть окажется в состоянии  $i$ .

Если сделать предположение, в соответствии с которым процесс передачи информации характеризуется как максимально надёжный, то выражение для определения эффективности функционирования сети связи приобретает следующий вид:

$$E = P_0 + P_1 + \left( \frac{\bar{T}_{\Pi}}{\bar{T}_{\Pi} + \bar{t}_{ож}} \right) \cdot \sum_{i=2}^n P_i,$$

где  $P_0$  – максимальная вероятность, при которой канал для передачи сообщений является незанятым;  $P_1$  – максимальная вероятность, при котором канал для передачи сообщений является занятым, но при этом сформировавшаяся очередь отсутствует (есть одна заявка в обработке);  $\bar{T}_{\Pi}$  – среднее значение (математическое ожидание) случайной величины времени передачи сообщения;  $\bar{t}_{ож}$  – среднее значение (математическое ожидание) случайной величины времени ожидания.

Применяя нормировочное условие:

$$P_0 + P_1 + \sum_{i=2}^n P_i = 1,$$

Получим:

$$E = P_0 + P_1 + \left[ \frac{\bar{T}_{\Pi} (1 - (P_0 + P_1))}{\bar{T}_{\Pi} + \bar{T}_{ож}} \right]. \quad (5)$$

Оперативность связи в этом случае, определяется выражением:

$$Q = P_0 + P_1. \quad (6)$$

Подставив в (5) и (6) значения  $P_0$ ,  $P_1$  и  $\bar{T}_{ож}$ , получаем выражение для нахождения показателей эффективности функционирования и оперативности связи для сети передачи информации.

Для сети передачи информации с распределением времени обслуживания в соответствии с законом Эрланга 3-го порядка величины  $P_0$ ,  $P_1$  и  $\bar{t}_{ож}$  согласно формулам (1, 2, 3), определяются следующим образом:

$$P_0 = \left[ 1 + N\rho + N\rho \sum_{e=1}^{N-1} \binom{N-1}{e} \prod_{m=1}^e \frac{[(\lambda m + 3\mu)^3 - (3\mu)^3]}{(3\mu)^3} \right]^{-1},$$

$$P_1 = \frac{N}{(N-1)} P_0 \frac{[(\lambda(N-1) + 3\mu)^3 - (3\mu)^3]}{(3\mu)^3}, \quad (7)$$

$$\bar{t}_{ож} = \frac{N}{\mu \left\{ 1 - \left[ 1 + N\rho + N\rho \sum_{e=1}^{N-1} \binom{N-1}{e} \prod_{m=1}^e \frac{(\lambda m + k\mu)^k - (k\mu)^k}{(k\mu)^k} \right]^{-1} \right\}} - \frac{1}{\lambda} - \frac{1}{\mu}.$$

Для сети передачи информации с экспоненциальным законом распределения времени обслуживания (в соответствии с законом Эрланга 1-го порядка) значения  $P_0$ ,  $P_1$  и  $\bar{t}_{ож}$  определяются соответственно из следующих выражений:

$$\Phi(e) = \begin{cases} \frac{1}{\rho^e} \cdot e! & \text{при } e \neq 0; \\ 1 & \text{при } e = 0 \end{cases};$$

$$P_0 = \frac{1}{\left( 1 + N\rho + N\rho \sum_{e=1}^{N-1} \binom{N-1}{e} \rho^e e! \right)};$$

$$P_1 = N\rho P_0.$$

$$t_{ож} = \frac{1 + (N\rho - 1) \sum_{e=0}^{N-1} \binom{N-1}{e} \rho^e e!}{\lambda \sum_{e=0}^{N-1} \binom{N-1}{e} \rho^e e!} - \frac{1}{\mu}.$$

Для расчёта эффективности функционирования, оперативности связи и среднего времени ожидания в сети передачи информации разработан алгоритм.

Эффективность функционирования сети передачи информации, оперативность связи и среднее время ожидания напрямую связаны с интенсивностью входного потока  $\lambda$ , средним временем передачи сообщений  $T_{п}$  и числом источников заявок (объектов)  $N$ .

Расчеты проводились с учётом того, что непроизводительные затраты времени складываются из времени прохождения сигнала через сетевое оборудование и составляет 132 мс для объекта, находящегося в г. Петропавловск–Камчатский (рисунок 4).

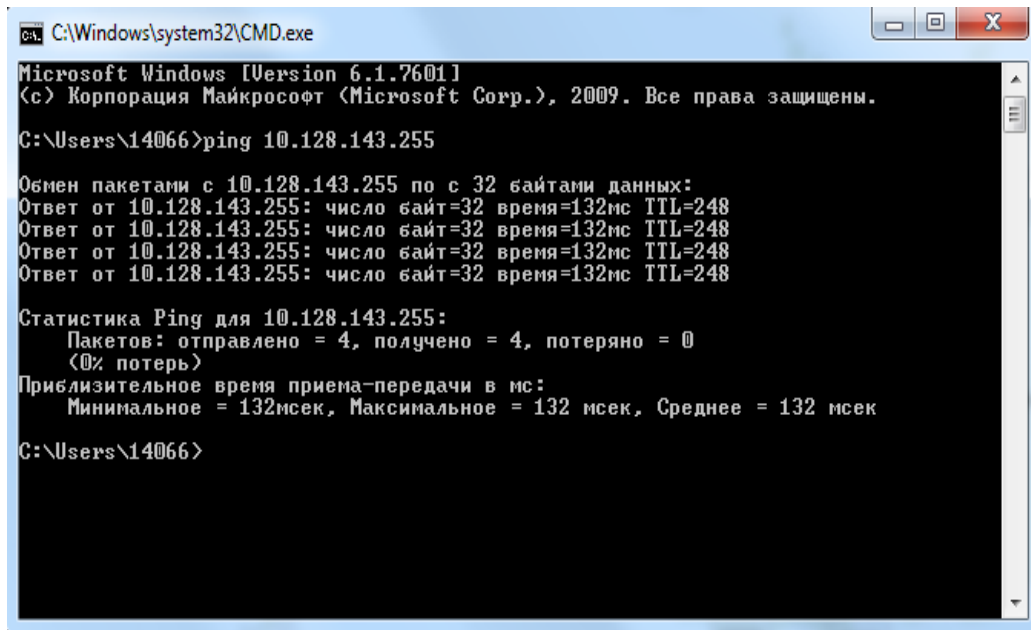


Рисунок 4 – Время передачи сообщения в г. Петропавловск-Камчатский

На рисунке 5 показана зависимость времени ожидания от числа объектов, подключенных к ВЦСС, при разных значениях времени передачи информации  $T_{п}$ .

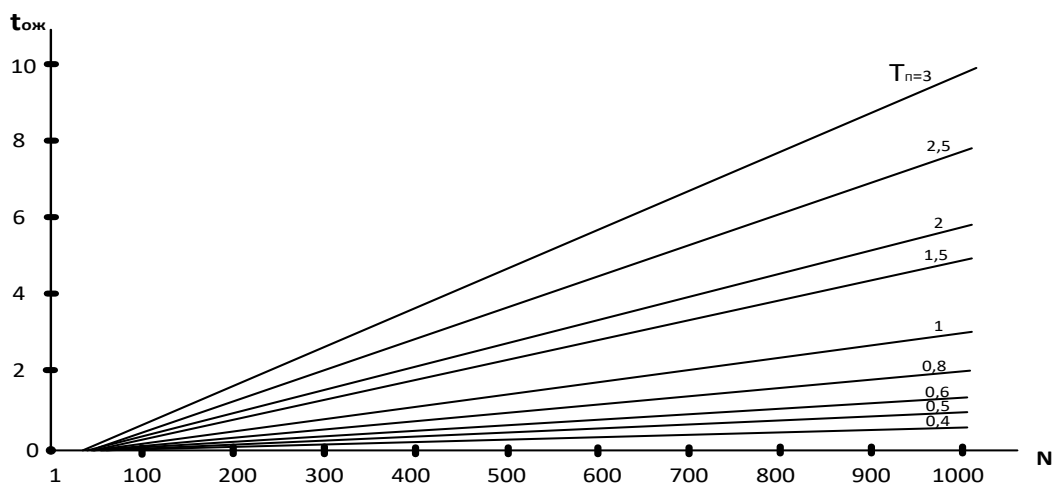


Рисунок 5 – Зависимость среднего времени ожидания от числа объектов  $N$  сети связи для различных значений среднего времени передачи сообщения  $T_{п}$  при интенсивности входного потока  $\lambda = 0,5$  сооб./мин.

Рисунок 6 отражает графические зависимости оперативности связи от числа объектов при различных величинах приведённой нагрузки  $\rho = \lambda T_{п}$ , рисунок 7 – зависимость эффективности функционирования сети связи от числа объектов при  $\lambda = 0,5$  сооб./мин. и различных значениях  $T_{п}$ . Из графиков видно, что эффективность функционирования сети связи с ростом числа объектов уменьшается, так как резко возрастают затраты времени на ожидание освобождения канала связи.

Оперативность связи в большей степени определяется величиной нагрузки в сети и менее от числа объектов в сети связи, в отличие от эффективности функционирования.

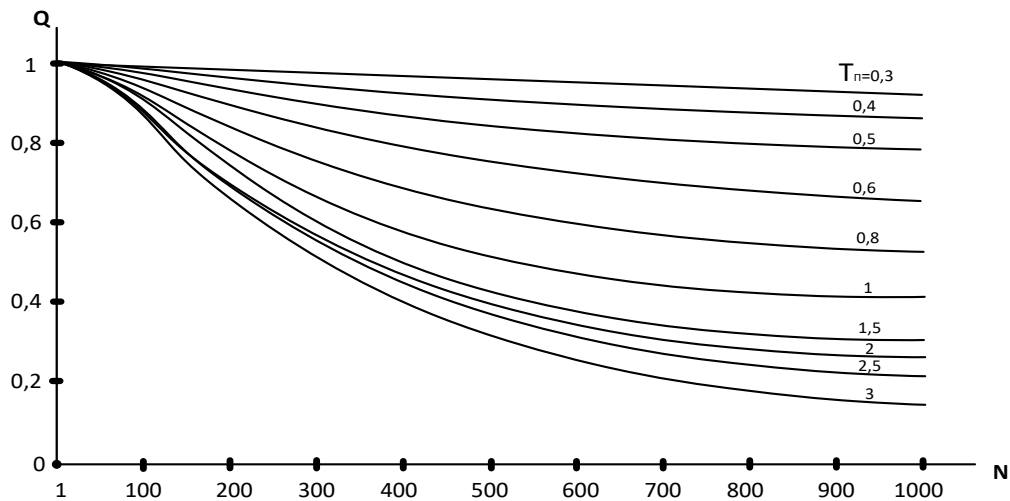


Рисунок 6 – Зависимость оперативности  $Q$  связи от числа объектов  $N$  при различных значениях средней продолжительности передачи сообщения  $T_p$  для интенсивности входного потока  $\lambda = 0,5$  сооб./мин.

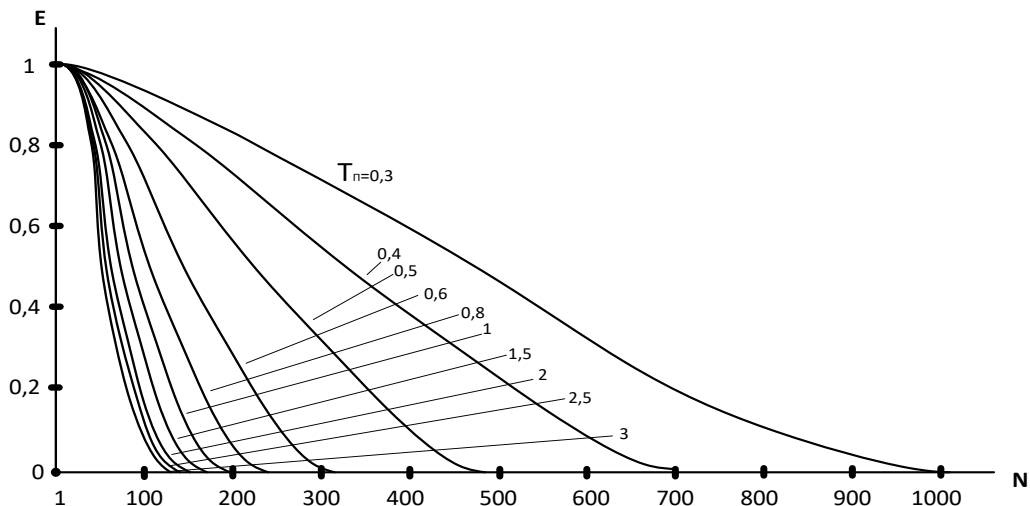


Рисунок 7 – Зависимость эффективности функционирования сети связи  $E$  от числа объектов  $N$  при различных значениях средней продолжительности передачи сообщения  $T_p$  для интенсивности входного потока  $\lambda = 1,0$  сооб./мин.

Опираясь на полученные графики, можно рассчитать:

- оптимальное число объектов, обслуживаемых КСПМ, при определённых значениях эффективности функционирования и оперативности связи;
- допустимое время ожидания при различном числе защищаемых объектов и разном времени передачи и обработки информации;
- параметры, которые позволят получить максимальную эффективность функционирования КСПМ.

Чтобы осуществить корректный выбор в пользу конкретного варианта системы противопожарной сигнализации (из всего многообразия, которое сегодня имеется на рынке таким систем), необходимо пользоваться соответствующей методикой, которая основывается на базе единого комплексного критерия. Данный критерий основан на методе экспертных оценок основных параметрических характеристик, таких как оперативность передачи информации, эффективность сети связи, помехоустойчивость, надёжность (вероятность безотказной работы), площадь обслуживания и экономическая целесообразность.

На основании предложенных и исследуемых в работе параметрических характеристик разработан общий вид многофакторного критерия:

$$L_{okk} = a_1 Q + a_2 E + a_3 H + a_4 P + a_5 C, \quad (8)$$

где  $a_1 \dots a_5$  – весовые коэффициенты показателей качества КСПМ, удовлетворяющие условию  $\sum_{i=1}^5 a_i = 1$  весовые коэффициенты, соответствующие конкретной характеристике качества системы противопожарного назначения;  $Q$  – оперативность связи, обеспечиваемой конкретной системой противопожарного назначения;  $E$  – эффективность связи, обеспечиваемой конкретной системой противопожарного назначения;  $H$  – достоверность связи, обеспечиваемой конкретной системой противопожарного назначения;  $P$  – надёжность, с которой работает система противопожарного назначения;  $C$  – показатель, который характеризует, насколько экономически целесообразно пользоваться той или иной системой.

Согласно представленных методов определения параметрических характеристик, формула (8) принимает следующий вид:

$$L_{okk} = a_1 Q + a_2 E + a_3 H + a_4 \prod_{i=1}^n P_i + a_5 \frac{C_{min}}{C_{сис}}. \quad (9)$$

Для определения весовых коэффициентов каждой из параметрических характеристик в работе проведены исследования с участием экспертов, компетентных в данной области. Эксперты оценивали необходимость использования каждой параметрической характеристики ( $Q, E, H, P, C$ ) в КСПМ на объектах энергетики путем ранжирования и оценки в баллах.

На основании экспертных оценок определены средневзвешенные коэффициенты относительной важности показателей качества, входящие в обобщенный критерий, которые представлены на рисунке 8 в виде графических зависимостей согласованности методов оценки весовых коэффициентов.

Таким образом, обобщенный критерий оценки функционирования КСПМ, с учётом средневзвешенных коэффициентов относительной важности, примет следующий вид:

$$L_{okk} = 0,215Q + 0,145E + 0,21H + 0,25 \prod_{i=1}^n P_i + 0,18 \frac{C_{min}}{C_{сис}}. \quad (10)$$

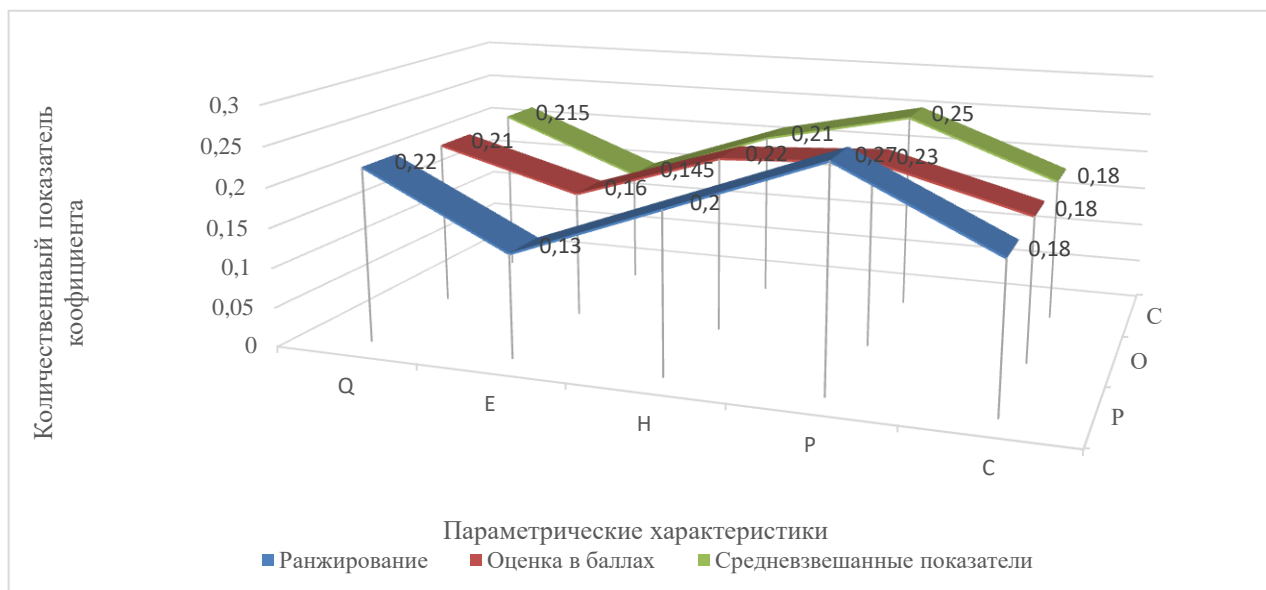


Рисунок 8 – Графические зависимости согласованности методов оценки весовых коэффициентов

Выражение (10) принято в качестве обобщённого критерия для количественной оценки функционирования КСПМ. Данная комплексная оценка позволяет проводить выбор оптимальной КСПМ для объектов энергетики при замене действующей системы. Расчёт экономической эффективности применения КСПМ показал, что потери от пожара могут быть уменьшены в 2,72 раза по сравнению с системами, у которых отсутствует функционал, позволяющий в автоматическом режиме передавать информацию на пульт диспетчера ПСЧ, с указанием места возгорания и количества людей в зоне возникновения пожара.

Таким образом, построенная математическая модель КСПМ объектов энергетического комплекса открывает перспективы в части проведения прогнозов её дальнейшей работы, позволяет получить расчётные значения вероятности безотказной работы в зависимости от нагрузки в системе и числа объектов защиты.

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

1. Проведен анализ статистических данных о пожарах на производственных объектах и выполнена количественная оценка надежности пожарной сигнализации на объектах энергетического комплекса. Определено минимальное значение параметра надежности установок пожарной сигнализации на объектах энергетики, которое составляет величину 0,78, а среднее значение – 0,81.

2. Создана оптимальная модель приема тревожных сообщений о пожарах и ЧС на объектах энергетического комплекса и установлены уровни критичности: (критичный, важный и информационный) для градации тревожных сообщений по степени важности, что позволяет утверждать о пригодности использования цифровой сети связи МЧС России для передачи тревожных сообщений о пожарах и ЧС с объектов защиты.

3. Разработаны принципы построения программно-аппаратного комплекса беспроводной системы пожарного мониторинга и его архитектуры, а также предложены основные технические решения, отображающие статус самих объектов энергетики у диспетчера ЦУКС в соответствии с уровнем значимости сообщений о пожарах и ЧС, возникающих на этих объектах.

4. Впервые разработана беспроводная система оповещения и поиска людей в помещениях объектов энергетики с использованием RFID-меток для обеспечения контроля доступа, персонализированного обнаружения технического персонала объекта, формирования маршрута движения и последующей эвакуации в безопасную зону.

5. На основе результатов анализа информационных потоков в каналах цифровой сети связи, где время приёма поступающих сообщений о пожарах и ЧС описывается распределением Эрланга 3-го порядка, и модифицированных соотношений Джейсуола построена математическая модель функционирования комплексной системы пожарного мониторинга объектов энергетического комплекса и теоретически обоснованы положения её применения. Подтверждена удовлетворительная сходимость теоретических и практических данных.

6. Разработаны основные и специальные технико-эксплуатационные требования к КСПМ и на основе методов экспертных оценок разработан комплексный критерий количественной оценки функционирования беспроводных систем пожарного мониторинга объектов энергетики. На примере двух систем пожарного мониторинга, для которых получено неравенство  $L_{окк}^{№1} = 0,86 < L_{окк}^{№2} = 0,94$ , проведен выбор наиболее оптимальной системы с наибольшим значением комплексного критерия.

7. Расчёт экономической эффективности применения комплексной системы пожарного мониторинга объектов энергетики показал, что потери от пожара могут быть уменьшены в 2,72 раза по сравнению с системами, у которых отсутствует функционал, позволяющий в автоматическом режиме передавать информацию о загорании диспетчеру ПСЧ и ОДС ЦУКС, с указанием адреса объекта и места возгорания.

**Основные положения диссертационной работы опубликованы в следующих рецензируемых научных изданиях из перечня ВАК:**

1. Журавлёв, Д.Е. Функционирование средств передачи информации в радиоканальных системах и обнаружение пожаров на объектах энергетического комплекса [Текст] / Д.Е. Журавлёв, В.С. Бутко, И.И. Манило, А.П. Иванников // Технологии техносферной безопасности. – 2016. – №5. – С.126–132.

2. Журавлёв, Д.Е. Система мониторинга и прогнозирования ЧС для обеспечения комплексной безопасности объектов МЧС России 112 [Текст] / Д.Е. Журавлёв, В.И. Зыков // Пожары и чрезвычайные ситуации: предотвращение, ликвидация. – 2017. – №4. С. 12–17.

3. Журавлёв, Д.Е. Математическая модель комплексной системы мониторинга пожарной безопасности [Текст] / Д.Е. Журавлёв, В.И. Зыков // Пожары и чрезвычайные ситуации: предотвращение, ликвидация. – 2019. – №2. – С. 44–48.

4. Журавлёв, Д.Е. Система контроля персонала объекта энергетики по принципу радиочастотной идентификации [Текст] / Д.Е. Журавлёв,

М.И. Горбунова, В.И. Зыков // Пожары и чрезвычайные ситуации: предотвращение, ликвидация. – 2021. – №3. – С. 5–12.

**Остальные публикации по теме диссертации:**

5. Журавлёв, Д.Е. Структура построения сетей связи и их помехоустойчивость в системах обнаружения пожаров [Текст] / Сборник статей Международной конференции Курганской Государственной сельскохозяйственной Академии им. Т.С. Мальцева. – Курган: Курганская Государственная сельскохозяйственная Академия им. Т.С. Мальцева. – 2016. – С. 48–52.

6. Журавлёв, Д.Е. Беспроводные системы мониторинга оповещения населения о пожарах и ЧС [Текст] / В.И. Зыков, Д.Е. Журавлёв // Материалы V Международной научно-практической конференция молодых ученых и специалистов «Проблемы техносферной безопасности – 2016». – М.: Академия ГПС МЧС России, 2016. – С. 4–7.

7. Журавлёв, Д.Е. Разработка системы комплексного мониторинга пожарной безопасности объектов энергетического комплекса [Текст] / В.И. Зыков, Д.Е. Журавлёв // Материалы VIII Международной научно-практической конференция молодых учёных и специалистов «Проблемы техносферной безопасности–2019». – М.: Академия ГПС МЧС России, 2019. – С. 56–61.

8. Журавлёв, Д.Е. Математическая модель системы пожарного мониторинга объектов энергетики [Текст] / В.И. Зыков, И.И. Манило, Д.Е. Журавлёв // Материалы III Международной научно-практической конференции «Безопасность жизнедеятельности проблемы и решения – 2019». – Курган: Курганская Государственная сельскохозяйственная Академия им. Т.С. Мальцева. – 2019. – С. 15–19.

9. Журавлёв, Д.Е. Автоматическая система мониторинга пожарной безопасности объектов энергетики [Текст] / В.И. Зыков, И.И. Манило, В.П. Воинков, Д.Е. Журавлёв // Сборник материалов VII Международной научно-практической конференции «Безопасность жизнедеятельности в третьем тысячелетии». – Челябинск: Южно-Уральский государственный университет (национальный исследовательский университет). – 2019. – С. 317–327.

10. Журавлёв, Д.Е. Беспроводная система мониторинга пожарной безопасности объектов энергетики [Текст] / Материалы Всероссийской научно-практической конференции Курганской Государственной сельскохозяйственной Академии им. Т.С. Мальцева. – Курган: Курганская Государственная сельскохозяйственная Академия им. Т.С. Мальцева. – 2019. – С. 49–52.

Подписано в печать 28.06.2022. Формат 60×84 1/16  
Печать офсетная. Печ. л. 1,0 Тираж 100 экз. Заказ №505  
Академия ГПС МЧС России, 129366, г. Москва, ул. Б. Галушкина, 4