

МИНИСТЕРСТВО РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ
ПО ДЕЛАМ ГРАЖДАНСКОЙ ОБОРОНЫ, ЧРЕЗВЫЧАЙНЫМ СИТУАЦИЯМ И
ЛИКВИДАЦИИ ПОСЛЕДСТВИЙ СТИХИЙНЫХ БЕДСТВИЙ

Академия Государственной противопожарной службы

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)

ДИССЕРТАЦИЯ

на соискание ученой степени
кандидата технических наук

Научный руководитель
доктор технических наук, профессор
Зыков Владимир Иванович

Москва 2022 г.

ОГЛАВЛЕНИЕ

ВВЕДЕНИЕ	4
1.1 Обеспечение пожарной безопасности объектов энергетики как основная задача энергетической безопасности страны	14
1.2 Анализ состояния противопожарной защиты объектов энергетики	17
1.3 Анализ последствий от пожаров на объектах энергетики.....	18
1.4 Специфика развития пожаров на объектах энергетики	24
1.5 Статистика пожаров и последствий от них на объектах, оснащенных автоматическими установками пожарной сигнализации	28
1.6 Количественная оценка надежности автоматических установок пожарной сигнализации на производственных объектах энергетического комплекса.....	33
1.7 Выводы по главе.....	37
ГЛАВА 2 ПРОГРАММНО – АППАРАТНЫЙ КОМПЛЕКС БЕСПРОВОДНОГО МОНИТОРИНГА ПОЖАРНОЙ БЕЗОПАСНОСТИ ОБЪЕКТОВ ЭНЕРГЕТИКИ В ЦИФРОВОЙ СЕТИ СВЯЗИ МЧС РОССИИ.....	39
2.1 Цель, назначение и области применения комплексной системы пожарного мониторинга на объектах энергетики	39
2.2 Принципы построения программно–аппаратного комплекса беспроводной системы пожарного мониторинга, его архитектура и основные функции	41
2.3 Основные технические решения по организации безотказной работы программно – аппаратного комплекса системы пожарного мониторинга в ведомственной цифровой сети связи с интеграцией услуг МЧС России.....	43
2.4 Разработка механизма сопряжения систем радиоканального мониторинга объектов энергетики с каналами ведомственной цифровой сети связи МЧС России .	50
2.5 Радиоканальная система поиска людей на объектах энергетического комплекса и управление эвакуацией людей.....	56
2.6 Система контроля персонала объекта энергетики по принципу радиочастотной идентификации.....	67
2.7 Выводы по главе.....	79

ГЛАВА 3 РАЗРАБОТКА МАТЕМАТИЧЕСКОЙ МОДЕЛИ ФУНКЦИОНИРОВАНИЯ ЦИФРОВОЙ СИСТЕМЫ СВЯЗИ МЧС РОССИИ.....	80
3.1 Моделирование процесса обслуживания поступающих заявок от объектов энергетического комплекса	80
3.2 Математическая модель функционирования комплексной системы пожарной безопасности на объектах энергетики.....	83
3.3 Основные и специальные требования, предъявляемых к КСПМ на объектах энергетики	95
3.4 Комплексный критерии оценки функционирования систем мониторинга пожарной безопасности объектов энергетического комплекса	97
3.5 Расчет экономической эффективности применения комплексной системы мониторинга пожарной безопасности объектов энергетики	110
3.5.1 Расчет площадей моделируемых пожаров при использовании комплексной системы мониторинга пожарной безопасности объектов энергетики	111
3.5.2 Оценка экономической эффективности применения комплексной системы мониторинга пожарной безопасности объектов энергетики	115
3.6 Выводы по главе.....	118
ЗАКЛЮЧЕНИЕ	119
СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ.....	121
ПРИЛОЖЕНИЕ (обязательное) Акты внедрения.....	133

ВВЕДЕНИЕ

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 тепло энергии, которая в совокупности с получением энергетических ресурсов, составляют топливно – энергетический комплекс (ТЭК) страны. Повышение уровня развития общества находится в прямой связи с ростом темпов развития производства продуктов потребления и товаров обеспечения жизнедеятельности, как следствие, возрастает потребность 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», утвержденной Правительством Российской Федерации в 2009 году, определены стратегические цели, в которых энергетическая безопасность государства стоит на особом контроле, как важнейшая составляющая национальной безопасности [71; 74; 81].

Объекты энергетического комплекса – фундамент энергетического сектора государства, их совокупность образует многоуровневую взаимосвязанную структуру, задача которой производить энергию и обеспечивать ее 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 [83].

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 [12; 59].

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 1.1) [34; 37].

Все еще 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 [21].

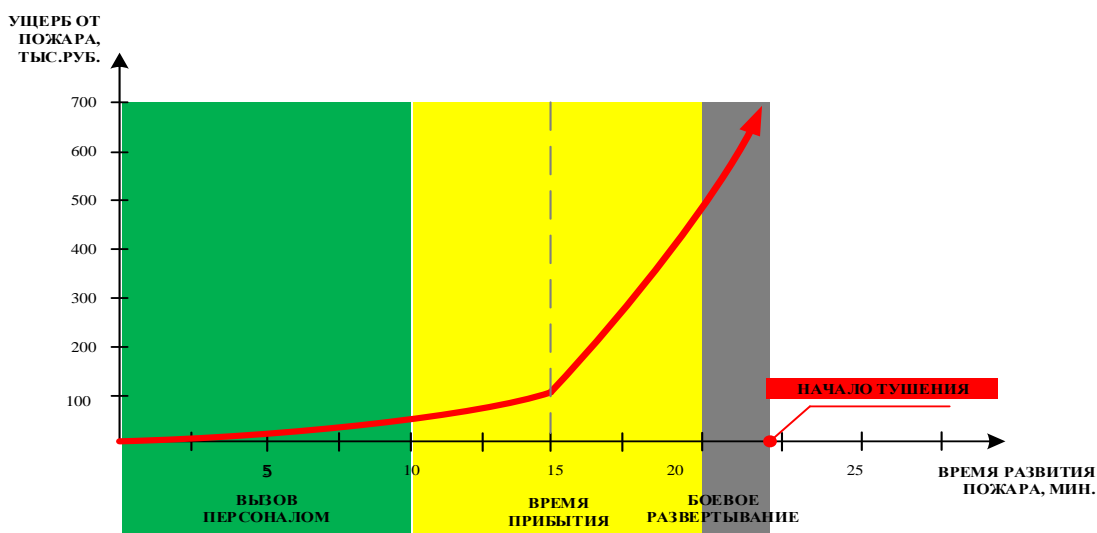


Рисунок 1.1 – Зависимость объёмов ущерба от пожара от времени свободного развития пожара

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 ЧС, а также позволит своевременно принимать управленческие решения по их ликвидации [33; 34].

Степень разработанности темы исследования. Вопросами обеспечения безопасности объектов энергетического комплекса занималось большое число ученых, исследованию этих вопросов посвящено много работ. Наиболее фундаментальными работами в этой области исследования являются научные труды Брушлинского Н.Н., Воробьёва Ю.Л., Болодяна И.А., Габричидзе Т.Г., Акимова В.А., 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 ученые 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. [88].

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) [88]. 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) [88].

Отечественными учеными, 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 остается 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 [30].

Таким образом, **цель исследования** – 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 использования её 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 ее функционирования с целью построения развёрнутой системы мониторинга объектов энергетического комплекса на территории Российской Федерации;

– провести расчет 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.

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 ее 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, что позволит обеспечить своевременное получение дежурным службами сигнала о возникновении пожара без участия технического персонала объекта энергетики. Разработанные технико–эксплуатационных 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 счет 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 путем теоретических и экспериментальных исследований. Основу исследований составляют методы математической статистики и экспертных оценок, теории массового обслуживания и математического моделирования с применением ЭВМ.

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».

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.

Соответствие диссертации паспорту научной специальности

Научные положения, отраженные в диссертации, соответствуют области исследования специальности 05.26.03 – «Пожарная и промышленная безопасность», определяющей исследование и разработку средств и методов, обеспечивающих снижение пожарной и промышленной опасности технологических процессов, предупреждения пожаров и аварий, тушения пожаров.

Апробация результатов исследования. Основные положения диссертационной работы докладывались и получили одобрение на V Международной научно–практической конференция 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 конференция молодых учёных и специалистов «Проблемы техносферной безопасности – 2019» (г. Москва, Академия ГПС МЧС России, 2019); III Международной

научно – практической конференция «Безопасность жизнедеятельности проблемы и решения – 2019» (г. Курган, 2019); VII Международной научно – практической конференция «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).

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.

ГЛАВА 1 АНАЛИЗ СТАТИСТИЧЕСКИХ ДАННЫХ О ПОЖАРАХ И ОЦЕНКА НАДЕЖНОСТИ СИСТЕМ ПОЖАРНОЙ СИГНАЛИЗАЦИИ НА ОБЪЕКТАХ ЭНЕРГЕТИКИ

1.1 Обеспечение пожарной безопасности объектов энергетики как основная задача энергетической безопасности страны

Министерством энергетики Российской Федерации приказом от 01.08.2014 г. № 495 «Об утверждении схемы и программы развития Единой энергетической системы (ЕЭС) России на 2014–2020 годы» задан вектор развития ЕЭС России, в основе которого лежит создание систем с гарантированной надежностью, наращивание сетевой инфраструктуры, а также генерирующих мощностей. Не менее важным является информационное сопровождение органов государственной власти при формировании государственной политики в энергетическом секторе [45].

Закономерным итогом реализации ЕЭС, в рамках осуществления мероприятий государственной политики России в сфере энергетики, станет формирование развитой инфраструктуры ТЭК и создание конкурентоспособного энергетического рынка, способного покрыть потребности развивающейся экономики и рынка энергетики на мировой арене.

Учитывая положения ЕЭС России, заявленная мощность электростанций, при поступательном развитии генерирующих мощностей в 2014–2020 годах, будет повышаться. Данные отражены на рисунке 1.2.

Поддержание уровня защиты государства, его жителей, экономики, функционирующей на их благо от возникающих угроз, бесперебойное энергообеспечение с заданной надежностью принято называть энергетической безопасностью. 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.

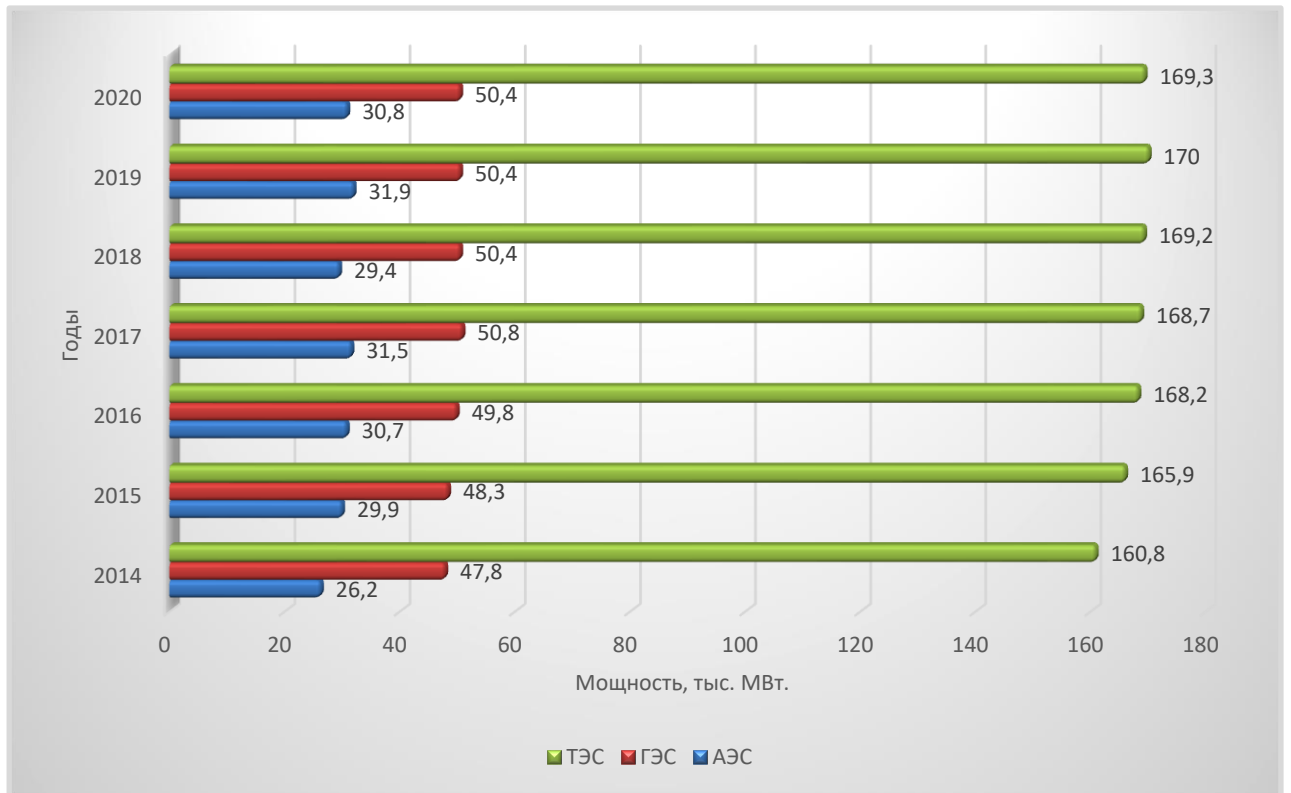


Рисунок 1.2 – Установленная мощность на электростанциях Единой энергетической системы России в 2014 – 2020 гг.

Ключевая задача политики в области энергетической сферы – национальная безопасность. Обеспечение защиты объектов энергетического комплекса от пожаров важная составляющая энергетической безопасности государства. Правовое регулирование в области противопожарной защиты объектов энергетического комплекса осуществляется на основании: Конституции Российской Федерации, Федеральных законов, общепризнанных принципов и норм международного права, международных договоров Российской Федерации [14; 45; 1474; 81]. В соответствии с указанными источниками разрабатываются и принимаются нормативно – правовые акты и документы Российской Федерации, регулирующие вопросы обеспечения пожарной безопасности объектов энергетического комплекса в случае:

- проектирования, строительства, капитального ремонта, реконструкции, технического перевооружения, изменения функционального назначения, технического обслуживания, эксплуатации и ликвидации объектов защиты;

- разработки, принятия, применения и исполнения федеральных законов о технических регламентах, содержащих требования пожарной безопасности, а также нормативных актов и документов РФ по вопросам пожарной безопасности;
- создание эксплуатационной и технической документации на объекты энергетики [45; 67].

Состояние защищаемого объекта для которого характерны минимизация возгорания и дальнейшего развития огня, значительное уменьшение отрицательного воздействия факторов пожара на технический персонал, а также практическое исключение материального ущерба от пожара достигается, в первую очередь, благодаря применению систем обеспечения пожарной безопасности объектов.

Совокупность технических средств и мероприятий организационного характера, основной целью которых является исключение факторов и условий для возгорания, принято называть системой предотвращения пожара. Тогда как система противопожарной защиты первоначально несет ответственность за предотвращение воздействия опасных факторов пожара на людей и сокращение материального ущерба [65]. Возможность выбора системы, обеспечивающий необходимый уровень пожарной безопасности и методы достижения показателей этого уровня закреплена за собственником объекта [45].

Для достижения заданных показателей уровня защищенности объектов энергетического комплекса от пожаров могут использоваться различные методы. Один из них – это использование методологического подхода, основу которого составляют три принципиальных положения: превентивные мероприятия по предотвращению возгорания, автоматическое определение очага возгорания и проведение мероприятий по его тушению, недопущение развития пожара. К ключевым факторам, обеспечивающим выполнение данного подхода относятся: сведение к минимуму объёмов легковоспламеняющихся и горючих материалов; использование новейших технических разработок в области пожарного мониторинга объекта энергетики на предмет возгорания и передача информации о происшествии на пост дежурного диспетчера ПСЧ в автоматическом режиме; проведение инструктажей с техническим

персоналом объекта на предмет соблюдения требований пожарной безопасности, обучение обслуживающего персонала работе на пожароопасных объектах; организации на объекте собственной пожарной охраны [47; 65; 67].

Практика показывает, что возможность модернизации систем пожарного мониторинга и обнаружения возгораний на объектах, работоспособность систем с заданной надежностью и своевременность обнаружения очага возгорания, значительно повышает уровень противопожарной защиты объекта. Применение беспроводных комплексных систем мониторинга пожарной безопасности, оповещения персонала и контроля доступа, позволяют в автоматическом режиме определять момент возгорания, осуществлять передачу сигнала в подразделения пожарной охраны, а также в режиме реального времени отражать количество находящихся в помещениях объекта людей [47].

1.2 Анализ состояния противопожарной защиты объектов энергетики

По специфике протекания технологических процессов при получении энергии объекты энергетического комплекса значительно различаются. Отклонения от нормального функционирования объекта энергетики могут быть обусловлены как внутренними, так внешними обстоятельствами. К внутренним можно отнести отказ техники, ошибки обслуживающего персонала, самовоспламенение оборудования, к внешним – природные аномалии, противоправные действия третьих лиц, факторы социально – экономического характера. Если конкретизировать анализ состояния технического оборудования, то все отклонения от его нормальной работы можно условно разделить на технические отказы и аварии. Технические отказы, как правило, преобладают и отличаются своим многообразием, поэтому статистический анализ проводился по данным об авариях на защищаемых объектах, а также возможности оценки последствий от них [71; 73; 74; 75; 76; 77; 78; 79].

Причины пожара на объектах энергетического комплекса могут быть различны. В основе своей они связаны с нарастающей усталостью

оборудования, нарушением протекания технологических процессов, не качественным выполнением регламентных работ или их невыполнением, человеческими ошибками, природными явлениями и т.д. Все вышеперечисленные причины могут вызвать появление источника зажигания, что в итоге может привести к возникновению пожара.

1.3 Анализ последствий от пожаров на объектах энергетики

В работе обобщены статистические данные по пожарам и прямой материальный ущерб от них на объектах энергетики Российской Федерации за период 2013 – 2020 годы (таблица 1.1).

Таблица 1.1 – Статистические данные по пожарам, произошедшим в период с 2013 по 2020 годы на объектах энергетики Российской Федерации

Год	Минэнерго России		Госкорпорация «Росатом»	
	Количество пожаров, ед.	Прямой ущерб, тыс. руб.	Количество пожаров, ед.	Прямой ущерб, тыс. руб.
2013	56	7120	11	469
2014	48	8600	15	230
2015	52	9121	7	182
2016	46	8968	9	502
2017	47	9020	6	539
2018	46	9407	7	492
2019	47	9650	5	342
2020	45	10830	6	297

Используя значения таблицы 1.1, построены гистограммы количества пожаров и средних значений прямого материального ущерба от пожара (рисунки 1.3, 1.4).

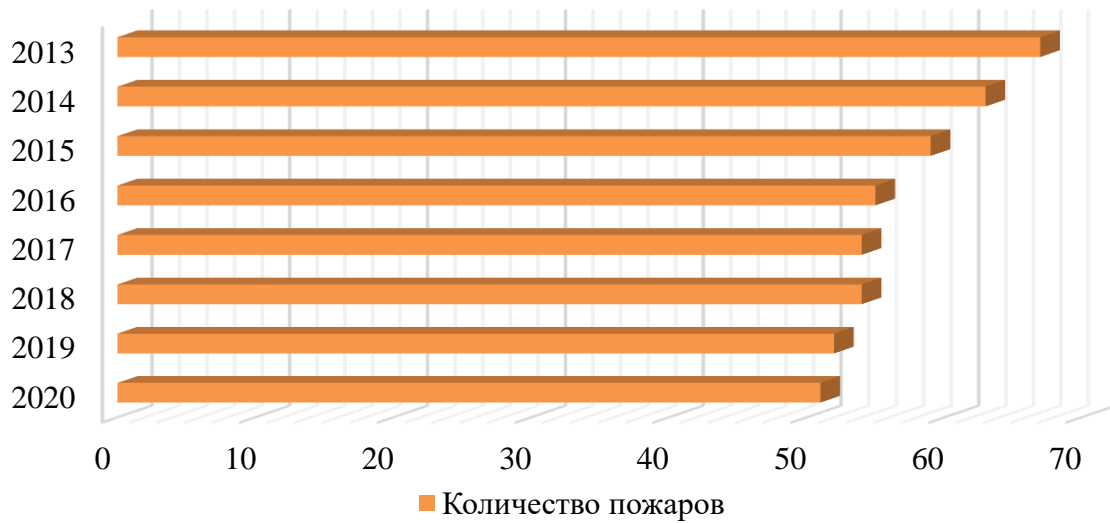


Рисунок 1.3 – Гистограммы количества пожаров по годам

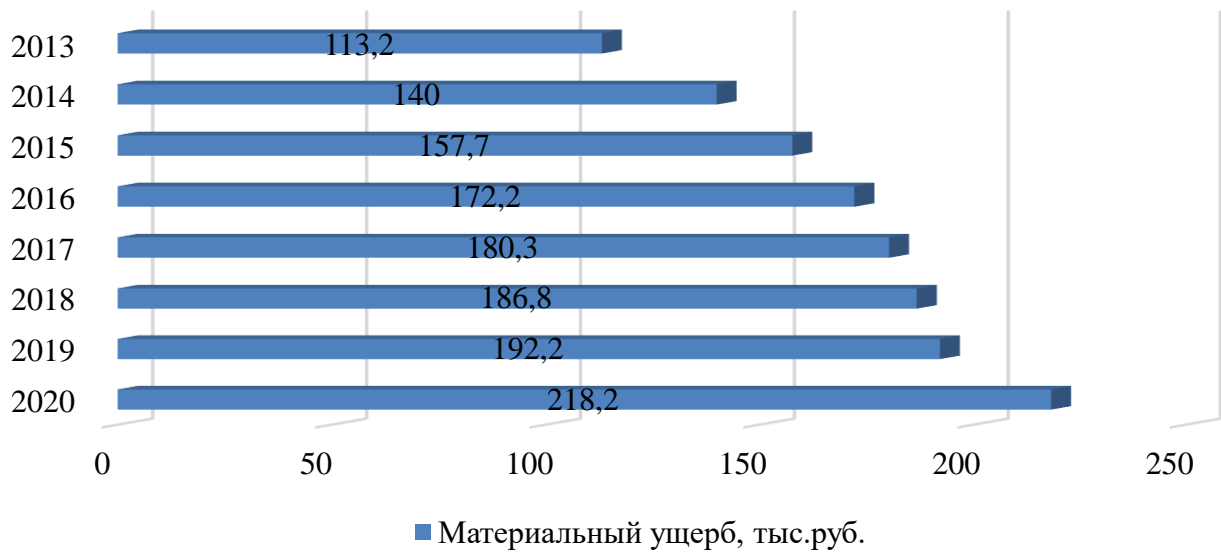


Рисунок 1.4 – Гистограммы средних значений прямого материального ущерба от пожаров по годам

Данные показывают, что несмотря на то, что число пожаров с каждым годом уменьшается, значение показателей материального ущерба неуклонно растет. Основная причина – большое время свободного распространения пожара, которого достаточно, чтобы дорогостоящее оборудование пришло в негодность и масштабы последствий стали колоссальными [43; 45].

В работе были рассмотрены наиболее значимые внештатные ситуации на объектах энергетического комплекса за период 2010–2020 годы.

В городе Барнаул 19.01.2010 на ТЭЦ–3 произошел пожар на топливопроводе. Площадь возгорания составила около 700 квадратных метров. Износ технологического оборудования стал основной причиной возгорания. В тушении пожара третьего номера сложности принимали участие 75 человек и 21 единица специальной техники. Учитывая зимний период, резкое ограничение водоснабжения и отопления привели к серьезным последствиям от пожара.

В городе Сочи 30.01.2010 по причине короткого замыкания в контрольно – распределительном устройстве произошел пожар на 3 этаже производственного здания теплоэлектростанции. Пожар обесточил энергоблоки и административные здания объекта. Однако, возгорание не повлияло на электроснабжение города. В результате происшествия 3 сотрудника получили отравление различными продуктами горения.

04.06.2011 на Курской АЭС в пусковой резервной котельной разорвало аккумулятор АБ–2 объемом 2000 кубометров. В следствии происшествия г. Курчатова, на территории которого располагается Курская АЭС, был лишен горячего водоснабжения на 3 часа. Ранения и ожоги получил слесарь по ремонту оборудования. Серьезных последствий на работу основных производственных процессов объекта удалось избежать.

В результате возгорания на газораспределительном пункте №2 ГРЭС–1 (г. Сургут) 28.06.2011, который на момент возгорания находился в нерабочем состоянии, на тушение пожара потребовалось привлечение 44 человек личного состава и 13 единиц специальной техники. Площадь возгорания составила 500 квадратных метров, пожару присвоен 2 номер сложности, погибло 5 и пострадало 12 человек.

На Волгодонской АЭС 07.09.2012 на одном из недостроенных блоков произошел пожар площадью около 360 квадратных метров. Для тушения пожара были привлечены 42 человека и 13 единиц спецтранспорта, в том числе подъемный кран. Материальный ущерб составил 1 миллион рублей.

25.11.2013 в Тверской области при ремонте кровельного покрытия трубопровода в первом энергоблоке Калининской АЭС воспламенилась теплоизоляция. Работа АЭС приостановлена не была, пожар был локализован и ликвидирован в короткий срок.

05.11.2013 автоматическая защита остановила один из энергоблоков Билибинской АЭС, которая находится на территории Чукотского автономного округа в зоне вечной мерзлоты. Радиационный фон не превышен, срабатывание было ложным.

При возгорании газотурбинной установки на электростанции в городе Лабытнанги 08.08.2013 произошло отключение электроэнергии всего города, несмотря на наличие резервных источников питания. Для тушения пожара были привлечены 27 человек и 6 единиц спецтехники, в том числе подъемный кран. Материальный ущерб составил порядка 1 миллиона рублей.

В городе Нарьян – Мар в результате сильного задымления в блоке управления газовой турбиной из-за короткого замыкания и возгорания высоковольтного провода в зоне отключения электроэнергии оказались более 25 тысяч человек. Пожар произошел 8 октября 2014 года.

В марте 2014 из-за взрыва в районе бункеров угольной пыли на Западно-Сибирской ТЭЦ, произошло возгорание. В общей сложности пострадало 8 человек, 1 человек погиб, было прекращено теплоснабжение нескольких районов города. Материальный ущерб – более 3 миллионов рублей.

18.12.2015 в городе Сосновый бор на Ленинградской АЭС был остановлен блок №2 по причине парообразования в цехе турбин. Утечка пара была в пределах допустимых значений. Уровень радиационного фона на Ленинградской АЭС и промышленных площадях объекта оставался в пределах нормы. На опрессовку контура и восстановление работоспособности цеха потребовалась неделя.

10.11.2016 в результате выхода из строя электрогенератора электропитания был лишен шестой блок Нововоронежской АЭС – один из самых мощных в России и первый в мировой практике блок АЭС, реализованный по «постфукусимским» протоколам обеспечения безопасности. Первоначальной

версией поломки электрогенератора было короткое замыкание. Позже было выявлено, что к выходу из строя привела неработоспособность статора, который был успешно заменён. 26.01.2017 работоспособность энергоблока была полностью восстановлена.

20.06.2016 в энергоблоке №3 Калининской АЭС в результате короткого замыкания вышел из строя трансформатор. Поражения электрическим током получили 2 сотрудника объекта, для одного из них исход оказался летальным.

26.04.2017 на участке от Ондская ГЭС – Путкинская ГЭС была нарушена работоспособность транзитной линии в 330 кВт. В результате один из четырех энергоблоков Кольской АЭС, находящийся на удалении более 190 км. от г. Мурманска на берегу о. Имандра. Работоспособность остальных энергоблоков сохранилась в штатном режиме. Радиационный фон обстановка в районе расположения Кольской АЭС сохранена на уровне естественного фона.

18.02.2018 в г. Курчатов Курской области, в результате воспламенения трансформатора на Курской АЭС, автоматическая защита было проведено отключение энергоблока. Огонь был успешно потушен, сотрудники объекта не пострадали. Серьезных последствий на работу основных производственных процессов объекта удалось избежать.

18.07.2019 короткое замыкание в сети электропитания трансформатора привело к отключению трех энергоблоков Калининской АЭС в Тверской области. Уровень радиации на АЭС и близлежащей территории сохранен в пределах допустимых значений. Внештатная ситуация не повлияла на жизнеобеспечение людей и энергообеспечение обслуживаемых объектов.

17.01.2020 произошла авария в ООО «Пилкингтон Гласс», расположенном в Московской области, Раменском районе, д. Жуково, ул. Стекольная. В результате аварии силовой трансформатор (автотрансформатор) мощностью 10 МВА был деформирован с разрушением и изменением геометрических размеров и формы, как следствие, произошёл разлив масла. Воспламенение паров масла и серьезных последствий удалось избежать.

18.06.2020 в Тверской области г. Удомля в АО «Концерн Росэнергоатом» в результате сбоя в работе средств диспетчерского и технологического управления, была потеряна связь между диспетчерским центром субъекта оперативно–диспетчерского управления и объектом защиты продолжительностью более 1 часа. Сбой произошел из–за повреждения линейно–кабельной канализации Тверьэнерго и обрыва волоконно–оптических линий связи.

Самыми опасными по своим последствиям являются аварии на атомных станциях, причиненный ущерб достигает катастрофических объёмов. Аварии на Чернобыльской АЭС и на АЭС «Фукусима – 1» является ярким тому подтверждением [64].

Приведенные примеры говорят о том, что возгорания на объектах энергетического комплекса часто сопровождаются взрывами и поражением огнем больших площадей, что в свою очередь приводит к гибели людей и мобилизации большого количества пожарных расчётов и специальной техники. Взрывы и возгорания на объектах энергетического комплекса очень часто сопровождаются отключением электричества, отопления и подачи воды, что приводит к большому социально – экономическому коллапсу. По сравнению с прямым ущербом от пожара, который несет большие убытки, убытки косвенные могут в несколько раз их превышать. Согласно анализу представленных пожаров, определены пути совершенствования систем пожарной безопасности объектов энергетического комплекса, одним из которых является повышение уровня функционирования систем оповещения персонала, так как в рассматриваемых пожарах данные системы либо не сработали, либо не в полной мере выполнили свою задачу. Пренебрежение данным фактом нередко приводит к возникновению пожаров со значительным материальным ущербом и гибелью людей [21; 85].

1.4 Специфика развития пожаров на объектах энергетики

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 огонь распространяется очень быстро. Часто это связано с несвоевременной передачей сигнала о пожаре на пульт пожарной охраны и большим количеством горючих материалов, что влияет на общую продолжительность ликвидации пожара, требует больших материальных затрат, а также привлечение большого количества сил и средств.

Так, например, горение электрических кабелей в шахтах, трансформаторных подстанциях, кабельных тоннелях сопровождается 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 [67; 69]. Также причиной возникновения возгорания электрического кабеля часто становится короткое замыкание, сопровождающееся нагревом изоляции кабеля, с последующим выделением продуктов горения.

Воспламенение трансформаторных подстанций происходит при перегреве сердечника трансформатора. Горение протекает в тлеющем состоянии, медленно развивается, сопровождается шумом трансформатора, может возникнуть короткое замыкание и горение обмоток трансформатора. После чего продукты горения вырываются из консерватора, мембрана защиты разрушается, оболочка бака раздувается. Если мощность короткого замыкания большая, при дальнейшем повышении температуры происходит разрушения корпуса трансформатора, горячее масло способно вывести из строя оборудование, расположенное поблизости. Значительно усугубляют ситуацию

твердые частицы дыма, которые оседая на изоляторах значительно уменьшают их диэлектрический потенциал, и образуют новые очаги возгорания. Дальнейшее горение трансформаторного масла разрушает крепление электрических проводов и приводит к их падению, металлические элементы корпуса трансформатора оказываются под напряжением. Самые серьезные повреждения трансформаторов возникают при замыкании на входе или выходе токоотводов [47].

Воспламенение изоляции также может привести к пожару в распределительных устройствах. Наиболее опасными в пожарном отношении являются: конденсаторы, реакторы, трансформаторы, масляные выключатели. Часто возгорание возникает при перекрытии между изоляторами в корпусе или изолятором и корпусом. Последствия первого случая – разрушение корпуса, что сопровождается распространением огня по секции, второго – разлив масла.

В зависимости от специфики возникновения возгорания пожар в машинном зале АЭС может развиваться по разным сценариям. Более быстрое развитие приобретают пожары, причиной которых стали взрывы. В результате возникает множество очагов возгорания расположенных рядом генераторов, турбин, возможна разгерметизация систем охлаждения и выход водорода, короткое замыкание токоведущих кабелей. Часто это сопровождается обрушением перегородок и несущих конструкций. Как правило, горение помещений, в которых сосредоточено топливо для котлов, пылеподготовительные отделения, часто провоцируют тяжелые последствия для объекта. В цехах, где используются котлы на мазуте, при нарушении целостности мазутопроводов, горючая жидкость быстро разливается (давление 3.2. МПа) и загорается от пламени форсунки, температура которой около 130 °С. При таком развитии событий пожар быстро развивается за счет высоких температур что быстро приводит к деформации и обрушению несущих конструкций.

Проведя анализ объектов на предмет пожарной опасности, можно вывести параметры и благоприятные условия протекания пожара, которые влекут за

собой задымление, предельно высокие температуры, поток лучей и рентген излучения при пожаре на АЭС. Отсутствие возможности снятия тока с оборудования и питающих кабелей сильно затрудняет процесс тушения пожара. Как правило, сложности в тушение пожара сопровождаются высокой температурой, быстрым развитием пожара, сильным задымлением и токсичностью.

Пожарная безопасность объектов энергетического комплекса неразрывно связана с обеспечением жизнедеятельности объекта и его живучестью, поэтому нарушение условий эксплуатации оборудования и токопроводящих линий в совокупности со старением материалов, определяется пожарной опасностью объектов энергетической отрасли [21].

Высокая плотность задымления негативно сказывается на оперативности принятия решений по тушению пожара, ввиду сложности по локализации очага возникновения возгорания, большими размерами объектов и, как следствие, необходимостью доставки средств тушения на значительные расстояния.

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 [85].

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 монтаж систем пожарной сигнализации, оповещения и организации эвакуации людей на этих объектах необходимое требование.

Величина индивидуального пожарного риска (ВПР) в помещениях производственных объектов, в частности объектов энергетического комплекса, должна быть менее 10^{-6} в год. Однако, существуют объекты, для которых, в связи со спецификой протекания технологических процессов, невозможно выполнить требование по обеспечению ВПР на уровне 10^{-6} , поэтому для них допускается увеличение ВПР до 10^{-4} в год. При таких условиях функционирования процессов особое внимание следует уделить постоянному обучению личного состава объекта действиям при пожаре с учётом повышенной опасности [70].

Приказ МЧС России от 10.09.2009 № 404 регламентирует методику расчёта ВПР на производственных объектах и содержит сведения о частоте возникновения пожаров в производственных зданиях (таблица 1.2) [45].

Таблица 1.2 – Частоты возникновения пожаров в производственных зданиях

Наименование объекта	Частота возникновения пожара, ($\text{м}^{-2} \times \text{год}^{-1}$)
Электростанции	$1,9 \times 10^{-5}$
Склады химической продукции	$1,3 \times 10^{-5}$
Склады многономенклатурной продукции	$8,7 \times 10^{-5}$
Инструментально-механические цеха	$1,1 \times 10^{-5}$
Цеха по обработке синтетического каучука и искусственных волокон	$3,2 \times 10^{-5}$
Литейные и плавильные цеха	2×10^{-5}
Цеха по переработке мясных и рыбных продуктов	$1,9 \times 10^{-5}$
Цеха горячей прокатки металлов	2×10^{-5}
Текстильные производства	$1,2 \times 10^{-5}$

Табличные данные свидетельствуют о высокой пожарной опасности электростанций, как следствие, объектов энергетического комплекса в целом, в сравнении с остальными производственными объектами.

Каждый объект, с точки зрения пожарной опасности, имеет свои характерные особенности, свой набор расчетных (проектных) аварий. С помощью математического моделирования можно спрогнозировать типовой сценарий развития пожара. Построенная модель позволяет понять наиболее уязвимые места предприятий, с точки зрения пожарной опасности, а анализ модели ложится в основу проекта построения системы противопожарной защиты и системы оповещения на объекте, а также значительно облегчает планирование спасательных работ [12].

1.5 Статистика пожаров и последствий от них на объектах, оснащенных автоматическими установками пожарной сигнализации

Основное достоинство систем противопожарной защиты людей и материальных ресурсов от пожара – бесперебойное функционирование. Однако, надежность данных систем недостаточно высока, часто имеют место функциональные сбои, «зависания» оборудования и ложные срабатывания. Опыт производства и технического сопровождения проводных автоматических установок пожарной сигнализации (АУПС) указывает на наличие погрешности гарантированного срабатывания существующих систем, а также нарушения коммуникации при подключении компонентов системы. Эти данные выражены как в числовых значениях, так и в процентном соотношении к совокупному количеству объектов, оснащенных системой пожарной сигнализацией [26; 30;45].

Результаты, полученные при анализе работы АУПС при пожаре на защищаемых объектах в Российской Федерации за период 2013–2020 годов, представлены в таблице 1.3 и на рисунке 1.5.

Таблица 1.3 – Специфика функционирования АУПС на объектах защиты

Состояние системы	2013 год		2014 год		2015 год		2016 год		2017 год		2018 год		2019 год		2020 год	
	Знач. числ.	%	Знач. числ.	%	Знач. числ.	%	Знач. числ.	%	Знач. числ.	%	Знач. числ.	%	Знач. числ.	%	Знач. числ.	%
Сработала	687	67	703	72	608	74	743	74	858	70	734	84	691	73	714	76
Не сработала	207	21	206	21	146	18	215	21	308	25	96	11	196	21	171	18
Не включена	124	12	69	7	62	8	47	5	57	5	40	5	58	6	51	5
Всего объектов с АУПС на которых возник пожар	1018	100	978	100	816	100	1005	100	1223	100	870	100	945	100	936	100

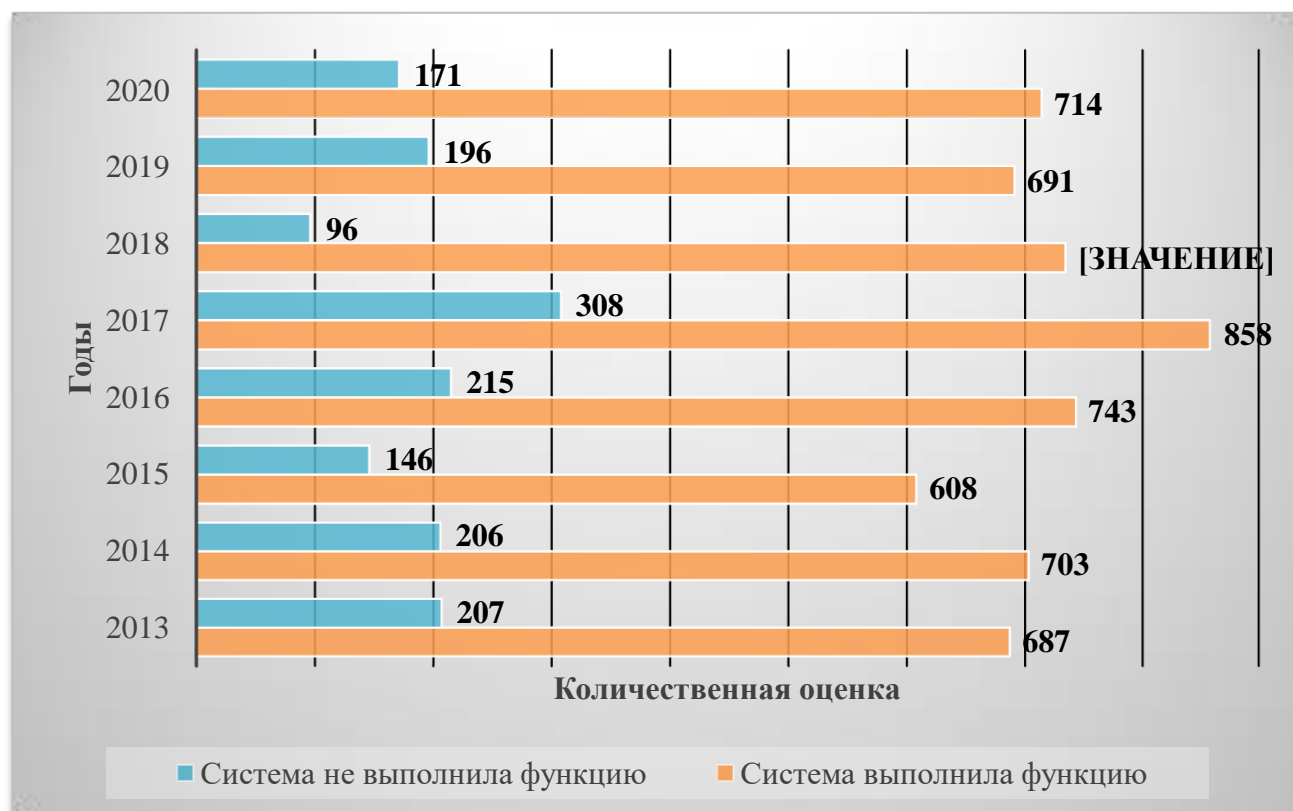


Рисунок 1.5 – Количество АУПС, выполнивших и не выполнивших свою функцию в условиях пожара на объектах защиты

Большая доля отказов в работе АУПС связана с неспособностью систем противостоять внешним воздействиям, зависимостью от наличия источника бесперебойного питания и человеческим ошибкам, что негативно сказывается на нормальной работе системы противопожарной защиты в целом. В этой связи изучение вопросов повышения надежности АУПС чрезвычайно важная задача, решение которой позволит принять комплексные меры, направленные на повышение работоспособности и отказоустойчивости систем обнаружения пожаров [39; 45].

Статистика показывает, что около трети АУПС на защищаемых объектах не срабатывают (рисунок 1.4). Однако, даже использование АУПС с низким показателем надежности позволяет колоссально снизить материальный ущерб от пожара, путем сохранения оборудования и производственных помещений.

Ориентир на статистику производственных объектов, включающих в свой состав объекты энергетического комплекса, позволит существенно ограничить количество анализируемых объектов, более качественно проработать вопрос их противопожарной защиты, сохранив при этом, общность результатов.

На объектах энергетического комплекса чаще возникают пожары, которые сопровождаются значительными материальными потерями. Это находит подтверждение в данных статистики о пожарах на производственных объектах в Российской Федерации за период 2013–2020 годы, с учетом отличающихся условий их защищенности.

С целью ограничения числа объектов защиты и сохранения общности результатов исследования, упор был сделан на статистику производственных объектов, которые включают в свой состав объекты энергетического комплекса. Пожары на таких объектах характеризуются большими материальными убытками.

В таблицах 1.4, 1.5 и 1.6 приведены статистические данные о пожарах на производственных объектах, за 2013–2020 годы в Российской Федерации при различных условиях их защищенности (таблицы 1.4, 1.5, 1.6) [71; 73; 74; 75; 76; 77; 78; 79].

Таблица 1.4 – Статистика пожаров и последствия от них на производственных объектах, в том числе объектах энергетического комплекса, не оснащенных АУПС

Показатель	Год							
	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020
Количество пожаров	3474	5615	3974	3369	3447	3981	4187	3956
Количество погибших	178	149	151	102	86	163	152	129
Материальный ущерб от пожара, тыс. руб.	647589	1946572	2466781	2323778	922678	1289122	1739873	1589421
Среднее количество погибших на одном пожаре, %	5	2,6	3,7	3,1	2,5	4,1	3,6	3,3

Таблица 1.5 – Статистика пожаров и последствия от них на производственных объектах, в том числе объектах энергетического комплекса, оснащенных АУПС

Показатель	Год							
	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020
Количество пожаров	119	142	173	91	145	152	137	143
Количество погибших	6	3	4	1	3	0	2	1
Материальный ущерб от пожаров, тыс. руб.	75745	1687900	344122	185631	548761	923493	678403	746532
Спасено материальных ценностей, тыс. руб.	76337	634543	165890	308354	593056	4557691	503828	297645
Среднее количество погибших на одном пожаре, %.	3,1	2,1	2,3	1,1	2,1	0	1,4	0,7

Таблица 1.6 – Основные показатели работоспособности АУПС на производственных объектах, в том числе объектах энергетического комплекса

Состояние системы	2013		2014		2015		2016		2017		2018		2019		2020	
	Знач. числ.	%	Знач. числ.	%	Знач. числ.	%	Знач. числ.	%	Знач. числ.	%	Знач. числ.	%	Знач. числ.	%	Знач. числ.	%
Сработала, задачу выполнила	82	75	99	76	102	78	107	74	154	90	149	85	131	83	97	84
Не сработала	21	18	29	22	21	16	31	22	12	7	17	10	19	12	15	13
Не включена	6	7	3	2	8	6	6	4	4	3	9	5	7	5	4	3
Всего объектов с АУПС, на которых возник пожар	109	100	131	100	131	100	144	100	170	100	175	100	157	100	116	100

На основании статистических данных, приведенных в таблице 1.6, построены гистограммы для систем, выполнивших и не выполнивших свою функцию в условиях пожара на производственных объектах (рисунок 1.6).

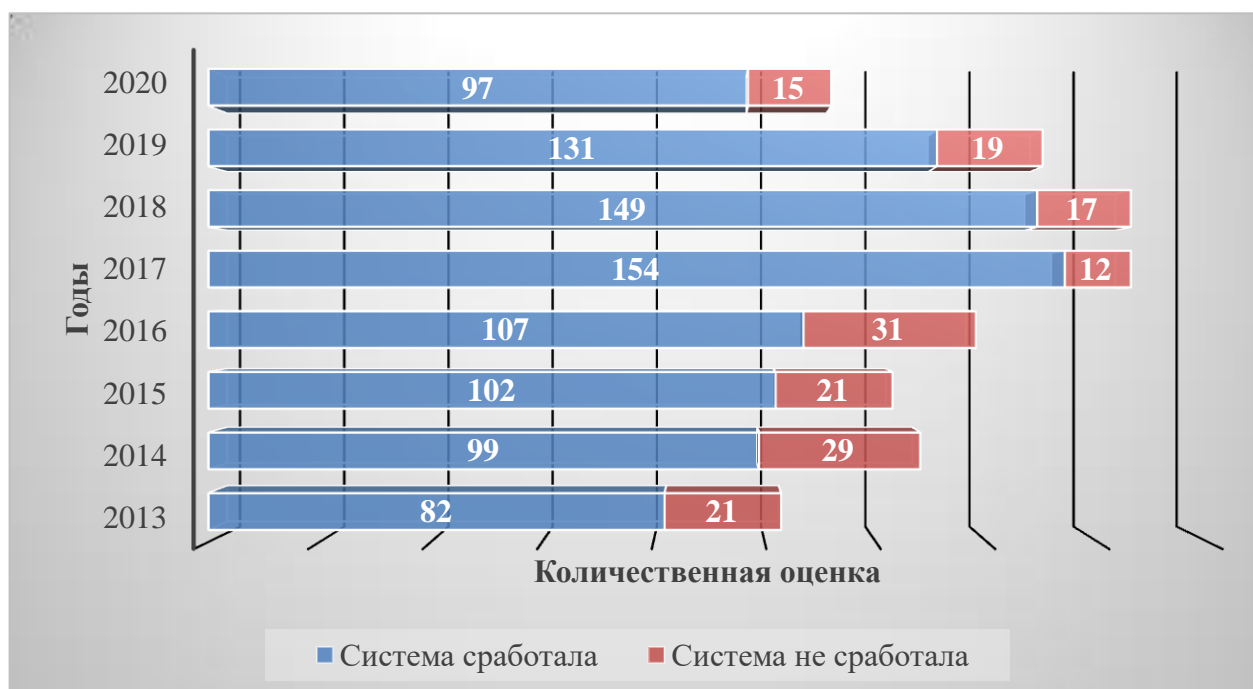


Рисунок 1.6 – Количество систем, выполнивших и не выполнивших свою функцию в условиях пожара на производственных объектах

Отказы в работе АУПС напрямую связаны с просчетами при проектировании, нарушением режимов производства, ошибками при инсталляции систем на объекте, выходом из строя блоков питания систем при скачках напряжения, нарушением целостности линий связи, несоблюдением заданных условий при эксплуатации и т.д.

Проведя анализ статистических данных, содержащихся в таблицах 1.4 – 1.6, можно сделать вывод, что защита объекта при помощи АУПС позволяет до четырех раз уменьшить людские потери, что подтверждается данными, приведенными в работах, и отражено на рисунке 1.7.

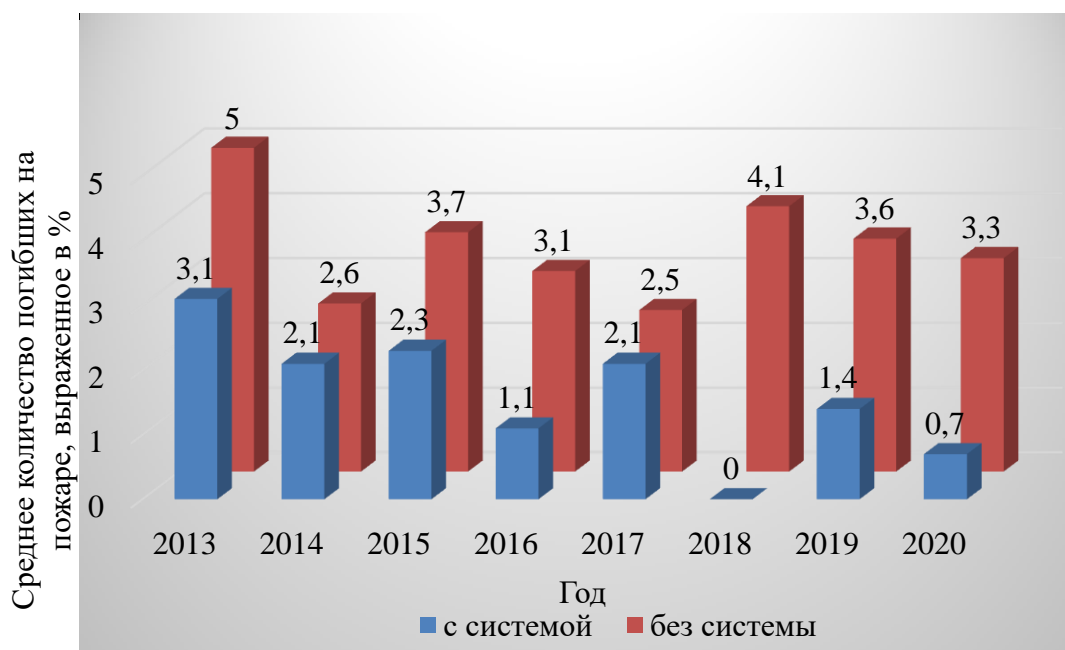


Рисунок 1.7 – Процент гибели людей от пожаров на производственных объектах, в том числе объектах энергетического комплекса, оснащенных пожарной сигнализацией и без нее

Вместе с тем, защиту объекта со 100 % вероятностью системы обнаружения пожаров гарантировать не могут, так как доля отказов вышеуказанных систем довольно высока [12; 45; 66].

1.6 Количественная оценка надежности автоматических установок пожарной сигнализации на производственных объектах энергетического комплекса

Ключевым фактором при анализе протекания процессов функционирования АУПС при возгорании является статистика данных с производственных объектов. Достоверность исследований обуславливается однородностью обрабатываемой информации. На первом этапе есть необходимость в определении характера расхождения в данных статистики, какой величиной она является – случайной или нет. Совокупный анализ данных возможен только при их случайной природе, в то время как неслучайное расхождение данных

статистики образует заметные отличия в режимах функционирования АУПС, которые характеризуются различными друг от друга показателями надежности. Отказы в работе комплектующих АУПС часто происходят не одновременно, распределены дискретно и требует соблюдения ряда условий на всем множестве АУПС при различных временных интервалах. Это подтверждает тот факт, что события характеризуются случайностью.

Среди основных причин отказов в работе АУПС, можно выделить следующие:

- ошибки проекта (модель сформирована с нарушениями);
- конструктивные ошибки;
- не соблюдение технологии на производстве;
- повреждения механических частей;
- нарушение режимов эксплуатации.

Количественный показатель, который описывает вероятность работы систем обнаружения пожара (СОП) без отказов и напрямую зависит от совокупного потока отказов $\lambda_{отк}$, определяет надежность системы и может быть представлен следующим выражением:

$$\lambda_{отк} = \lambda_{отк1} + \lambda_{отк2} + \dots + \lambda_{отк k} = \frac{\Delta n_1}{N_1 \Delta t_1} + \frac{\Delta n_2}{N_2 \Delta t_2} + \dots + \frac{\Delta n_k}{N_k \Delta t_k} = \sum_{i=1}^k \frac{\Delta n_i}{N_i \Delta t_i}, \quad (1.1)$$

где Δn_i число отказавших элементов i – го вида из числа N_i элементов, наблюдаемых за период Δt_i .

При соблюдении условия однородности работы АУПС, поток отказов рассчитывается по формуле:

$$\lambda_{отк} = \frac{\Delta n_i}{N_i \Delta t_i}, \quad (1.2)$$

где Δn_i – число отказов установок пожарной сигнализации из числа наблюдаемых систем N_i за период времени Δt_i .

Среднее значение математического ожидания случайных величин: $\lambda_{отк} = \lambda_{отк1} + \lambda_{отк2} + \lambda_{отк3} + \dots + \lambda_{отк k}$, определяется выражением:

$$\lambda_{отк} = \frac{\sum_{i=1}^n \lambda_{отк i}}{n}. \quad (1.3)$$

Проанализировав сведения о пожарах на объектах энергетики за 2013–2020 годы в Российской Федерации получены значения отказов АУПС в количественном выражении. Используя формулу 1.2 рассчитаны параметры потока отказов за каждый год в отдельности, а по формуле 1.3 рассчитана средняя величина интенсивности потока отказов [12; 18; 20]:

$$\lambda_{\text{отк}}^{\text{сред}} = 21 \text{ год}^{-1}.$$

Результаты проведенного анализа и расчета интенсивности потока отказов представлены в таблице 1.7.

Таблица 1.7 – Количество отказов и значения интенсивности потока отказов АУПС за 2013–2020 годы на производственных объектах, в том числе объектах энергетического комплекса

Годы	Количество объектов, на которых установлена АУПС	Количество отказов за один год	Интенсивность потока отказов: $\lambda_{\text{отк}}(t)$, год^{-1}
2013	121	21	19
2014	134	33	23
2015	137	19	21
2016	199	17	24
2017	205	22	22
2018	213	36	24
2019	217	37	24
2020	232	42	25

Потоки отказов, подлежащие исследованию в работе, для представленных данных статистики, величины постоянные, они относятся к простейшим потокам. Для таких потоков характерны следующие свойства: ординарность, стационарность и отсутствие последствий. Нарботка АУПС на отказ согласуется с экспоненциальным законом распределения, что дает возможность построить функции вероятностей безотказной работы АУПС:

$$P(t) = e^{-\lambda_{\text{отк}}t}, \quad (1.4)$$

где t – время работы системы; $\lambda_{\text{отк}}$ – интенсивность потока отказов оборудования за год, год^{-1} .

Значения надежности, количественно выраженные вероятностями безотказной работы АУПС при $\lambda_{\text{отк}}^{\min}$, $\lambda_{\text{отк}}^{\text{сред}}$ и $\lambda_{\text{отк}}^{\max}$ на производственных объектах, рассчитаны по формуле 1.4. Полученные значения отражены на рисунке 1.8 в виде графиков функций вероятности безотказной работы АУПС в зависимости от времени.

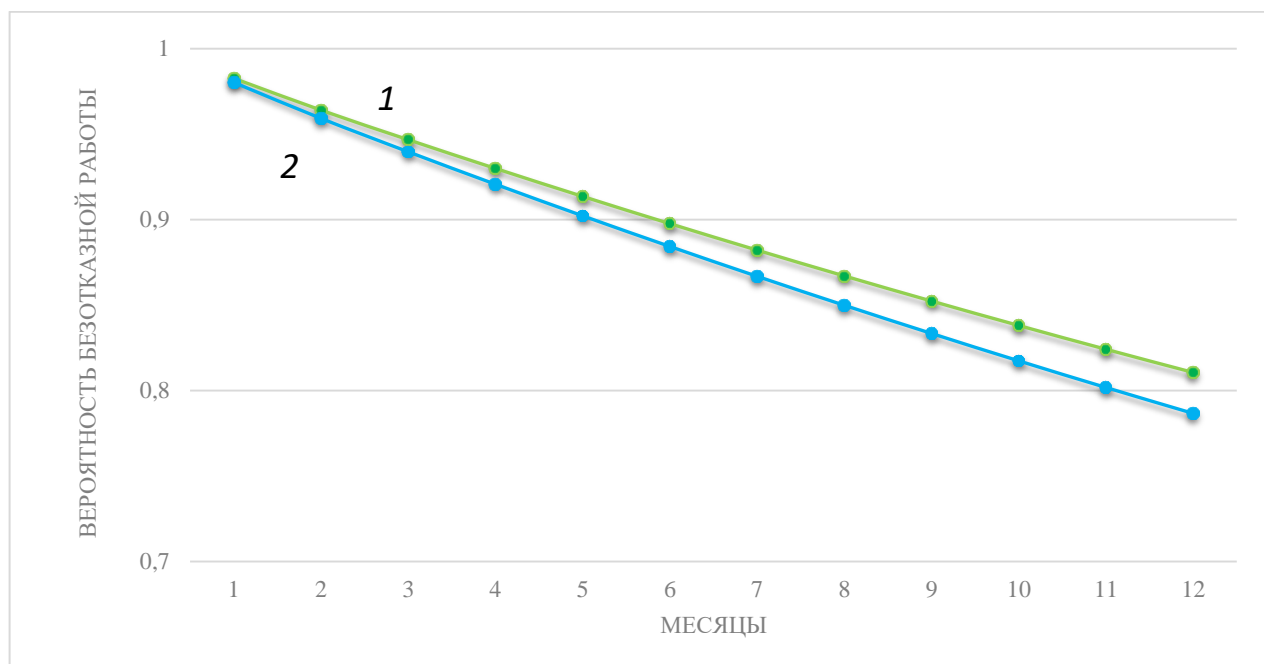


Рисунок 1.8 – Графики функций вероятностей безотказной работы АУПС в зависимости от времени на производственных объектах при:

$$1 - \lambda_{\text{отк}}^{\text{сред}} = 21 \text{ год}^{-1}; 2 - \lambda_{\text{отк}}^{\text{сред}} = 24 \text{ год}^{-1}$$

Графики функции вероятностей безотказной работы АУПС представлены кривыми, удовлетворяющими выражению $P(t) = e^{-\lambda_{\text{отк}}t}$ (показательный закон распределения). За рассматриваемый период времени минимальное значение параметра надежности АУПС на производственных объектах, включая объекты энергетического комплекса, равен 0,78, а средняя величина параметра надежности составляет 0,81. Полученные значения напрямую указывают на необходимость использования для защиты объектов энергетического комплекса СОП с более высоким уровнем надежности. Учитывая тот факт, что коэффициент обнаружения

$K_{\text{обн}}$, характеризующий надежность СОП, равен 0,8 полученные расчетные величины являются критическими [26; 28; 34; 40; 42; 45].

Как показывает анализ статистики по пожарам на объектах энергетического комплекса гибель сотрудников на объектах и высокие материальные потери, во многих случаях, возникают из-за нарушений в работе системы АУПС, что в конечном итоге часто является причиной выхода из строя объекта энергетики в целом. К ключевым недостаткам проводных АУПС можно отнести большое количество точек отказа из-за наличия проводных соединений. Поэтому использование более надежных беспроводных систем обнаружения пожара (БСОП) является одним из способов повышения уровня защиты от пожаров на объектах энергетического комплекса.

Технологии использования БСОП активно развиваются, основное преимущество БСОП состоит в том, что они обеспечивают защиту от ложных срабатываний, применении технологий, гарантирующих бесперебойную работу систем, а также оперативную передачу оповещения о пожаре диспетчеру ближайшей пожарно-спасательной части.

1.7 Выводы по главе

1. Проанализированы документы, регламентирующие порядок функционирования и развития энергетического сектора Российской Федерации. Определены основные векторы развития ТЭК, в компетенцию которых входят вопросы обеспечения безопасности страны в области энергетики. Общее развитие Российской Федерации подтверждает тот факт, что безопасность протекания процессов на объектах ТЭК является основой развития сильного государства, что в свою очередь подтверждает важность проводимого исследования, направленного на изучение вопросов обеспечения противопожарной защиты объектов энергетического комплекса.

2. Проведен анализ статистических данных по обеспечению пожарной безопасности объектов ТЭК Российской Федерации за 2013 – 2020 гг. Результаты

анализа показали положительную динамику уменьшения числа пожаров, но вместе с тем неуклонный рост показателей материального ущерба. Это объясняется применением на подконтрольных объектах систем пожарной сигнализации с невысоким уровнем надежности, как следствие, несвоевременной передачей сигнала о возгорании, с последующим быстрым развитием пожара, деформацией несущих конструкций, уничтожением оборудования и выходом из строя объекта.

3. Проведен анализ наиболее резонансных пожаров на объектах энергетического комплекса, которые повлекли за собой гибель людей, огромные убытки и перебои в подаче электроснабжения. Анализ позволил определить основной вектор развития систем пожарной защиты объектов энергетического комплекса. Результаты показали, что применение АУПС позволяет сократить количество погибших на пожарах людей до 4 раз.

4. Получено минимальное значение параметра надежности АУПС на объектах энергетического комплекса, которое составляет величину 0,78, а среднее значение – 0,81, что напрямую указывает на необходимость использования для защиты объектов энергетического комплекса БСОП с более высоким уровнем надежности.

ГЛАВА 2 ПРОГРАММНО – АППАРАТНЫЙ КОМПЛЕКС БЕСПРОВОДНОГО МОНИТОРИНГА ПОЖАРНОЙ БЕЗОПАСНОСТИ ОБЪЕКТОВ ЭНЕРГЕТИКИ В ЦИФРОВОЙ СЕТИ СВЯЗИ МЧС РОССИИ

2.1 Цель, назначение и области применения комплексной системы пожарного мониторинга на объектах энергетики

Целью создания комплексной системы пожарного мониторинга на объектах энергетического комплекса (КСПМ) являются:

- постоянный контроль за работой АУПС объектов энергетического комплекса;
- оперативная передача информации о работе АУПС и возникновении внештатных ситуаций (в том числе пожаров и ЧС) на объектах защиты дежурной смене ГУ НЦУКС, для проведения своевременных мероприятий по их устранению;
- повышение надежности и качества работы систем автоматического мониторинга пожарной безопасности объектов энергетики за счет реализации проактивного мониторинга.

Назначением КСПМ является:

- мониторинг и управление АУПС объектов энергетического комплекса;
- сбор данных о состоянии АУПС;
- оповещение о произошедших событиях;
- поддержка принятия решений при устранении внештатных ситуаций, зафиксированных в комплексной системе пожарного мониторинга;
- контроль выполнения и эффективности принятых решений;
- предоставление оперативно – дежурной смене центра управления в кризисных ситуациях по субъекту Российской Федерации (ОДС ЦУКС) обобщенной информации о состоянии АУПС на объектах энергетического комплекса;

– формирование и предоставление ОДС ЦУКС отчетности о работе АУПС объектов энергетического комплекса.

АУПС объектов энергетического комплекса являются объектом управления КСПМ объектов энергетики. КСПМ используется для трансляции сигнала о внештатных событиях на объектах энергетического комплекса ОДС ЦУКС [37].

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» [34].

Эксплуатация КСПМ представляет собой совокупность людских и материальных ресурсов, организационных и технических мероприятий по подготовке и использованию оборудования и программного обеспечения КСПМ по назначению, его техническому обслуживанию, направленных на обеспечение надежного функционирования.

Объектом эксплуатации является КСПМ, состоящей из программно–аппаратного комплекса и смежных подсистем – средств электропитания и технического обеспечения.

Организация эксплуатации оборудования КСПМ включает комплекс организационно – технических мероприятий по управлению процессами технической эксплуатации и технического обеспечения с целью обеспечения непрерывной работоспособности и максимально эффективного использования технических возможностей комплекса. Для обеспечения функционирования КСПМ налажено организационное обеспечение процессов эксплуатации и описан механизм реагирования на возникновение внештатных ситуаций.

Полномочия, задачи и круг ответственности руководства и оперативно–дежурной смены определяются положениями, должностными инструкциями и другими регламентирующими и эксплуатационными документами в соответствии с задачами, возложенными на соответствующие подразделения, и должностных лиц [14].

2.2 Принципы построения программно–аппаратного комплекса беспроводной системы пожарного мониторинга, его архитектура и основные функции

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.

К основным функциям КСПМ относятся следующие:

1. Автоматическое определение сетевого оборудования и топологии сети.
2. Автоматическое определение вида, модели и марки АУПС на объектах энергетического комплекса, объединенных единой системой, а также наглядное отражение их текущего состояния.

3. Возможность назначения администратором системы какого-либо параметра или определение уровня взаимодействия каких-либо элементов, если КСПМ не провела идентификацию АУПС на объекте энергетического комплекса в автоматическом режиме. Сервер КСПМ осуществляет взаимодействие с АУПС на объекте через ВЦСС. Сообщения, поступающие с объекта от АУПС, имеют определенную структуру: характер происшествия, время, место, номер объекта, адрес и т.д. Все события по умолчанию сохраняются в архив и логируются в системе. Лог-файл хранится на центральном сервере [46; 120].

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.

Механизм корреляции и распознавания источников неисправностей дает возможность дежурному ОДС ЦУКС иметь полную картину о событиях, вызвавших ту или иную ситуацию, вся информация хранится в единой базе данных.

2.3 Основные технические решения по организации безотказной работы программно – аппаратного комплекса системы пожарного мониторинга в ведомственной цифровой сети связи с интеграцией услуг МЧС России

В качестве устройств хранения данных используются локальные диски, установленные в сервера. Для обеспечения требуемого уровня производительности и отказоустойчивости хранения данных, используется технология отказоустойчивого массива RAID10, сочетающая высокие показатели скорости и надежности дискового обмена.

Учитывая то, что технология RAID10 обеспечивает возможность работы дисковой системы обоих серверов без деградации скорости при единичном выходе из строя любого жесткого диска любого из серверов, каких-либо мероприятий по восстановлению данных и введения особого (сервисного) режима эксплуатации предусматривать нет необходимости.

В качестве технической реализации КСПМ используются персональные компьютеры (ПК), установленные на рабочих местах ОДС. Соответствующие характеристики ПК (таблица 2.1).

Таблица 2.1 – Характеристики аппаратной и программной конфигурации ПК оперативно–дежурной смены для установки клиентского программного обеспечения КСПМ

Показатель	Характеристика
ОЗУ	Не менее 2 ГБ
Свободное дисковое пространство	2,2 ГБ
Операционная система	Не менее Windows XP/7/Vista/ 8.1
Версия Java	Не ниже Java 1.7 update 25
Версия и параметры браузера	Firefox 22/Firefox 24 ESR/Internet Explorer 9.0/ Google Chrome versions 29:JavaScript – Включено; – Cookies – Включено; Всплывающие окна – Включено; – Security (SSL) – Включено
Сетевой адаптер	100/1000BaseTX
Количество мониторов	Один монитор с разрешением не менее 1280 x 960

Оборудование размещается в серверном помещении по адресу г. Москва, ул. Ватутина д.1 и подключается к сети электропитания серверной через блоки PDU, размещённые в каждом монтажном шкафу. Сервера, имеющие два блока питания, подключаются к двум разным PDU в одном монтажном шкафу. Массогабаритные и электрические характеристики серверов приведены в таблице 2.2.

Таблица 2.2 – Массогабаритные и электрические характеристики серверов

Сервер	Размеры	Количество и тип кабелей электропитания	Мощность, Вт.	Энергопотребление, Вт.	Вес, кг.	Тепловыделение, BTU/hr.
Cisco C240SFF M3 #1	8.7x44.5x71. 2 см (2RU)	C13–C14, 2 шт.	2400	482	27.2	1510
Cisco C240SFF M3 #2	8.7x44.5x71. 2 см (2RU)	C13–C14, 2 шт.	2400	482	27.2	1510
Итого:	4 RU	4 шт.	4800	964	54.4	3020

Оборудование КСПМ подключается к существующей сети ВЦСС интерфейсами 1000BaseT в существующий коммутатор Cisco Nexus 2248 в помещении серверной. Подключение осуществляется в сегменты транспортной сети и сети управления. Подключение производится медными патч–кордами с разъемами RJ45.

Схема организации физического уровня подключения к ВЦСС представлена на рисунке 2.1.

ГУ НЦУКС
г. Москва, ул Ватутина, д. 1

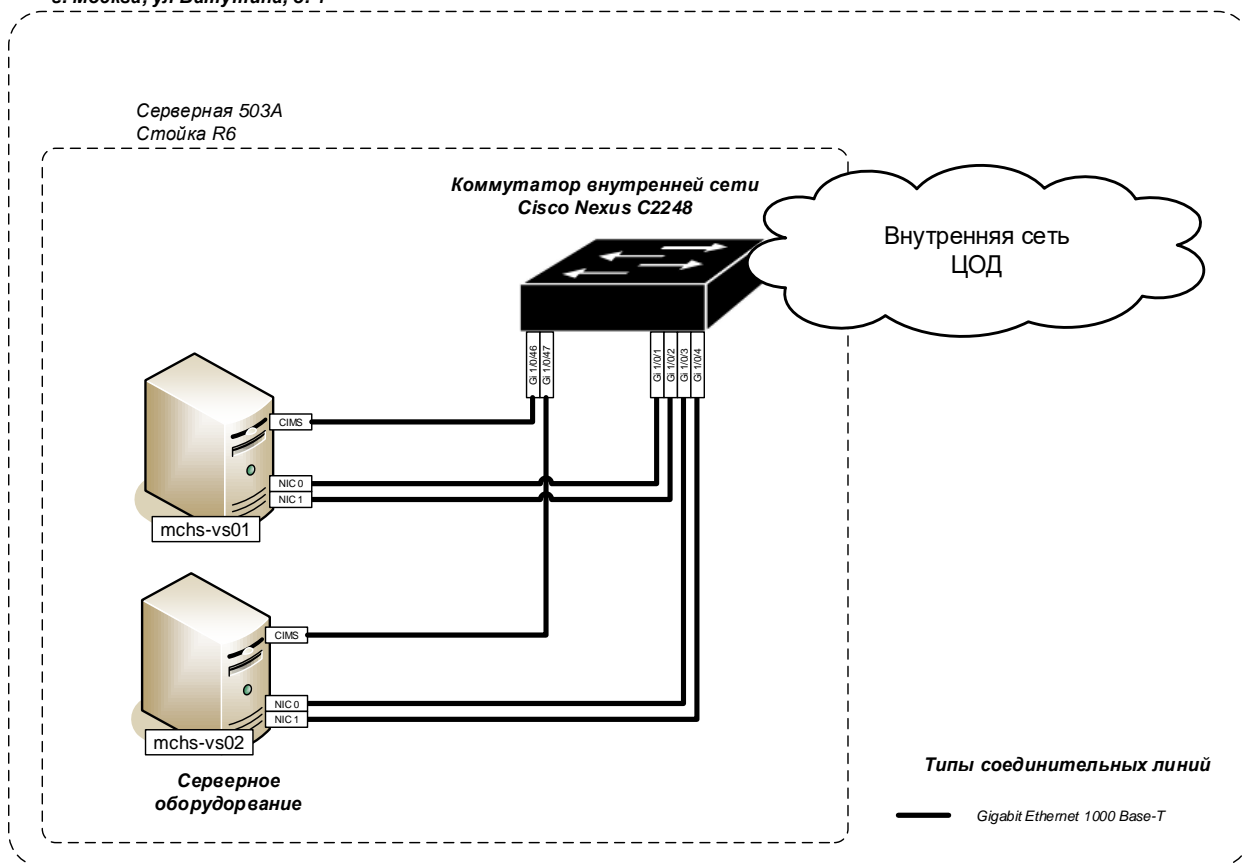


Рисунок 2.1 – Схема организации физического присоединения к ВЦСС

Мониторинг и управление режимами работы КСПМ на уровне различных компонент осуществляется следующим образом (таблица 2.3):

Таблица 2.3 – Средства управления режимами работы КСПМ

Режимы работы	За счет чего осуществляется
Мониторинг операционных показателей функционирования КСПМ	Встроенные в КСПМ средства мониторинга
Настройка основных параметров работы КСПМ	Приложение Cisco Prime Network Administrator Web-интерфейс Cisco Prime Performance
Управление режимом работы сервисов, настройка Системных параметров тонкие настройки Системы	Системные утилиты, запускаемые из командной строки CLI, SSH доступ к консоли операционной системы серверов
Мониторинг состояния и производительности виртуальных машин	Vmware Vsphere Client

При развертывании КСПМ и подключении к ней оборудования, в базе данных (БД) КСПМ формируется набор информации, ассоциированный с оборудованием, а именно:

- аппаратная конфигурация оборудования;
- сведения о версиях программного обеспечения;
- конфигурационная информация и история ее изменений;
- статистика основных показателей работы оборудования (операционная информация);
- сведения об административной принадлежности оборудования и каналов связи и прочая информация, необходимая для эффективной эксплуатации сети.

Вся информация собирается КСПМ автоматически, кроме сведений об административной принадлежности оборудования и каналов связи [92].

Сведения об административной принадлежности оборудования и каналов связи заносятся в ходе внедрения КСПМ в БД вручную и формируют так называемый Business Tag: набор эксплуатационной информации о сетевой сущности, позволяющий повысить эффективность разрешения внештатных ситуаций.

Набор информации, входящей в Business Tag, должен включать:

- наименование, под которым устройство отображается на схемах;
- адрес установки оборудования.
- Ф.И.О. контактного лица (администратора), отвечающий за данное оборудование на площадке;
- информация для оперативного взаимодействия с контактным лицом (телефон, e-mail);
- информация об операторе, предоставляющего канал связи (для арендованных каналов связи);
- номер контракта с оператором связи (для арендованных каналов связи);
- телефон службы поддержки оператора (для арендованных каналов связи).

Создание и выполнение команд доступно только ОДС ЦУКС.

Выполнение простейших команд реализуется через интерфейс Prime Vision GUI, для запуска скриптов необходимо использовать Command Manager.

В составе КСПМ предусмотрен программный компонент Cisco Prime Network Change and Configuration Management (CCM), предоставляющий средства мониторинга конфигураций активного сетевого оборудования, позволяющие:

- периодически получать и сохранять в базе данных текущую и сохраненную версии конфигурации оборудования;
- анализировать изменения в конфигурационных файлах и выявлять различия между различными версиями конфигураций;
- производить возврат конфигураций оборудования до требуемой версии конфигурации;
- определять наличие несохраненных изменений в конфигурациях устройств.

Для получения и передачи на устройства конфигурационных файлов и имиджей программного обеспечения (ПО) используются протоколы FTP/TFTP. FTP сервер является частью ПО Cisco Prime Networks.

Информационная безопасность и защита от несанкционированного доступа к данным и функциям управления реализуется подсистемой обеспечения безопасности информации (ПОБИ) следующим образом:

- размещением оборудования КСПМ в сегменте, не имеющем выхода в сети общего пользования (Интернет);
- наличием систем контроля доступа в помещения, в которых располагаются серверы и АРМ КСПМ;
- внутренними распорядками хранения и использования электронных и иных документов, создаваемых КСПМ;
- средствами аутентификации пользователей с помощью учетной записи и пароля, применяемых для ограничения доступа пользователей к интерфейсам КСПМ;

- наделением пользователей различными привилегиями и правами доступа в зависимости от должностных обязанностей;
- средствами аутентификации пользователей с помощью учетной записи и пароля, применяемой на уровне операционной системы АРМ и серверов в случае удаленного доступа;
- средствами аутентификации пользователей с помощью учетной записи и пароля на уровне интерфейса СІMS;
- средствами аутентификации пользователей с помощью учетной записи и пароля на активном сетевом оборудовании, контролируемой централизованным сервером контроля доступа;
- использованием защищенного протокола SSL в приложении Prime Networks;
- использованием защищенного протокола HTTPS при обмене данными между клиентом и сервером Prime Performance.

Основными целями обеспечения информационной безопасности является поддержка и сохранение таких свойств информации, как конфиденциальность, целостность и доступность информации в КСПМ. ПОБИ представляет собой комплекс организационных мероприятий, документированных процедур, технических средств защиты информации, включая средства криптографической защиты информации, а также технологий их применения, и, исходя из модели угроз и вероятного нарушителя информационной безопасности.

ПОБИ КСПМ предназначена для обеспечения защиты информации от действующих угроз информационной безопасности в соответствии с моделью угроз и моделью нарушителя. Общая схема взаимодействия подсистем в рамках ПОБИ КСПМ представлена на рисунке 2.2.

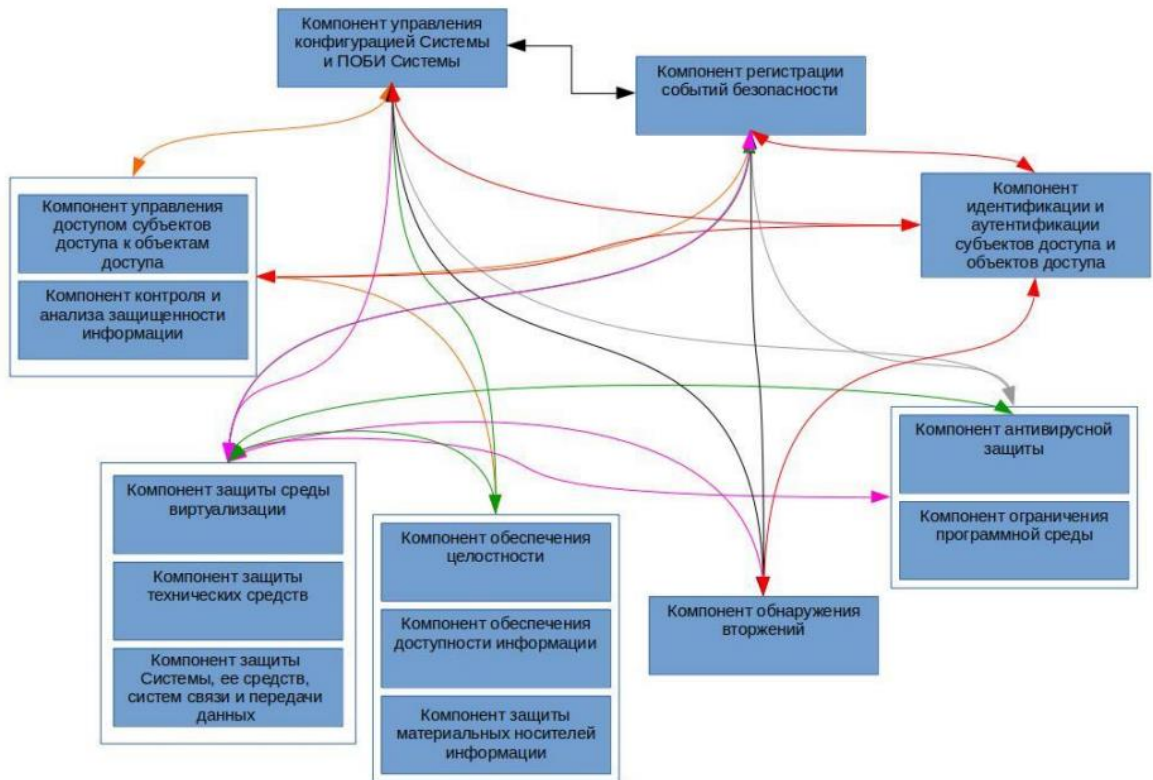


Рисунок 2.2 – Общая схема взаимодействия подсистем в рамках ПОБИ КСПМ

Резервные копии данных и конфигурации КСПМ формируются автоматически по расписанию. Создаваемые резервные копии хранятся в отдельных директориях на серверах КСПМ. Сервер Prime Network выполняет резервное копирование данных сервера Network Gateway и интегрированной СУБД Oracle по расписанию. Для долговременного хранения резервных копий должна использоваться внешняя система хранения, организованная на базе сервера [9; 19; 46].

Регламент резервного копирования должен предусматривать еженедельное копирование всех имеющихся резервных копий на внешнюю систему хранения и хранение там не менее 5 последних полных копий за предыдущие 5 недель эксплуатации КСПМ. Размер хранилища для резервных копий следует определять исходя из размера одной резервной копии порядка 150 Мб, т.е. общий размер хранилища должен составлять около 750–800 Гб.

При выходе из строя нескольких локальных дисков серверов системы и RAID10 массива в целом, данные КСПМ может быть восстановлены из последней резервной копии.

В случае фиксации КСПМ внештатных ситуаций высокой степени критичности ОДС ЦУКС, руководство подразделений ЦУКС должны получать уведомления об инцидентах.

Уведомления рассылаются по электронной почте или SMS сообщениями.

Рассылка уведомлений на электронную почту осуществляется по протоколу SMTP. Текст e-mail уведомления включает:

- наименование инцидента;
- время возникновения инцидента;
- наименование объекта защиты.

Рассылка уведомлений в формате SMS на мобильные телефоны сотрудников МЧС России осуществляется через SMTP-SMS шлюз МЧС России.

2.4 Разработка механизма сопряжения систем радиоканального мониторинга объектов энергетики с каналами ведомственной цифровой сети связи МЧС России

Реализация механизма контроля за состоянием АУПС объектов энергетического комплекса предполагает интеграцию автоматических систем радиоканального мониторинга (АСРМ) объектов защиты с каналами ВЦСС. Основой ВЦСС является программное обеспечение Cisco Prime Carrier Management.

Система создается с централизованной архитектурой, с резервированием компонентов.

Архитектура Системы представлена на рисунке 2.3.

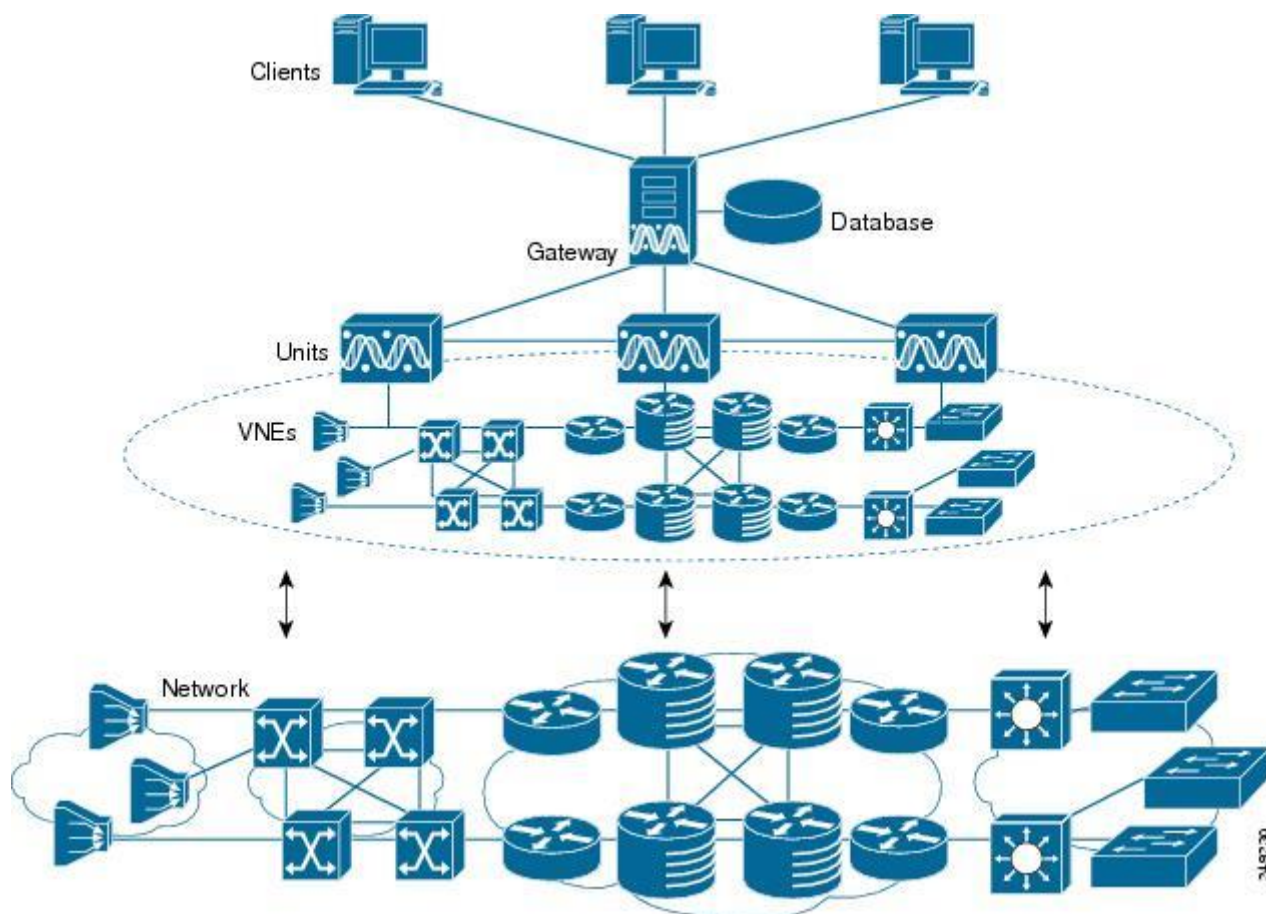


Рисунок 2.3 – Архитектура системы и ее взаимодействие с ВЦСС

Ключевыми понятиями в ВЦСС являются unit, AVM, и VNE.

Каждый unit взаимодействует с группой элементов по поддерживаемым протоколам.

AVM представляет собой Java процесс, предоставляющие системные ресурсы для функционирования многочисленных VNE. Как и все Java процессы, AVM имеют выделенную память для выполнения кода, обеспечивающего мониторинг и управление VNE. AVM и VNE могут находиться на одном и том же физическом сервере, в случае роста количества заведенных в ВЦСС устройств, количество серверов должно увеличиваться в соответствии с рекомендациями производителя.

Некоторые AVM зарезервированы, т.е. используются ВЦСС, другие могут создаваться пользователями и использоваться для размещения в них VNE. Prime

Network имеет процесс, контролирующий AVM и перезапускающий их в случае, если они останавливаются. Этот механизм называется AVM protection.

Ключевым архитектурным решением ВЦСС является наличие виртуальной модели физической сети передачи данных. Виртуальная модель обеспечивается за счет функциональности VNE (Virtual Network Element) виртуальный сетевой элемент. VNE представляет собой автономный эмулятор сетевого устройства, запущенный на Сервере Cisco Prime Unit. Каждый VNE взаимодействует с соответствующим оборудованием, определяет свое окружение, физическое и логическое состояние оборудования, сетевую связность, моделирует сетевое устройство [98].

VNE – автономные программные модели реальных устройств, функционирующие независимо либо параллельно друг с другом. Каждое VNE отвечает за одно физическое устройство. Оно содержит модель устройства, включая физическую и логическую структуру и связность с соседями. При создании VNE Система определяет тип устройства и собирает всю информацию о его логической и физической структуре.

Управление сеть через набор VNE обеспечивает масштабирование КСПМ и уменьшает эффект снижения производительности, позволяя КСПМ масштабироваться вместе с сетью. VNE делят сеть на модульные самодостаточные блоки. Уровень VNE аккумулирует информацию об изменениях в сети путем изменения состава VNE при изменении сетевой топологии.

Совокупность VNE позволяет динамически определять и идентифицировать устройства и сетевые компоненты, отражая актуальное состояние сетевого оборудования и состояние сети в целом, включая нормальные и аварийные состояния.

Наличие VNE позволяет эффективно решать задачи обработки и анализа данных с объектов энергетического комплекса.

Компонент Prime Network Gateway является ключевым компонентом КСПМ, он выполняет роль единого агрегатора для всей поступающей в систему информации о событиях сетевого мониторинга, взаимодействует с СУБД

и обеспечивает работу интерфейса пользователя. Сервисы Prime Network Gateway автоматически обнаруживают сетевое оборудование и обрабатывают получаемую информацию и поступающие события.

Компонент Prime Gateway Server выполняет следующие функции:

- хранение данных по всем управляемым объектам;
- хранение, обработка и сортировка сообщений от контролируемых объектов;
- выполнение действия и задание режимов опроса устройств серверами Prime Units;
- управление базой данных сообщений;
- контроль выхода заданных параметров за установленные границы и формирование сообщения об этом.

Для доступа к основным функциям КСПМ используется графический интерфейс пользователя, запускаемый в качестве Java-приложения на рабочем месте пользователя. Пользовательский интерфейс представляет информацию в виде перечня оборудования, событий, либо в виде графической карты. На карте отображаются как сами устройства, так и их физические соединения, что позволяет отслеживать статус устройств, портов, сегментов и каналов.

Для удаленного мониторинга и управления устройствами локальной вычислительной сети (ЛВС) управления используются протоколы Telnet и SNMP v2 [100; 101].

Для получения оперативных сообщений с устройств, поддерживающих протокол SNMP, используется механизм SMNP-предупреждений (SNMP traps) о наступлении различных событий. При этом SNMP-предупреждения принимаются станцией сетевого управления. Помимо передачи SNMP-предупреждений сетевое оборудование Cisco позволяет передавать все системные сообщения по протоколу Syslog на управляющий сервер, где они накапливаются в журнальных файлах.

Учитывая наличие различных типов информации, передаваемой с АУПС, не все данные должны собираться с одинаковой частотой. Для того чтобы обеспечить возможность КСПМ принимать и обрабатывать поступающую

от АУПС информацию, в КСПМ заданы группы опроса и циклы опроса. Циклы опроса – это время между последовательными опросами АУПС.

Существует несколько типов информации о состоянии АУПС и, соответственно, циклов опроса:

1. Статус. Информация о состоянии АУПС (включен/выключен), состояние портов, административный статус и т.д. Стандартный цикл опроса составляет 60 секунд.

2. Конфигурация. Информация о конфигурации АУПС опрашивается с частотой 360 секунд.

3. Система. Системная информация включает данные об имени устройства, его местонахождении и т.д. Стандартный цикл опроса составляет 900 секунд.

КСПМ позволяет использовать различные механизмы уведомления об изменениях состояния АУПС таких, как изменение конфигурации, обеспечиваемое путем отправки уведомлений SNMP traps, сообщений syslog или состояние переменной MIB «Entity last change», что инициирует в КСПМ новый цикл опроса оборудования. Эта возможность сочетается с низкой частотой опроса, что позволяет в любом случае идентифицировать изменения и поддерживать актуальное состояние VNE [115].

Получение и обработка КСПМ сообщений от АУПС осуществляется в Cisco Prime Network. Схема сбора событий представлена на рисунке 2.4.

Для реализации этой схемы необходимо:

- настроить сетевые элементы для отправки сообщения на сервер gateway;
- удостовериться, что все прочие Event Collectors, кроме сервиса на сервере gateway, отключены.

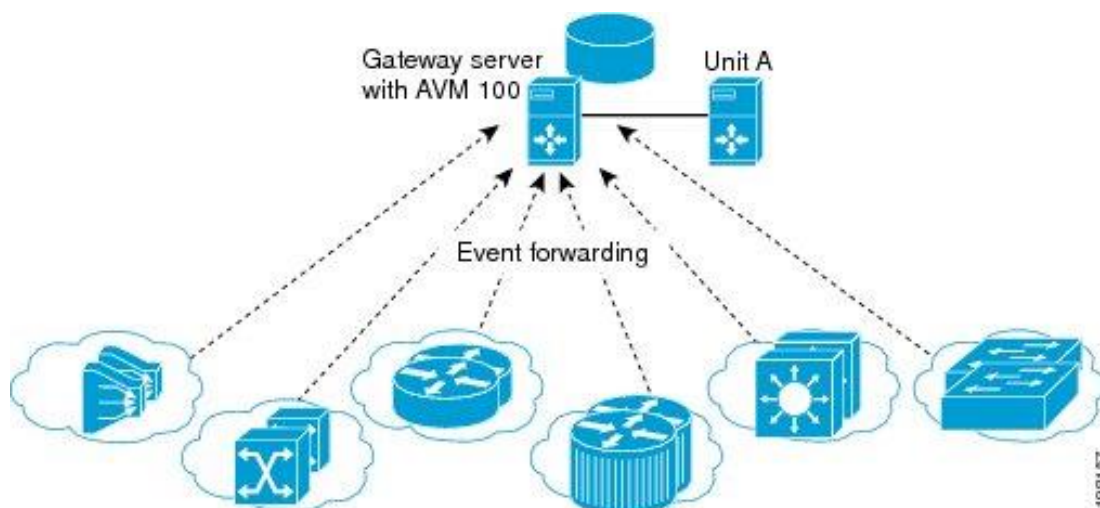


Рисунок 2.4 – Схема сбора КСПМ событий с управляемых устройств

КСПМ распознает входящие события как относящиеся к двум категориям:

- события, связанные с инцидентами (actionable events) – распознаются сервисом Event Collector и имеют стандартные обработчики в КСПМ. Они обрабатываются с точки зрения поиска корреляции события, дедупликации, анализа влияния на сеть и т.д.
- стандартные события (non-actionable events) – сообщения syslog и SNMP traps которые не распознаются сервисом Event Collector. Стандартные сообщения сохраняются в базу инцидентов в качестве архивных сообщений.

Для организации эффективной обработки внештатных ситуаций и снижения количества сообщений, поступающих к ОДС ЦУКС, используется следующий алгоритм обработки входящих сообщений и генерации записей об инцидентах. Входящим сообщениям, назначаются уровни критичности в соответствии с принципами, изложенными ниже.

В группу сообщений с уровнем «Критичный» попадают сообщения о следующих типах событий:

- сообщение о пожаре на объекте энергетического комплекса;
- недоступность сетевого оборудования;
- сообщение о неисправности оборудования и/или его компонентов;

– все прочие сообщений сохраняют свои значения уровней критичности по умолчанию, либо получают более низкие значения уровней критичности.

Созданные на основании полученных сообщений записи об инцидентах остаются в активном состоянии до момента, пока не будет ликвидирована внештатная ситуация.

2.5 Радиоканальная система поиска людей на объектах энергетического комплекса и управление эвакуацией людей

Внештатная ситуация на объекте энергетического комплекса может быстро перерасти в чрезвычайную ситуацию со значительными социальными и экономическими последствиями, поэтому следует оборудовать наиболее пожароопасные помещения объекта установками автоматического пожаротушения, которые при срабатывании должны обеспечивать интенсивную подачу огнетушащего вещества на площадь защиты не менее установленного предела, в целях обеспечения локализации и ликвидации возможного возгорания [85].

Особое внимание для уменьшения последствий пожара на объекте энергетического комплекса должно уделяться обеспечению своевременного оповещения персонала объекта и проведение мероприятий по их эвакуации в безопасное место. Система оповещения персонала объекта энергетики и направление на мобильное устройство маршрута движения до эвакуационного выхода разработана для выполнения этой задачи [64].

При возникновении пожара или другого рода ЧС на объектах энергетического комплекса большой проблемой является контроль за выполнением правил эвакуации людей, находящихся в технических помещениях объекта. Технический персонал может не заметить или не услышать предупреждение о пожаре или ЧС и начале эвакуации. Потеря времени может привести к завалу путей эвакуации, а воздействие опасных факторов пожара могут причинить непоправимый вред здоровью. Информация об их месте нахождения поможет прибывшему пожарному расчету оперативно принимать

оптимальные управленческие решения по эвакуации людей, а не тратить драгоценное время на их поиск и дальнейшую эвакуацию. Подключившись к радиоканальной системе поиска людей, руководитель тушения пожара (начальник караула), сможет скоординировать свои действия по спасению и эвакуации людей из здания.

В многоэтажных зданиях объекта энергетики, для идентификации сотрудника и определения его местонахождения, целесообразно применять роутеры WiFi, подключенные к локальной сети объекта. Системы определения местоположения абонента по средствам сотовых систем связи, покрывают большие площади радиосигналом и позволяют определить точное местоположение абонента, используя системы GPS, ГЛОНАС и т.д. [108; 109]. Однако, главным недостатком сотовых сетей связи, на примере многоэтажного здания объекта энергетики, является неспособность сотовых сетей идентифицировать этаж, на котором находится объект поиска. В то же время роутеры WiFi, включенные в единую сеть радиосвязи лишены этого недостатка.

Площадь уверенного приема сигнала, модулируемого роутером WiFi, по форме напоминает эллипс. Перекрытия здания имеют большую толщину, в отличии от стен, поэтому потери сигнала больше при прохождении через перекрытия (рисунок 2.5).

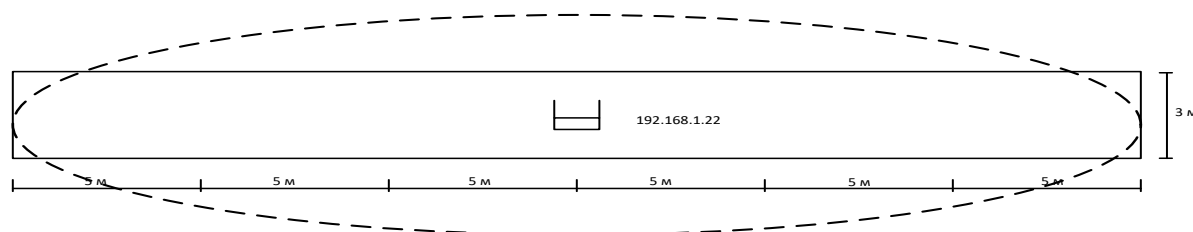


Рисунок 2.5 – Расположение роутеров по этажам здания объекта энергетики

Роутеры WiFi объединены в единую сеть связи по примеру сетевого адреса 192.168.1.XY, где X – этаж установки роутера, а Y – номер роутера на этаже по порядку (рисунок 2.6).

программы проверки качества подключения к сети. Программа в автоматическом режиме осуществляет проверку качества соединения и осуществляет соединение с близлежащими роутерами WiFi – сегментами сети связи при изменении локации сотрудника, а также осуществляет логирование изменения местоположения персонала в здании в базу данных информационно–управляющей системы оповещения (ИУСО) [119]. На сервер ИУСО WiFi роутер передает радиосигнал от мобильного телефона абонента, который находится в зоне его покрытия, как показано на рисунке 2.8.

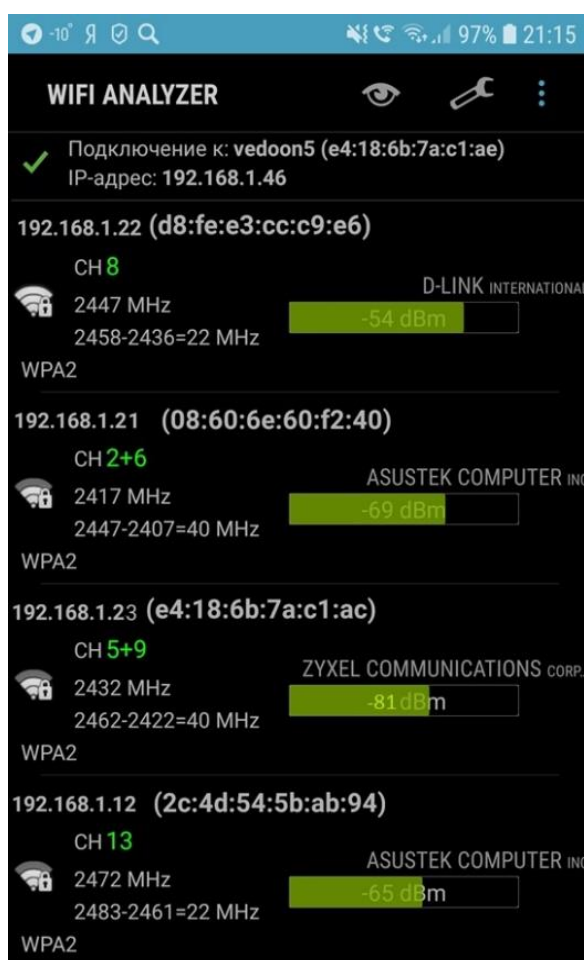


Рисунок 2.8 – Мощность сигналов от роутеров, в месте нахождения человека

Зная схему расположения роутеров WiFi, можно определить местоположение абонента, если его мобильный телефон ещё принимает остаточную мощность радиосигнала в заданной точке.

При расположении роутеров на плоскости каждый прямоугольник схематично может представлять собой отдельное помещение объекта энергетики. При пересечении стены радиосигнал ослабевает на 10 дБ. При пересечении перекрытия этажа, сигнал ослабевает на 20 дБ (рисунок 2.9).

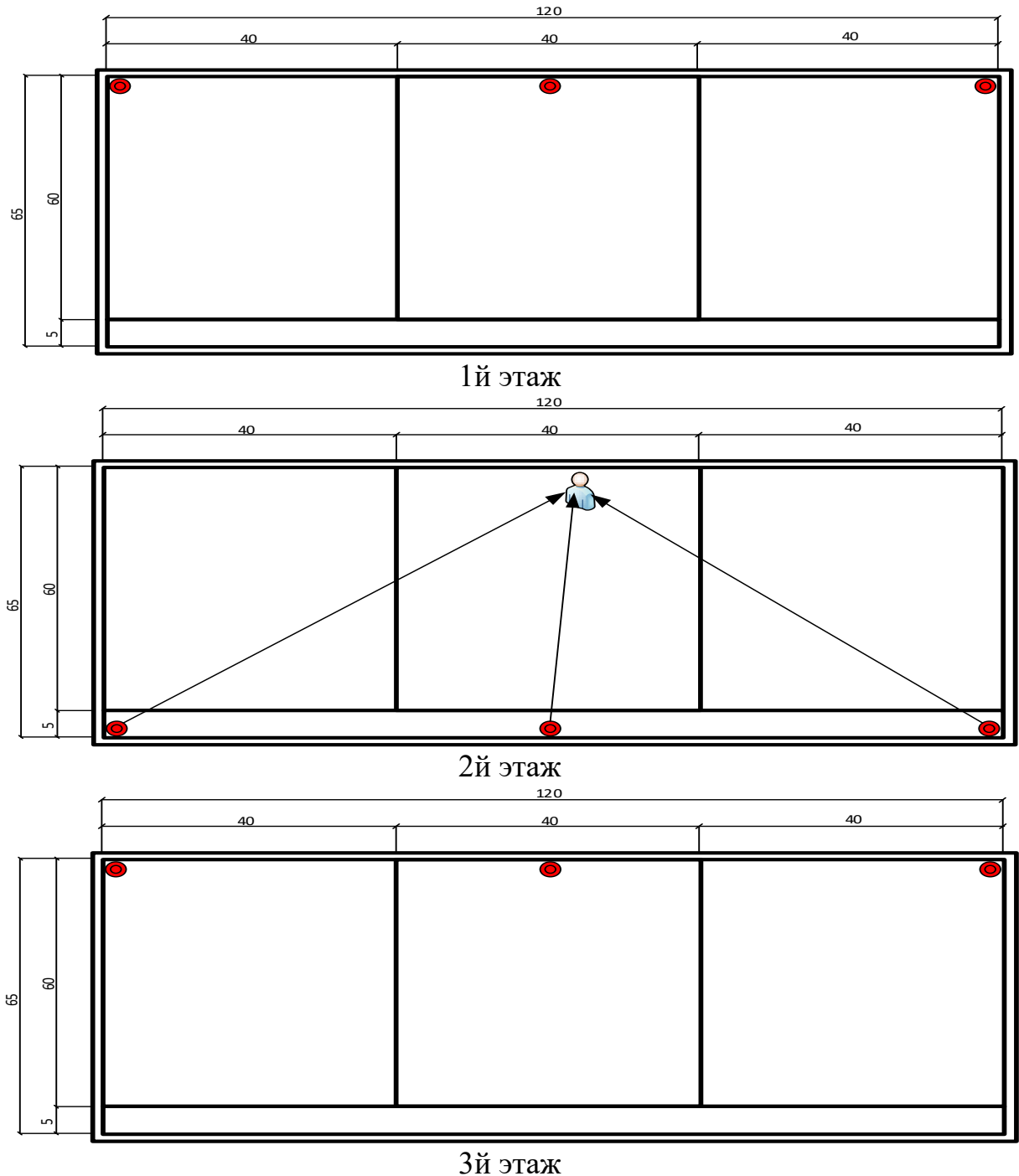


Рисунок 2.9 – Направления распространения сигналов от роутеров в местах нахождения человека в служебных помещениях типового объекта энергетики

Для расчета потери мощности радиосигнала при его распространении внутри зданий и помещений объекта энергетики используется статистическая модель (ITU–R 1238).

$$L = 20 \times \log f + N \times \log d + P_f(n) - 28,$$

где d – расстояние в метрах между передающей и приемной антеннами;
 f – рабочая частота радиоканала, на котором работает система связи (МГц);
 N – коэффициент потери мощности радиосигнала при распространении;
 n – количество препятствий (стен) между приемником и передатчиком;
 $P_f(n)$ – параметр потери мощности сигнала при его прохождении через препятствия.

Учитывая суммарные потери энергии радиосигнала при его распространении, уровень мощности сигнала на входе приёмника определяется из формулы:

$$P_{МСВП} = P_t + G_t + G_r - L,$$

где P_t – мощность передатчика, дБ/м (паспортные данные устройства);
 G_t – коэффициент усиления передающей антенны, дБ; G_r – коэффициент усиления приемной антенны, дБ; L – потери мощности сигнала при расчетах внутри зданий и помещений, объекта энергетики (при использовании статистической модели ITU–R 1238).

Для удобства проведения расчетов весь объем здания разбивается на кубы, размером $(0,5 \times 0,5 \times 0,5) \text{ м}^3$, и строятся расчетные матрицы для определения величин потери мощности сигнала служебных помещений – L и мощности сигнала на входе приемника – $P_{МСВП}$. Каждый роутер работает на своей несущей частоте $f_1 = 2412$ МГц, $f_2 = 2417$ МГц, $f_3 = 2422$ МГц, $f_4 = 2427$ МГц, $f_5 = 2432$ МГц, $f_6 = 2437$ МГц, $f_7 = 2442$ МГц, $f_8 = 2447$ МГц, $f_9 = 2452$ МГц [100].

Потери мощности сигналов внутри служебных помещений объекта энергетики определяются как:

$$L = \begin{cases} 20 \times \log f_1 + N \times \log d + P_f(n) - 28 \\ 20 \times \log f_2 + N \times \log d + P_f(n) - 28 \\ 20 \times \log f_3 + N \times \log d + P_f(n) - 28 \\ 20 \times \log f_4 + N \times \log d + P_f(n) - 28 \\ 20 \times \log f_5 + N \times \log d + P_f(n) - 28 \\ 20 \times \log f_6 + N \times \log d + P_f(n) - 28 \\ 20 \times \log f_7 + N \times \log d + P_f(n) - 28 \\ 20 \times \log f_8 + N \times \log d + P_f(n) - 28 \\ 20 \times \log f_9 + N \times \log d + P_f(n) - 28 \end{cases} \quad (2.1)$$

Мощности сигналов на входе приемника для 9-ти роутеров находятся определяется матрицей:

$$P_{МСВП} = \begin{cases} P_t + G_t + G_r - L_1 \\ P_t + G_t + G_r - L_2 \\ P_t + G_t + G_r - L_3 \\ P_t + G_t + G_r - L_4 \\ P_t + G_t + G_r - L_5 \\ P_t + G_t + G_r - L_6 \\ P_t + G_t + G_r - L_7 \\ P_t + G_t + G_r - L_8 \\ P_t + G_t + G_r - L_9 \end{cases} \quad (2.2)$$

Переданные мобильным аппаратом мощности сигналов от WiFi роутеров представлены в виде матрицы $M = P_{МСВП}k$,

$$M = \begin{cases} P_{МСВП1} \\ P_{МСВП2} \\ P_{МСВП3} \\ P_{МСВП4} \\ P_{МСВП5} \\ P_{МСВП6} \\ P_{МСВП7} \\ P_{МСВП8} \\ P_{МСВП9} \end{cases}, \quad (2.3)$$

где k – перебор всех уровней мощности сигнала на входе приёмника от роутеров в месте нахождения человека.

Численные значения матрицы M сравниваются с матрицей $P_{МСВП}$ и определяется точное местоположение мобильного аппарата потерпевшего человека. Следует учесть, что, разбивая служебное помещение здания на кубы, имеется возможность контролировать положение человека, т.е. он лежит или стоит.

Порядок функционирования радиоканальной системы обнаружения людей по мощности WiFi сигнала, который получает мобильный телефон от роутера WiFi в сети радиосвязи объекта энергетики отражен на рисунке 2.10. Для моделирования местоположения человека в помещении и расчетов матриц L и $P_{МСВП}$ применялась система MatLab R2018. Разработана 3D модель здания объекта энергетики с расположением источников WiFi сигнала по служебным помещениям (рисунок 2.11) [17; 27; 86; 123].

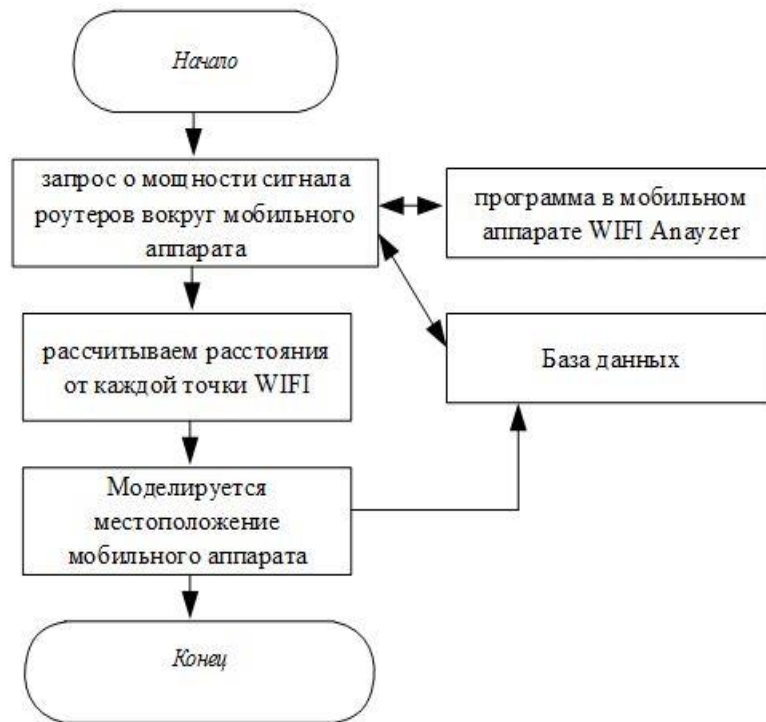


Рисунок 2.10 – Алгоритм поиска по мощности сигнала WiFi сигнала

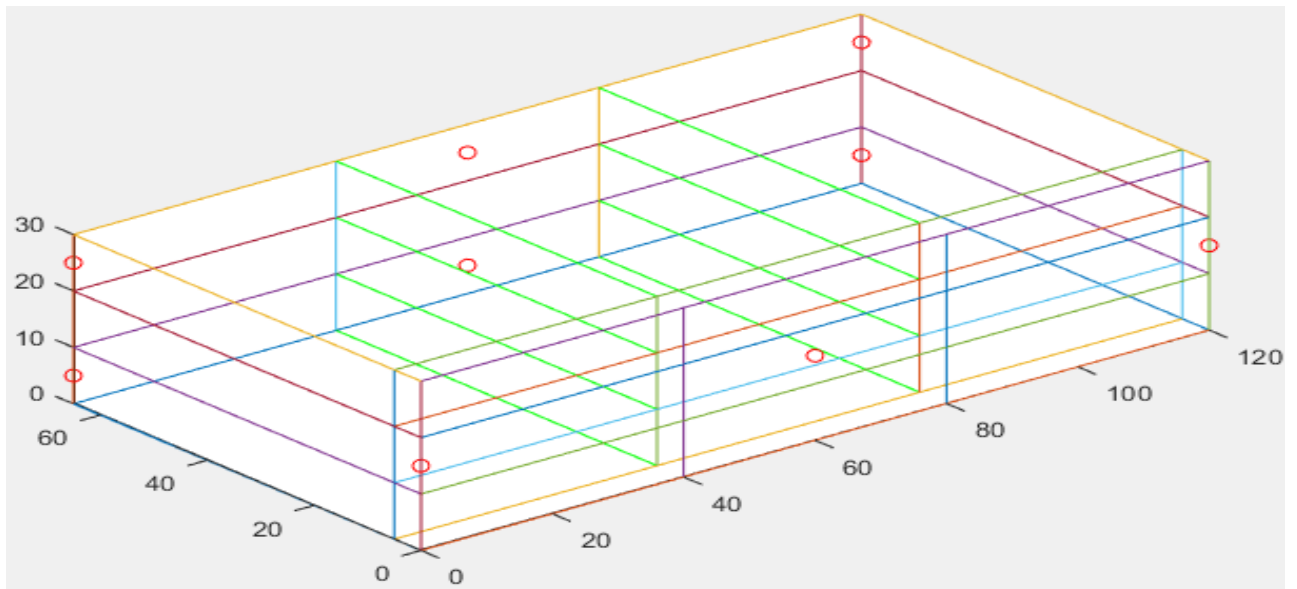
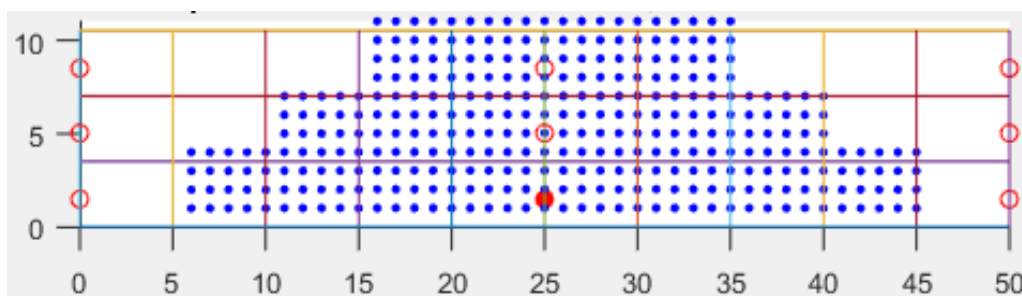
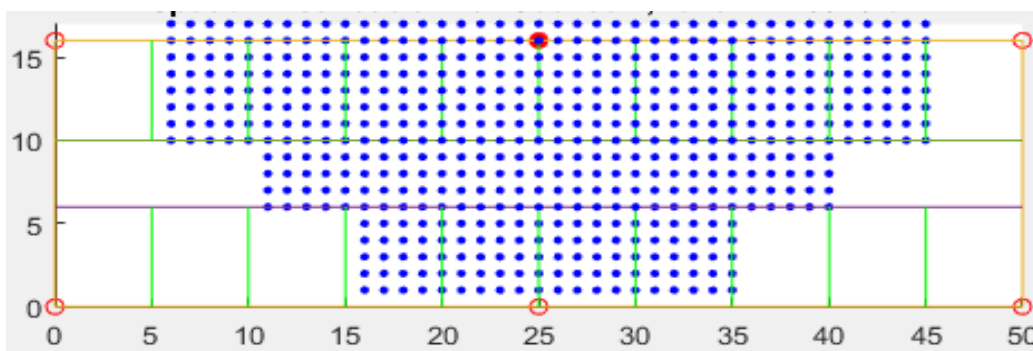


Рисунок 2.11 – 3D-изображение здания с расположением стен, перекрытий помещений и источниками WiFi сигнала.

Проверка визуализации пространственного распределения мощности сигнала для источника, размещенного в центре административного здания на первом этаже, распределение затухания мощности сигнала до половины уровня его ослабления в различных плоскостях показано на рисунке 2.12.



А

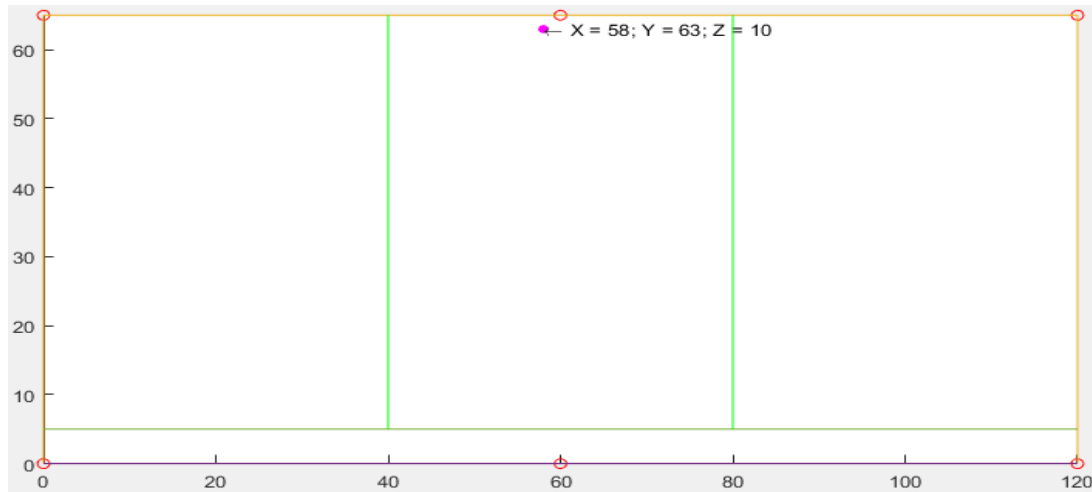


Б

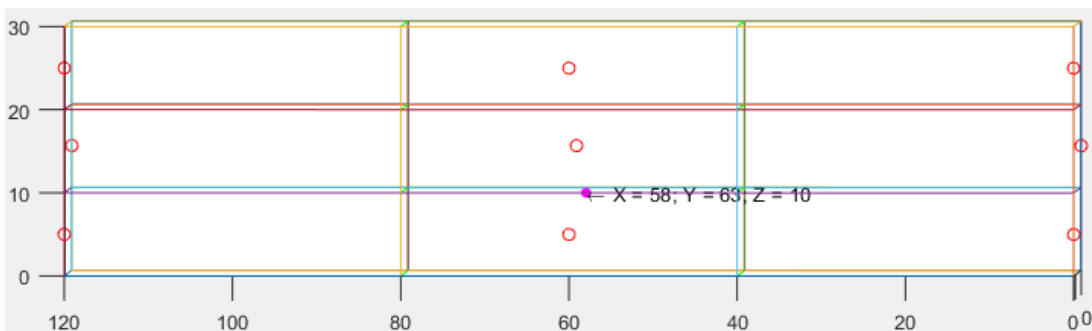
Рисунок 2.12 – Пространственное распределение мощности сигнала в центре административного здания на первом этаже с использованием программы моделирования MatLab R2018: А) вид слева, Б) вид сверху

Данные сканирования по всем источникам радиосигналов заданы вектором:
 $M = [-170.953 \ -40.850 \ -181.563 \ -204.368 \ -91.737 \ -214.679 \ -181.309 \ -59.446 \ -191.889]$.

Этот вектор сортируется по убыванию, выбираются два максимальных показателя и по ним проводится поиск ближайшей точки пространства, как представлено на рисунке 2.13.



А



Б

Рисунок 2.13 – Результаты поиска человека по вектору мощностей сигналов

А) вид слева, Б) вид сверху.

В алгоритме расчета маршрута эвакуации проверяется срабатывание датчиков и систем безопасности. Работа системы дополнительно отслеживается системой видеонаблюдения объекта на предмет ложного срабатывания.

Как видно на рисунке 2.13А человек находится в коридоре здания и ему ничего не угрожает, но в соответствии с рисунком 2.13Б видно, что пострадавший человек может потерять сознание и лежать на полу.

Учитывая большие площади машинного зала АЭС (рисунок 2.14) человек, потерявший сознание и лежащий на полу, может быть не обнаружен визуально [81].



Рисунок 2.14 – Машинный зал АЭС

Однако, используя радиоканальную систему поиска технического персонала, оснащенных персональными мобильными устройствами, даже лежащий пострадавший человек однозначно будет обнаружен и спасен [67; 88].

2.6 Система контроля персонала объекта энергетики по принципу радиочастотной идентификации

Анализ существующей практики эксплуатации объектов энергетического комплекса показывает, что наиболее тяжкие по своим последствиям внештатные ситуации, имевшие наименьшую долю вероятности, но причинившие существенный ущерб, напрямую коррелируют с действиями сотрудников, вывод – большой процент безопасной работы объекта энергетики напрямую зависит от работы персонала. Сотрудники несут большую ответственность как за свою безопасность, так и за безопасность объекта и окружающей среды.

Главная цель объекта энергетики обеспечение бесперебойного снабжения жителей электроэнергией. Специфика объекта энергетики – непрерывность

производственного процесса и безопасность производства, так как аварии на таких объектах могут оказать огромные негативные последствия на жизнедеятельность большого количества людей.

Обеспечение контроля доступа и координации перемещения персонала на объекте энергетического комплекса позволит повысить качество работы сотрудников, обеспечить своевременное оповещение о внештатных ситуациях, проводить эвакуацию в безопасную зону при возникновении угрозы жизни, а в случае проведения мероприятий по поиску людей – уменьшить время обнаружения [8; 53; 54]. Для этого должна быть использована комплексная информационно–управляющая система оповещения и контроля перемещения персонала на объекте энергетического комплекса, построенная на основе RFID–технологий.

Зона покрытия систем сотовой связи достаточно велика, местоположение абонента определяется с использованием систем GPS, ГЛОНАСС и т.д. Вместе с тем, сотовые сети связи нередко имеют низкий уровень сигнала на объекте ввиду наличия большого количества массивных перекрытий и технологических помещений. Системы поиска людей при пожаре или чрезвычайной ситуации в многоэтажных административных зданиях объекта энергетики аппараты сотовых сетей связи не способны дать достоверную информацию об этаже, на котором находится абонент [30; 33; 37; 57].

В то же время система, построенная на принципах технологий радиочастотной идентификации (RFID), включенные в единую сеть связи, этого недостатка лишена.

Развития технологии RFID привело к образованию систем несколько типов, в свою очередь, их можно классифицировать несколькими способами. Сам по себе термин RFID объединяет достаточно большой класс устройств идентификации.

История становления RFID показала, что их применение менялось по мере развития технологий. Каждое направление применений накладывает определенные узконаправленные требования к аппаратной части. Для более

тщательного рассмотрения особенностей технологии RFID и понимания возможностей ее функционала, а также для проектирования и разработки аппаратуры, нужно знать ее технические характеристики. Учитывая огромный спектр применения технологии RFID, это становится не легкой задачей. Вместе с тем есть основные характеристики, которые являются общими для всех применений. Наряду с техническими параметрами, к ним относятся стоимость аппаратной части, массогабаритные характеристики. Дальность считывания меток, быстродействие аппаратуры, надежность и отказоустойчивость канала связи – основные параметры аппаратуры RFID.

Считыватели и метки входят в состав всех систем RFID. В нашем случае, метки прикрепляются к одежде персонала, поэтому на них накладываются ограничения по размерам и стоимости. Считыватели, размещённые в здании, получают информацию от меток, прикреплённых к объектам наблюдения [103].

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 передаёт на сервер обработки информации системы. 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 2.15 [90; 102; 110; 114; 116].

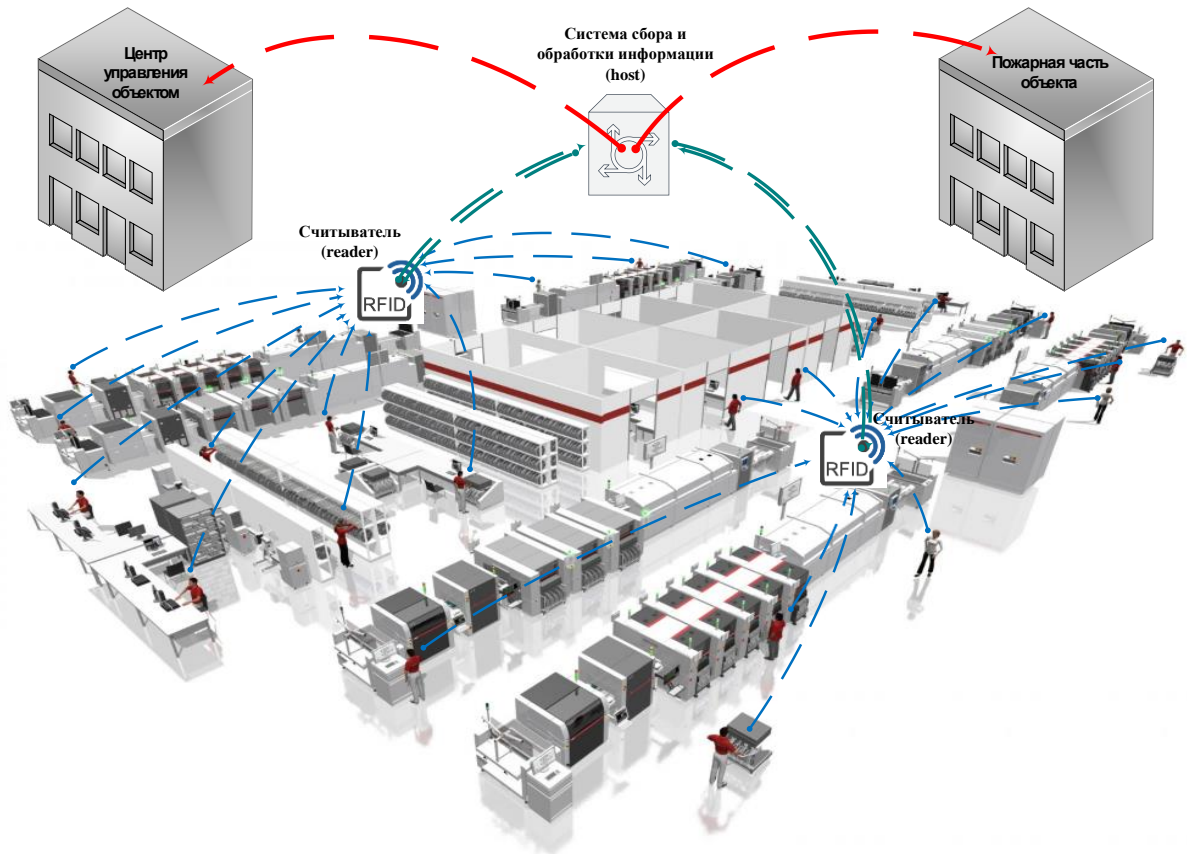


Рисунок 2.15 – Основные компоненты системы RFID

Классификация чиповых меток приведена в таблице 2.4.

Таблица 2.4 – Чиповые метки (с интегральной микросхемой)

По типу питания и передачи информации		
пассивные	полупассивные	активные
отсутствует источник питания и передатчик	оснащены источником питания но нет передатчика	оснащены источником питания и передатчиком
По возможности хранения информации		
считывание (read only)	считывание/запись (read/write)	
однократно программируется и многократно считывается	в память возможно многократно перезаписывать информацию	

Чиповые метки вызывают наибольший интерес по двум причинам:

1) в метке должен быть установлен достаточно большой объем памяти, чтобы иметь возможность хранить информацию о номерах объектов идентификации;

2) возможности считывателя должны обеспечивать считывание большого количества меток, расположенных в его зоне действия.

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

В сравнении с пассивными метками полуактивные имеют радиус действия до 50 метров, что существенно расширяет возможности их применения, но 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 [100].

Функции, выполняемые элементами, их основные характеристики и ограничения, в общем виде можно разделить на:

1. Общие для всех элементов:

- сеть передачи информации;
- административные регламенты;
- техническое исполнение;
- стоимостные показатели;
- быстродействие, надежность и совместимость аппаратуры.

2. Внутренние процессы элемента:

- реализация антиколлизии алгоритмов;
- обработка командных протоколов;
- излучаемая мощность, синхронизация и информация.

Функции считывателя и меток являются взаимодополняющими. Верхнеуровневые алгоритмы и командные протоколы реализуют механизм идентификации меток в зоне покрытия считывателя.

К основным компонентам системы относятся:

- система сбора информации (host);
- считыватель (reader);
- метки (tag);
- среда взаимодействия считывателя и метки (channel).

В процессе рассмотрения того, как осуществляется функционирование RFID-меток, необходимо уделить внимание мощности, воспринимаемой входящей в состав такой метки антенной. Некоторую составляющую 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 произвести расчет объема мощности, попадающей в нагрузку RFID-метки [103, 113].

Таким образом, в рамках настоящего исследования будет изучено, как отражается мощность до считывателя. Этот процесс требуется для того, чтобы налаживалась связь между самим считывателем и RFID-меткой.

Дальность функционирования аппаратуры, в состав которой включается антенна, одновременно реализующая как принимающий, так и приемный функционал, зависит от некоторых ее характеристик. Чтобы определить дальность функционирования аппаратуры, необходимо найти решения двух уравнений.

Первое уравнение имеет характер «энергетического». Им описывается, какой является прямая линия, в соответствии с которой энергия, излучаемая RFID-меткой, попадает на считыватель. Данная энергия расходуется для того, чтобы активные составляющие чипа могли функционировать.

«Энергетическое» уравнение в большинстве ситуаций лимитирует дальность распространения, на которой работают RFID–метки:

$$R_E = \left(\frac{k_E P G_R A_e}{4\pi S} \right)^{\frac{1}{2}}, \quad (2.4)$$

где R_E – дальность действия RFID–метки, P – мощность генераторной части считывающего узла, G_R – параметр, характеризующий степень усиления антенного сигнала, A_e – эффективная антенная площадь, S – уровень чувствительности RFID–метки, k_E – энергетический параметр.

Выражение (2.4) можно трактовать как уравнение радиосвязи (с определенными допущениями). Важно понимать, что в рассматриваемом случае в выражение добавлен параметр k_E . Коэффициент используется для того, чтобы принимать во внимание соотношение между мощностью того сигнала, что воспринимается чипом, и того сигнала, что отражается от метки.

Чувствительность метки (S) характеризует ту мощность, которая имеется на выходной части метки. Благодаря чувствительности чип, находящийся в контакте антенны, получает энергию, требуемую для того, чтобы он мог работать.

Следующее выражение является «модуляционным». Оно описывает обратную линию. В качестве обратной линии рассматривается процесс восприятия считывателем сигнала, который ранее находился на метке и был отражен ею:

$$R_M = \left(\frac{P G_R^2 \lambda^2 \Delta\sigma}{(4\pi)^3 S_R} \right)^{\frac{1}{4}}, \quad (2.5)$$

где R_M – дальность действия, на которой RFID–метка может осуществлять считывание сигнала, λ – длина электромагнитной волны, соответствующей сигналу, $\Delta\sigma = \sigma_{max} - \sigma_{min}$ – вариация эффективной поверхности рассеивания (ЭПР), S_R – чувствительность приемной части считывателя.

σ_{max} и σ_{min} – представляют собой самое большое и самое маленькое значения ЭПР соответственно. Данные показатели характеризуют вариацию нагрузки, с которой сталкивается чип, а также модуляцию антенного рассеивания

сигнала. В случае, если предположить, что модуляции ЭПР не существует, то выражение (2.5) трансформируется в стандартное уравнение радиолокации.

Показатель S_R характеризует чувствительность приемной составляющей считывателя. Чтобы найти его численное значение, необходимо определить, как соотносятся между собой сигнал и шум.

Как показывают проведенные расчеты в случае, если номер метки имеет размер 100 бит, а достоверность в считывании метки имеет значение 0,999, то отношение сигнал/шум должны характеризоваться соотношением между собой как минимум в 20 дБ.

Расчет значения уравнения (2.5) позволяет определить, какова максимально возможная дальность действия RFID-метки, в состав которой включается чип пассивного типа. Чтобы увеличивать дальность, необходимо добиваться согласования между функционированием самой метки и считывателя. Кроме того, следует добиться также и того, чтобы импеданс меточного чипа и антенны были согласованы между собой.

Выражение (2.5), таким образом, описывает, насколько далеко может действовать RFID-аппаратура, в состав которой включаются метки полуактивного типа [116; 118].

RFID-технологии эксплуатируют такой частотный диапазон, который ограничивается значениями 860–950 Гц. Как можно заявить по результатам изучения технических параметров RFID-аппаратуры, дальность, с которой она работает, определяется прежде всего частотным диапазоном. В процессе определения того, какая именно RFID-аппаратура станет использоваться в конкретной ситуации, необходимо исследовать зависимость, существующую между дальностью функционирования системы и протяженностью сигнальной волны. Чтобы провести такое исследование, введем следующие предположения:

- параметры P и G_R , характеризующие функционирование считывателя, всегда имеют постоянное значение;
- значения показателей A_e , ЭПР $\Delta\sigma$ антенны являются пропорциональными возведенной в квадрат величине, характеризующей длины сигнальной волны

квадрату λ , т.е. $A_e \approx k_1 \lambda^2$ и $\Delta\sigma \approx k_2 \lambda^2$, где k_1 и k_2 – параметры пропорциональности. Такое предположение, как правило, оказывается верным в большинстве практических ситуаций [90]. Учитывая сказанное выше, выражения (2.4) и (2.5) приобретают следующий вид:

$$R_E = \lambda \left(\frac{k_e P G_R k_1}{4\pi S} \right)^{\frac{1}{2}} \sim \lambda,$$

$$R_M = \lambda \left(\frac{P G_R^2 k_2}{(4\pi)^3 S_R} \right)^{\frac{1}{4}} \sim \lambda.$$

Таким образом, дальность действия RFID–систем, в состав которых включаются чипы полуактивного или пассивного типа, определяется прежде всего протяженностью сигнальной волны [103].

В RFID–системах не имеет большого значения то, насколько глубоко модулируется сигнал. Этот показатель пригоден для применения исключительно в характеристиках радиоинтерфейсов. Вместе с тем глубина модуляции сигнала, оказывает непосредственное воздействие на значение показателя k_E (а он влияет на то, какова дальность действия R_E системы). Ширина модуляция сигнального спектра может уменьшаться и увеличиваться, что также сказывается на итоговом значении $\Delta\sigma$. Все сказанное выше, как свидетельствует выражение (2.5), сказывается на дальности действия R_M аппаратуры [91; 93; 111].

Показатель M_f характеризует процесс считывания сигнала. Диапазон значений, установленных для данного показателя, ограничивается нулем и единицей. Параметр k_E непосредственно связан с глубиной модуляции. Данная связь может характеризоваться следующим выражением:

$$k_E = \left[(1 - M_f)^2 + Q M_f^2 \right], \quad (2.6)$$

где Q – скважность сигнала.

На рисунке 2.16 продемонстрирована существующая зависимость между глубиной модуляции M_f и значениями показателя k_E (для различных величин Q).

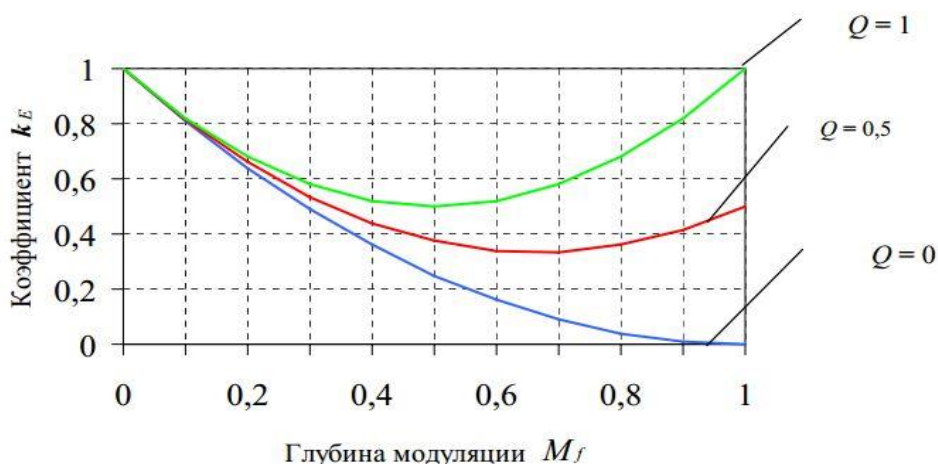


Рисунок 2.16 – Зависимость коэффициента k_E от глубины модуляции M_f .

Более удобным представляется кодирование, которое ведется при $Q \approx 0,5$. Если модуляционная глубина выбирается произвольным образом, а $Q = 0,5$, то значение энергетического параметра k_E вычисляется следующим образом:

$$k_E = 1 - 2M_f + 1,5M_f^2. \quad (2.7)$$

Как показывают значения, представленные на рисунке 2.16, в случае, если $M_f = 0,65$, k_E характеризуется минимальной величиной. Таким образом, данный показатель глубины модуляции характеризуется наименьшей степенью выгодности. Если же $M_f = 1$ (а именно это обеспечивается в подавляющем большинстве RFID-систем), то RFID, $k_E = 0,5$.

Чтобы рассчитать численное значение дальности действия, на которой может производиться считывание пассивных меток, следует воспользоваться следующим выражением:

$$R_M = \left[\frac{PG_R^2 \lambda^2 \sigma_{max} M_R^2}{(4\pi)^3 S_R} \right]^{\frac{1}{4}}. \quad (2.8)$$

Если менять значения импедансов в нагрузке вибраторного оборудования $\Delta\sigma < 0,75\sigma_{max}$, то можно достигнуть амплитудной модуляции, составляющей $M_{r\ max} = (0,75)^{\frac{1}{2}} \approx 0,866$. Это значение рассматривается в качестве максимально возможного.

Таким образом, приведенные выше расчеты позволяют утверждать, что максимально возможная энергетическая дальность считывателя, входящего в состав RFID–аппаратуры, составляет семь метров. Что касается модуляционной дальности оборудования, то она при соблюдении всех необходимых условий может достигать до 25 метров.

Применение выражений (2.4) – (2.8) позволяют уже на стадии проектирования прогнозировать каким характеристикам будет соответствовать RFID–аппаратура.

В процессе организации функционирования RFID–систем все пользователи, которые будут к ней подключены, рассматриваются как включенные в единую радиосеть. Таким образом, для каждого из таких пользователей станет предусматриваться уникальный адрес, имеющий тип 192.168.1.XY. При этом X – этаж, где располагается считыватель, а Y– номер считывателя, размещенного на конкретном этаже.

На рисунке 2.17 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 [118; 122].

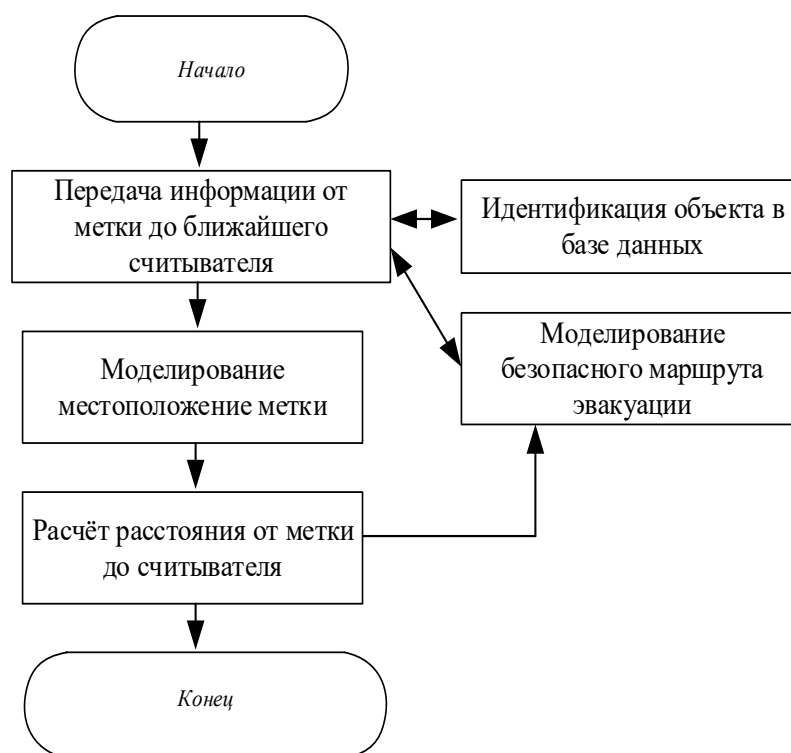


Рисунок 2.17 – Алгоритм определения местонахождения технического персонала на объекте энергетики

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. Те системы, в состав которых включены метки полуактивного типа, существенно превосходят по дальности действия системы, где метки являются пассивными. Применение двух выражений для выявления радиочастотной идентификации – это основа для создания RFID–систем, имеющих разные (по типу) метки, пригодные для эксплуатации в отличающихся условиях [51]. Автоматическое отслеживание меток, а также применение распределенные базы данных, позволит добиться высокого качества координации деятельности персонала, находящегося внутри защищаемого объекта. Все это способно положительно сказаться на качестве технологической и производственной деятельности, реализуемой в пределах объектов энергетики [116].

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.

2.7 Выводы по главе

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

2. Разработаны принципы построения программно–аппаратного комплекса беспроводной системы пожарного мониторинга и его архитектуры, предложены основные технические решения для отображения статуса самих объектов энергетики у диспетчера ОДС ЦУКС в соответствии с уровнем значимости сообщений о пожарах и ЧС, возникающих на этих объектах (критичный, важный и информационный режимы).

3. 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.

4. Впервые разработана беспроводная система оповещения и поиска людей в помещениях объектов энергетики с использованием RFID–технологий, что позволит обеспечить персонализированное обнаружение технического персонала объекта, формирование маршрута движения и последующую эвакуацию людей в безопасную зону.

ГЛАВА 3 РАЗРАБОТКА МАТЕМАТИЧЕСКОЙ МОДЕЛИ ФУНКЦИОНИРОВАНИЯ ЦИФРОВОЙ СИСТЕМЫ СВЯЗИ МЧС РОССИИ

3.1 Моделирование процесса обслуживания поступающих заявок от объектов энергетического комплекса

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 расчета 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 специфических особенностей функционирования систем связи, обеспечивает возможность распределить все заявки на обслуживание, подаваемые объектами, в соответствии с имеющимся у них приоритетом. Подобная сеть связи должна обладать прогнозируемым функционированием. Для этого необходимо разработать специальные математические модели, характеризующие процесс функционирования подобных систем.

Изучение потоков сообщений, передаваемых по сети связи, дает возможность сделать следующий вывод: временные промежутки, между поступающими сообщениями, являются случайными. Соответственно, определять особенности работы системы связи необходимо посредством аппарата теории

массового обслуживания (СМО). Для СМО можно выделить несколько важных понятий [10; 11; 29]:

1. Источник. В качестве источника рассматривается устройство (либо совокупность устройств), обеспечивающих возникновение заявок (сообщений), передаваемых для рассмотрения в КСПМ (такими устройствами могут являться WiFi-роутеры, RFID-метки, а также АУПС).

2. Входящий поток. Он характеризует, с какой частотой в систему поступают сообщения на обслуживание. Чтобы дать характеристику входящему потоку, необходимо использовать следующую функциональную зависимость:

$$A(t) = P\{\tau_k \leq t\},$$

где $\tau_k = t_k - t_{k-1}$ ($k \geq 1$) временные промежутки, отграничивающие друг от друга моменты, когда генерируются заявки. В теоретических исследованиях, как правило, изучаются ситуации, при которых функция $A(t)$, трансформируется в экспоненциальную, а именно:

$$A(t) = 1 - \exp(-\lambda t).$$

Таким образом, необходимо продемонстрировать, что распределение количества заявлений $n(t)$, генерируемых в течение временного промежутка t , относится к категории пуассоновских:

$$P\{n(t) = n\} = \frac{(\lambda t)^n}{n!} \exp(-\lambda t). \quad (3.1)$$

Формула (3.1) рассматривается как справедливая в той ситуации, когда источник, генерирующий заявки, является бесконечным. Если же система генерирует конечный объем заявок, при этом функция распределения описывается как $A(t) = 1 - \exp(-\lambda t)$, то распределение объема заявок $n(t)$ может быть охарактеризовано выражением ниже:

$$P\{n(t) = n\} = \binom{N}{n} [1 - \exp(-\lambda t)]^n \exp[-(N - n)\lambda t].$$

3. Процесс обслуживания может быть охарактеризован функцией, позволяющей рассчитать, время для выполнения k -го требования.

$$F(t) = P\{Q_k \leq t\}.$$

4. Количество приборов.

5. Дисциплина в обслуживании. Она предполагает, что обслуживание осуществляется в соответствии с определенными правилами (регламентирующими, в частности, как подбираются заявки, подлежащие обслуживанию в первоочередном порядке). В проектируемой системе имеются дисциплины обслуживания, не предполагающие выделение приоритета в пользу каких-либо заявок, а также дисциплины обслуживания, предоставляющие абсолютный приоритет заявкам некоторых типов.

6. Протяженность очереди в момент t характеризуется тем, сколько неудовлетворенных заявок присутствует в системе, а также сколько заявок в данный момент обслуживаются.

7. Интервал нагрузки обслуживающей техники. Данный интервал соответствует временному промежутку, который достаточен, чтобы все заявки оказались обслуженными. На основании интервала нагрузки можно определить, какие временные потери возникают в связи с нахождением заявки в системе.

8. Период занятости. В качестве периода занятости следует рассматривать промежуток времени, на протяжении которого сервер постоянно находится в нагруженном состоянии. Системное состояние в конкретный момент времени может быть описано функцией $m(t)$, т.е. протяженностью очереди, выбранной в произвольный момент времени t , а также функцией $\xi(t)$ – интервалом разгрузки техники, обеспечивающей обслуживание заявок, в произвольный момент t времени. В общем случае, такой процесс относится к категории немарковских законов распределения поступающих заявок, однако он может быть трансформирован и в марковский процесс [27].

Для дальнейшего исследования функционирования системы связи будет применяться теория СМО с использованием модифицированных соотношений Джейсуола. Суть 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 [20].

3.2 Математическая модель функционирования комплексной системы пожарной безопасности на объектах энергетики

Вычислительная сеть объектов энергетики характеризуется территориальным распределением. Во всех ЦУКС по субъектам Российской Федерации присутствуют узлы, которые обеспечивают их подключение к КСПМ и характеризуются топологией ячеистого типа. В ней присутствуют два центра, каждый из которых дислоцирован в пределах г. Москвы [34; 87; 97].

Топология сети связи, функционирующей в МЧС России представлена на рисунке 3.1.

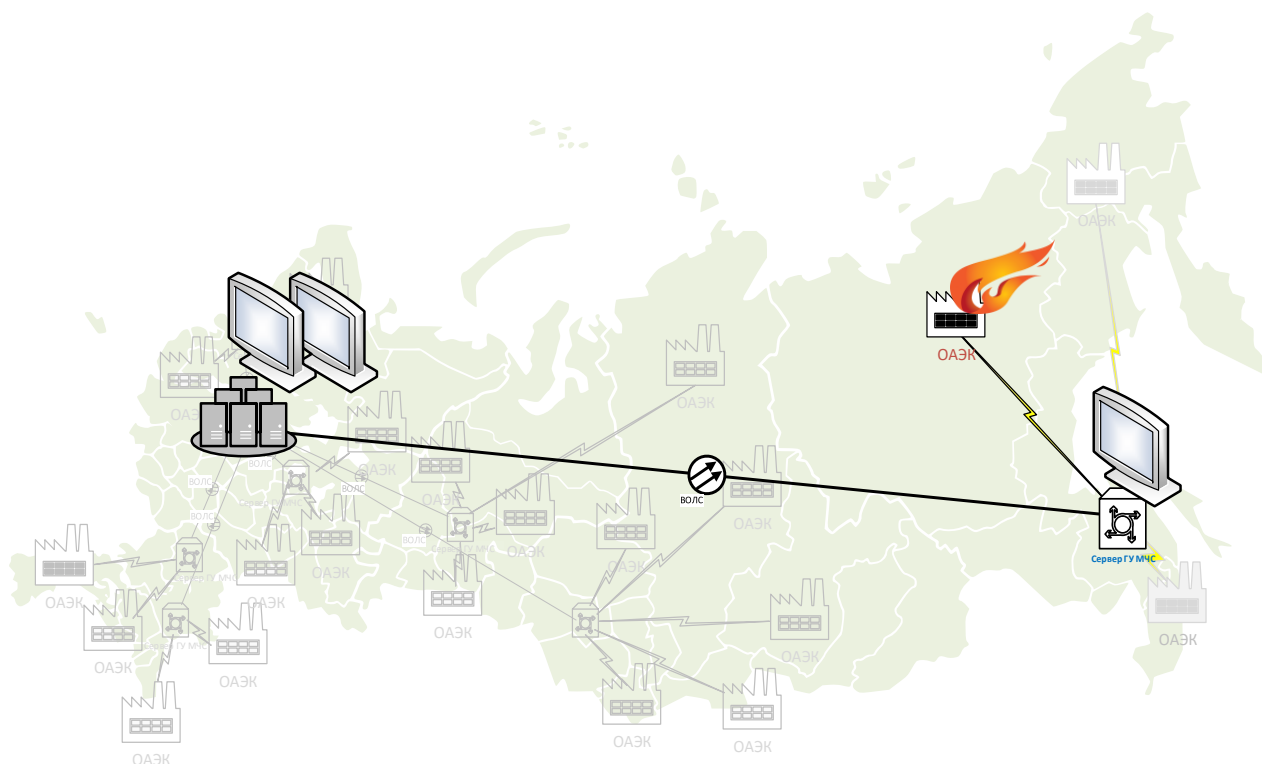


Рисунок 3.1 – Топология сети связи, функционирующей в МЧС России

Региональные части КСПМ объединяют объекты МЧС России, располагающиеся в пределах конкретного субъекта Российской Федерации. Любая отдельная региональная часть КСПМ характеризуется наличием центрального управляющего узла.

Алгоритм, в соответствии с которым осуществляется функционирование КСПМ, можно охарактеризовать следующим образом. Если ситуация, на объекте защиты, характеризуется как внештатная, сигнал с объекта передается напрямую ОДС ЦУС по субъекту Российской Федерации. Сигнал содержит информация о характере внештатной ситуации в соответствии с установленными уровнями критичности (критичный, важный, информационный).

Математическую модель можно описать при помощи одноканальной СМО, для нее характерны источник заявок, которые ранжируются по приоритету, время ожидания, закон распределения Эрланга, характеризующий продолжительность мероприятий по обслуживанию. 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 [56; 89].

Математическая модель, разрабатываемая, имеет следующие особенности. В общем случае каждому каналу связи ставится в соответствие определенное 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 определенного 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 ($N_1, N_2, \dots, N_i, \dots, N_k$). Единый подход, который может быть применен для

изучения приоритетных дисциплин, базируется на такой категории, как «цикл обслуживания заявки». В качестве цикла обслуживания заявки рассматривается временной промежуток между началом обработки заявки и заканчивающийся тогда, когда канал связи снова свободен. Аналитический метод, применяемый в рассматриваемой ситуации, заключается в том, чтобы изучать процесс в то момент времени, когда канал занят. На основе теории восстановления можно сделать вывод, какими параметрами характеризуется исходный процесс. Соответственно, изучение процесса, в котором присутствуют приоритеты, фактически представляет собой работу с процессом на цикле обслуживания. Количество классов заявок является меньшим в сопоставлении с изначальным процессом (причем разница равна единице) в случае с моделями (N_1, N_2, \dots, N_k) , а $k=2$, заявки, причисляемые к первому классу, будут рассматриваться как имеющие больший приоритет (соответственно, заявки, относящиеся ко второму классу, имеют приоритет меньше). Использование такого подхода дает возможность установить, что для КСПМ, применяемых на объектах, относящихся к энергетической инфраструктуре, имеется два приоритетных класса [56].

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 [20]:

$$P_0^{(2)} = \hat{P}_1 \left[1 + T_{II} \left\{ N_2 \lambda_2 \sum_{e=0}^{N_2-1} \binom{N_2-1}{e} \frac{1}{\Phi(e)} + N_1 \lambda_1 \sum_{e=1}^{N_2} \binom{N_2}{e} \frac{(1 - \bar{v}_1(e\lambda_2))}{\Phi(e-1)} \right\} \right]^{-1}, \quad (3.2)$$

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

где e – последовательность, сформированная целыми числами; \bar{e} – 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.

$$\hat{P}_1 = \left[1 + N_1 \lambda_1 T_{П1} \sum_{e=0}^{N_1-1} \binom{N_1-1}{e} \left(\frac{1}{\Phi(e)} \right) \right]^{-1}, \quad (3.3)$$

где $T_{П1}$ – временной интервал, в течение которого осуществляется обслуживание заявки с высоким приоритетом.

С помощью выражений (3.2) и (3.3) рассчитана средняя величина поступающих на обслуживание заявок, имеющих высокий, а также низкий приоритеты, одновременно поступающих в систему:

$$E(M_1) = N_1 - \left[(1/\lambda_1 T_{П1}) (1 - P_1) \right],$$

$$E(M_2) = N_2 - \left[(1/\lambda_2 T_{П2}) (P_1 - P_0^{(2)}) \right].$$

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

$$t_{ож1} = \left[\frac{N_1 \lambda_1 T_{n1}}{N_1 \lambda_1 T_{n1} + \delta} \right] \left[(N_1 - 1) T_{n1} - \frac{1 - \delta}{\lambda_1} + \frac{E(C_2)^2}{2T_{n1}} \right], \quad (3.4)$$

где $\delta = \left[\sum_{e=0}^{N_1-1} \binom{N_1-1}{e} \left(\frac{1}{\Phi(e)} \right) \right]^{-1}$, $E(C_2)$ – 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:

$$t_{\text{ож2}} = (1 - P_0^{(2)}) \left[(N_2 - 1)E(c_2) + \frac{E(c_2)^2}{2E(c_2)} - \frac{1}{\lambda_2} \right] + N_2 E(c_2) P_0^{(2)} \left[1 + \frac{\lambda_1 (1 - \bar{e}_1(\lambda_2))}{\lambda_2} \right], \quad (3.5)$$

где $P_0^{(2)}$ рассчитывается в соответствии с формулой (3.3).

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 объемов требований и приоритетов [4; 5; 7; 24].

Математическая модель, разработанная на основе модифицированных соотношений Джейсуола, характеризуется преимуществом, для применения в сфере изучения особенностей передачи сообщений с АУПС 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 [6]. Таким образом, чтобы определить, насколько эффективно функционирует сеть связи, применен параметр эффективности функционирования сети связи.

Чтобы сообщение могло быть переданным, необходимо затратить определенное количество времени $T_{\text{п}}$. Причем некоторая часть данного времени ($T_{\text{н}}$) станет рассматриваться как непроизводительная, поскольку сеть, обеспечивающая связь, функционирует с недостаточной степенью эффективности. Важно также обратить внимание, что канал связи постоянно работает в меняющихся условиях, в связи с чем непроизводительные потери перманентно изменяются. Максимальной степенью эффективности функционирования сети связи, обеспечивающей передачу информации, будет становиться тогда, когда при постоянном временном промежутке передачи сообщения об инциденте соотношение $T_{\text{п}}/(T_{\text{п}} + T_{\text{н}})$ станет приобретать максимальное значение. Качество работы сети связи характеризуется эффективностью функционирования и описывается выражением [38]:

$$E = \sum_{i=0}^n P_i \left(\frac{T_{\Pi i}}{T_{\Pi i} + T_{\text{Hi}}} \right), \quad (3.6)$$

где n – количество состояний, в которых может находиться сеть связи; P_i – лимитируемые вероятности сетевого состояния; $T_{\Pi i}$ – эффективные временные затраты на транслирование информации (по i -й заявке); T_{Hi} – неэффективные временные затраты на транслирование информации (по i -й заявке).

Выражение (3.6) рассматривается для описания того, насколько эффективно функционирует сеть связи, лишь тогда, когда не имеется нормирования временного промежутка, затрачиваемого на передачу информации. А вероятность того, что информация окажется в ЦУКС в течение установленного временного промежутка, представляет собой оперативность связи Q , что рассчитывается в соответствии с выражением ниже:

$$Q = P(T_{\Pi i} + T_{\text{Hi}} \leq T_Q),$$

где T_Q – критерий оперативности.

В сетях передачи информации непроизводительными признаются следующие потери: временной промежуток, требуемый для того, чтобы датчики, расположенные на объекте, сработали; временной промежуток, требуемый для того, чтобы сведения, генерируемые датчиком, были переданы оператору; временной промежуток, требуемый для того, чтобы информация в полном объеме была транслирована ОДС ЦУКС МЧС России.

В данном случае для определения эффективности функционирования сети связи следует воспользоваться выражением ниже:

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

где $T_{\text{ож}i}$ – 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 надежный, то выражение для

определения эффективности функционирования сети связи приобретает следующий вид:

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

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}_Π – среднее значение (математическое ожидание) случайной величины времени передачи сообщения; $\bar{t}_{\text{ож}}$ – среднее значение (математическое ожидание) случайной величины времени ожидания.

Применяя нормировочное условие

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

получим

$$E = P_0 + P_1 + \left[\frac{\bar{T}_\Pi (1 - (P_0 + P_1))}{\bar{T}_\Pi + \bar{T}_{\text{ож}}} \right]. \quad (3.7)$$

Оперативность связи в этом случае, определяется выражением:

$$Q = P_0 + P_1. \quad (3.8)$$

Подставив в (3.7) и (3.8) значения P_0, P_1 и $\bar{t}_{\text{ож}}$, получаем выражение для расчета показателей эффективности функционирования и оперативности связи для сети передачи информации [32; 38; 40; 87].

Для сети передачи информации с распределением времени обслуживания в соответствии с законом Эрланга 3-го порядка величины P_0, P_1 и $\bar{t}_{\text{ож}}$ согласно формулам (3.2, 3.3, 3.4) определяются следующим образом:

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

$$P_1 = \frac{N}{(N-1)} P_0 \frac{[(\lambda(N-1) + 3\mu)^3 - (3\mu)^3]}{(3\mu)^3}, \quad (3.9)$$

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

Для сети передачи информации с экспоненциальным законом распределения времени обслуживания (в соответствии с законом Эрланга 1-го порядка) значения P_0 , P_1 и $\bar{t}_{\text{ож}}$ определяются соответственно из следующих выражений [20; 50; 112]:

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

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

$$P_1 = N\rho P_0.$$

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

Для расчета 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 λ , средним временем передачи сообщений $T_{\text{п}}$ и числом источников заявок (объектов) N .

Расчет сводится к определению всех возможных значений величин E , Q , $\bar{t}_{\text{ож}}$ и проходит в три этапа:

I – определяется зависимость E , Q , $\bar{t}_{\text{ож}}$ от N для разных значений λ и $T_{\text{п}}$.

II – определяется зависимость $E, Q, \bar{t}_{\text{ож}}$ от λ для конкретного значения N и различных значений $T_{\text{п}}$.

III – определяется зависимость величин $E, Q, \bar{t}_{\text{ож}}$ от $T_{\text{п}}$ для определенного значения N и различных значений λ [31, 40].

Расчет оптимальных значений параметров оперативности и эффективности функционирования сети связи в зависимости от количества объектов, рассчитанный с использованием ЭВМ, представлен на рисунке 3.2 [96].

Расчет оперативности и эффективности v1.03
Академия ГПС кафедра СЭАСС

Исходные данные

Количество абонентов: 1000

Интенсивность входного потока вызовов: 0,5 выз./мин.

Непроизводительные затраты времени: 0,0022 мин.

Среднее время переговоров: 1 мин.

Варьируемый параметр

Нет

Минимум: 0 Максимум: 0 Шаг: 0

Вычислить

Результаты

L=0,5
T1=0,0022
T2=1
Q=0,58349973978511
E=0,85780482937537

Построение графика

ВЫХОД

Загрузить

Сохранить

Очистить

Рисунок 3.2 – Вид окна ввода параметров оперативности связи и эффективности функционирования сети связи

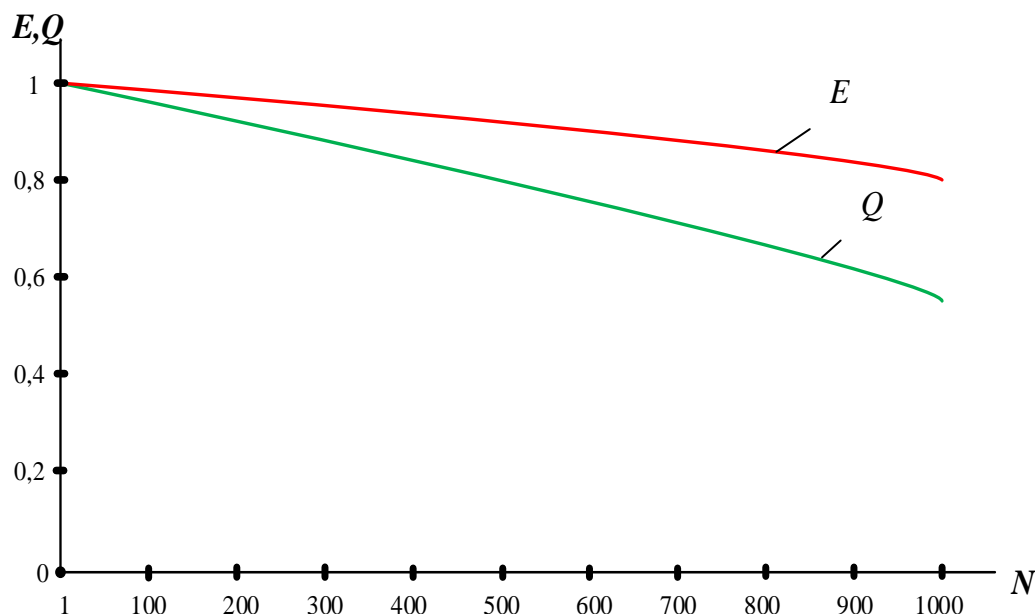


Рисунок 3.3 – Зависимость оперативности связи (Q) и эффективности функционирования (E) сети связи от количества объектов (N)

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 3.4) [96].

```

C:\Windows\system32\CMD.exe
Microsoft Windows [Version 6.1.7601]
(c) Корпорация Майкрософт (Microsoft Corp.), 2009. Все права защищены.
C:\Users\14066>ping 10.128.143.255

Обмен пакетами с 10.128.143.255 по с 32 байтами данных:
Ответ от 10.128.143.255: число байт=32 время=132мс TTL=248
Ответ от 10.128.143.255: число байт=32 время=132мс TTL=248
Ответ от 10.128.143.255: число байт=32 время=132мс TTL=248
Ответ от 10.128.143.255: число байт=32 время=132мс TTL=248

Статистика Ping для 10.128.143.255:
    Пакетов: отправлено = 4, получено = 4, потеряно = 0
    (0% потерь)
Приблизительное время приема-передачи в мс:
    Минимальное = 132мсек, Максимальное = 132 мсек, Среднее = 132 мсек
C:\Users\14066>
  
```

Рисунок 3.4 – Время прохождения информации из г. Петропавловск–Камчатский

На рисунке 3.5 показана зависимость времени ожидания от числа объектов, подключенных к ВЦСС, при разных значениях времени передачи информации $T_{п}$. Рисунок 3.6 отражает графические зависимости оперативности связи от числа объектов при различных величинах приведенной нагрузки $\rho = \lambda T_{п}$, рисунок 3.7 – зависимость эффективности функционирования сети связи от числа объектов при $\lambda = 1,0$ 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.

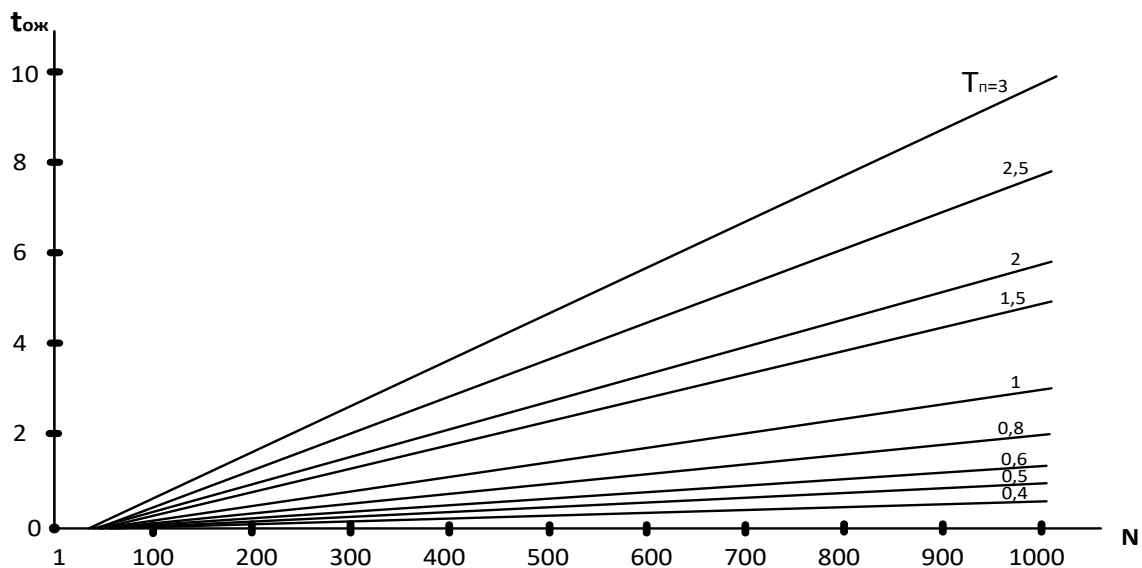


Рисунок 3.5 Зависимость среднего времени ожидания от числа объектов N сети связи для различных значений среднего времени передачи сообщения $T_{п}$ при интенсивности входного потока $\lambda = 0,5$ сооб./мин.

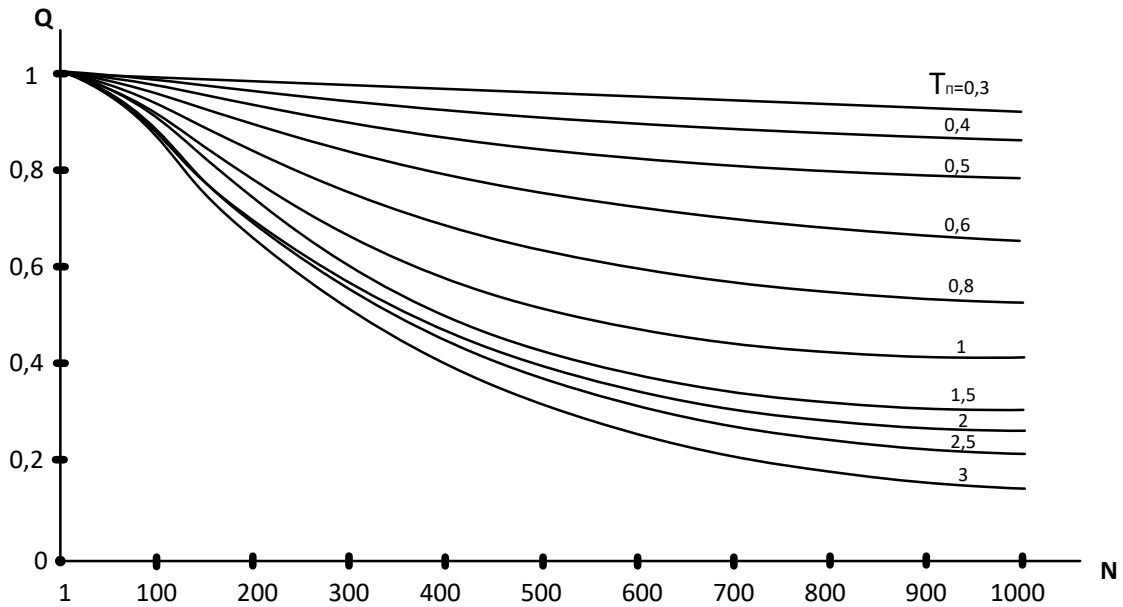


Рисунок 3.6 – Зависимость оперативности Q связи от числа объектов N при различных значениях средней продолжительности передачи сообщения T_n для интенсивности входного потока $\lambda = 0,5$ сооб./ мин.

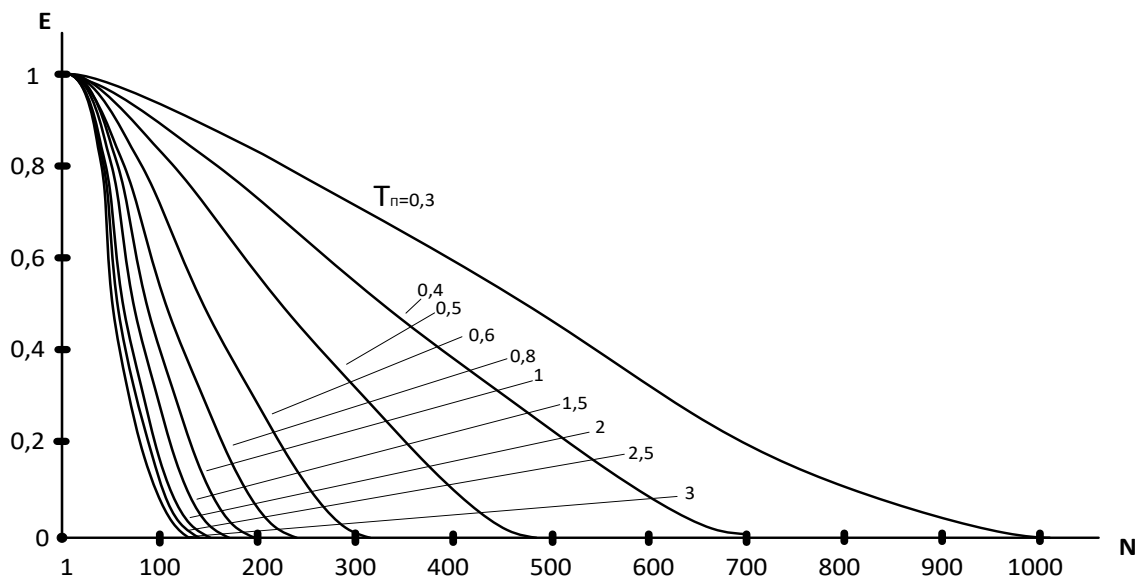


Рисунок 3.7 – Зависимость эффективности функционирования сети связи E от числа объектов N при различных значениях средней продолжительности передачи сообщения T_n для интенсивности входного потока $\lambda = 1,0$ сооб./ мин.

Опираясь на полученные графики, можно рассчитать:

- оптимальное число объектов, обслуживаемых КСПМ, при определенных 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.

Таким образом, построенная математическая модель КСПМ объектов энергетического комплекса позволяет получить расчетные значения вероятности безотказной работы в зависимости от нагрузки в системе и числа объектов защиты.

3.3 Основные и специальные требования, предъявляемых к КСПМ на объектах энергетики

Разработанные требования для КСПМ на объектах энергетики включают в себя перечень основных и специальных требований, направленных на обеспечение их противопожарной защиты, а именно:

- подключение элементов КСПМ должно осуществляться с приоритетным применением беспроводных каналов связи, должна быть обеспечена защита таких соединений;
- КСПМ должна иметь функцию автоматической передачи сигнала от объекта защиты диспетчеру ПСЧ и ЦУКС субъекта Российской Федерации;
- должна быть предусмотрена возможность подключения к КСПМ АУПС, а также обеспечена синхронизация с системами оповещения и эвакуации технического персонала с объекта, и другими системами противопожарной защиты;
- передача извещений диспетчеру ПСЧ должна быть реализована с использованием радиоканала на специально выделенных для МЧС России

частотах. Также должна существовать возможность использования проводных каналов, оптоволоконных линий связи и сотовой связи (GSM);

- приборы обеспечения пожарной безопасности должны применяться в соответствии с требованиями государственных стандартов, технической документации, иметь сертификаты, а также учитывать особенности размещения;

- КСПМ должна функционировать в режиме 24/7 и иметь срок полезного использования более 7 лет;

- элементы КСПМ должны быть устойчивы к воздействиям электромагнитных помех не ниже 3 – й степени жесткости;

- по степени обеспечения надежности электроснабжения КСПМ должны быть I категории согласно «Правилам устройства электроустановок»;

- элементы КСПМ должны иметь резервирование по питанию;

- должны выполняться требования безопасности информации, обрабатываемой КСПМ;

- должна обеспечиваться подлинность сетевых соединений (сеансов взаимодействия), в том числе для защиты от подмены сетевых устройств и сервисов;

- должно осуществляться исключение возможности отрицания оператором факта получения информации от другого объекта;

- должна осуществляться защита архивных файлов, параметров настройки средств защиты информации и программного обеспечения и иных данных, не подлежащих изменению в процессе функционирования КСПМ;

- должен осуществляться мониторинг функционирования всех элементов КСПМ, статус элементов должен отражаться у ОДС в режиме реального времени;

- элементы КСПМ должны быть проиндексированы по характеру факторов контроля и расположению помещений;

- между радиостанцией объекта энергетики и диспетчером ПСЧ, а также ОДС ЦУКС должен обеспечиваться двухсторонний обмен данными;

- должен быть реализован механизм динамической маршрутизации

передаваемой информации, на случай выхода из строя основного канала передачи данных;

- элементы КСПМ должны иметь световую сигнализацию на предмет неисправности;

- звуковые сигналы в зависимости от события должны отличаться по уровню критичности;

- элементы КСПМ должны сохранять работоспособность до прибытия пожарных расчетов и передавать информацию диспетчеру ПСЧ о направлении распространения контролируемых факторов пожара.

Разработанные основные и специальные технико-эксплуатационные требования к КСПМ объектов энергетики можно оценить в качественном выражении. Вместе с тем для оптимизации выбора системы недостаточно только качественной оценки, необходима и количественная оценка, именно поэтому возникла необходимость в разработке комплексного критерия оценки функционирования КСПМ на объектах энергетического комплекса [32;40; 45; 85].

3.4 Комплексный критерии оценки функционирования систем мониторинга пожарной безопасности объектов энергетического комплекса

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. Она предполагает исследование экспертных мнений, подготовленных лицами, обладающими большим опытом эксплуатации наиболее совершенных систем противопожарного назначения на объектах разных типов. Каждая система противопожарной сигнализации из числа тех, что представлены на современном рынке Российской Федерации, имеет уникальную совокупность потребительских характеристик. Таким образом, для разных условий пригодны различные противопожарные системы. Практическое использование разнообразных систем противопожарного назначения позволило сформулировать перечень наиболее

главных параметров, характеризующих качество их работы. Все организации, которые занимаются проектированием и производством систем подобного рода, стремятся предложить потребителю продукт, характеризующийся наилучшим качеством изготовления, наибольшей оперативностью в плане информирования пользователей о распространении неконтролируемого горения, наибольшей достоверностью предоставляемой информации, наибольшей эффективностью. Далеко не во всех случаях можно сразу же, путем изучения основных потребительских характеристик, понять, какая именно система будет оптимальной для применения в условиях конкретного объекта. Соответственно, нужно пользоваться методикой, которая основывается на выборе самой оптимальной системы противопожарного назначения на базе единого комплексного критерия.

Вычисляться значение такого критерия будет в соответствии с выражением:

$$L_{okk} = a_1Q + a_2E + a_3H + a_4P + a_5C, \quad (3.10)$$

где $a_1 \dots a_5$ – весовые коэффициенты показателей качества БСОП, 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 – надежность, с которой работает система противопожарного назначения; C – показатель, который характеризует, насколько экономически целесообразно пользоваться той или иной системой [4; 8; 24; 27; 99].

Параметры Q и E представляют собой функции, которые описываются следующими выражениями:

$$Q = f(y, N, t_{\text{пер}}),$$

$$E = f(y, N, t_{\text{пер}}),$$

где y – нагрузка, существующая в сети, по которой передается сигнал; N – число объектов, подлежащих защите и входящих в состав общей связной сети; $t_{\text{пер}}$ – длительность временного промежутка, требуемого для передачи сигнала по сети.

Чтобы найти численное значение параметра H , следует воспользоваться выражением (3.11):

$$H = f(I), \quad (3.11)$$

где $I = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N J_i$ – степень достоверности сигналов, транслируемых по системе.

Чтобы понять, насколько достоверны сигналы, транслируемые по системе, необходимо найти численное значение соотношения $J_i = \frac{m}{n}$, причем m – число сигналов, являющихся достоверными, n – общий объем сгенерированных сигналов.

Параметр P также представляет собой функцию, которая описывается следующим образом:

$$P = f(P_{\text{эл}}, n),$$

где $P_{\text{эл}}$ – степень надежности отдельных составляющих системы; n – число участков, где происходит информационная коммутация.

Чтобы понять, насколько целесообразно эксплуатировать (с коммерческой точки зрения) определенную противопожарную систему, необходимо найти значение функции C :

$$C = f(C_k, C_э, C_m),$$

где C_k – размер капитальных инвестиций, требуемых для создания и внедрения в строй КСПМ; $C_э$ – расходы, возникающие в связи с необходимостью обеспечивать функционирование КСПМ; C_m – расходы, возникающие в связи с необходимостью обеспечивать модернизацию работы КСПМ.

Чтобы понять, насколько надежно работает противопожарная система, следует найти значение выражения (3.12):

$$P = \prod_{i=1}^n P_i, \quad 0 < P < 1, \quad (3.12)$$

где P_i – вероятность того, что оборудование, располагающееся в пределах i -го участка системы (суммарное количество участков в системе – n), работает без возникновения отказов.

Показатель, характеризующий затраты денежных средств, возникающие в связи с реализацией мероприятий по обустройству и обеспечению функционирования противопожарной системы: $C = \frac{C_{min}}{C_{сис}}$, при этом, $0 < C \leq 1$

где C_{min} – минимально возможные затраты денежных средств на создание системы и обеспечение ее функционирования; $C_{сис}$ – расходы на создание и обеспечение функционирования АУПС, которая будет демонстрировать возможность обслуживать всю территорию $S_{сис}^{обс}$.

Таким образом, значение комплексного критерия, будет рассчитываться следующим образом:

$$L_{окк} = a_1 Q + a_2 E + a_3 H + a_4 \prod_{i=1}^n P_i + a_5 \frac{C_{min}}{C_{сис}}. \quad (3.13)$$

Значение критерия, вычисленное в соответствии с выражением (3.4), может варьироваться в пределах от нуля до единицы. Системой обеспечения противопожарного состояния с максимальной степенью эффективности работы станет признаваться та, у которой значение показателя $L_{окк}$ максимально близко к единице. Весовые показатели, присутствующие в выражении (3.4), определяются посредством экспертного оценивания. Осуществлено ранжирование показателей, определен ранг (j) для каждого из них, причем j варьируется в пределах 1–6. Самым важным признается тот критерий, для которого установлен ранг 6.

В таблице 3.1 продемонстрированы результаты экспертного оценивания показателей качества, учитываемых при расчете комплексного критерия безопасности.

Таблица 3.1 – Результаты экспертного оценивания показателей качества, учитываемых при расчете комплексного критерия безопасности

Показатели качества	Эксперты									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Q	5	4	4	6	6	4	3	3	6	3
E	3	3	2	2	1	2	4	2	3	4
H	4	6	3	4	5	5	1	6	4	2
P	6	5	6	5	4	6	6	5	5	5
C	1	2	5	3	4	3	5	4	2	6

Показатели качества считаются проранжированными достоверным образом, если имеется непротиворечивость в данных, предоставленных разными экспертами. Чтобы понять, являются ли данные, выданные экспертами, противоречивыми или непротиворечивыми, необходимо проанализировать значение показателя W (он характеризует, насколько точки зрения, заявляемые разными специалистами, согласованы между собой, именуется коэффициентом конкордации). Чтобы рассчитать численное значение коэффициента конкордации, можно воспользоваться выражением (3.14):

$$T = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \left(\sum_{j=1}^m R_{ij} \right), \quad (3.14)$$

где n – количество показателей, характеризующих качество; m – количество привлекаемых экспертов R_{ij} – ранг для показателя i , установленный экспертом j [58].

Определяется отклонение Δ_i между суммой рангов $\sum_{j=1}^m R_{ij}$, сформированной для конкретного показателя, и средней их суммой T :

$$\Delta_i = \sum_{j=1}^m R_{ij} - T. \quad (3.15)$$

Соответственно, численное значение коэффициента конкордации можно вычислить, воспользовавшись выражением, представленным ниже:

$$W = \frac{12Z}{m^2(n^3 - n)}, \quad (3.16)$$

где $Z = \sum_{i=1}^n \Delta_i^2$ – совокупность возведенных во вторую степень отклонений

Δ_i совокупностей рангов для конкретного показателя от их средней суммы:

$$T = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \left(\sum_{j=1}^m R_{ij} \right) = 33$$

Распределять показатели, характеризующие относительную важность, можно, применяя представленные ниже выражения:

$$\sum_{j=1}^m R_{ij}(Q) = 44; \quad \sum_{j=1}^m R_{ij}(E) = 26; \quad \sum_{j=1}^m R_{ij}(H) = 40;$$

$$\sum_{j=1}^m R_{ij}(P) = 53; \quad \sum_{j=1}^m R_{ij}(C) = 35;$$

$$\sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^m R_{ij} = 197;$$

Методы рангового характера предполагают применение относительных частот трансформированных рангов:

$$a_i = \frac{\sum_{j=1}^m R_{ij}}{\sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^m R_{ij}}, \quad (3.17)$$

где R_{ij} – трансформированный ранг, предоставленный экспертом для конкретного показателя качества.

$$\alpha_Q = 0,22; \quad \alpha_E = 0,13; \quad \alpha_H = 0,20; \quad \alpha_P = 0,27; \quad \alpha_C = 0,18;$$

$$\Delta_Q = 44 - 33 = 11; \quad \Delta_E = 26 - 33 = -7; \quad \Delta_H = 40 - 33 = 7;$$

$$\Delta_P = 52 - 33 = 19; \quad \Delta_C = 35 - 33 = 2.$$

$$Z = \sum_{i=1}^n \Delta_i^2 = 584.$$

Используя формулу (3.16) вычисляем значение коэффициента конкордации:

$$W = 0,58 > 0,5.$$

Как было определено опытным путем, в ситуации, при которой $W < 0,5$, существует потребность в повторном осуществлении ранжирования. Причем к нему должны быть привлечены специалисты, характеризующиеся более высоким уровнем квалификации. Если $W > 0,5$, то принимается, что точки зрения, высказанные экспертами, надлежащим образом согласованы между собой.

Оценивание в баллах ведется такой же группой специалистов, что была до этого. В рамках применения рассматриваемого метода значения параметров относительной важности α_i рассчитывались в соответствии с выражением ниже:

$$\alpha_i = \frac{\sum_{j=1}^m B_{ij}}{\sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^m B_{ij}}, \quad (3.18)$$

где B_{ij} – балл, который был дан i -ой характеристике качества j -ым экспертом (по шкале, где минимальный балл – это 0, а максимальный балл – это 100).

В таблице 3.2 охарактеризованы баллы, что были присвоены изучаемым характеристикам качества всеми специалистами.

Таблица 3.2 – Экспертные оценки значения комплексного критерия, предоставленные специалистами

Показатели качества	Эксперты									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Q	70	80	70	80	90	80	70	90	70	60
E	50	70	70	70	60	50	40	40	50	70
H	90	80	70	80	80	70	80	80	90	60
P	90	90	80	70	90	80	80	90	80	90
C	50	40	70	60	50	80	70	70	70	80

Вычисляется среднее значение суммы – T всех баллов каждого из критериев:

$$T = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \left(\sum_{j=1}^m B_{ij} \right), \quad (3.19)$$

где n – количество характеристик качества; m – количество привлеченных к оцениванию специалистов; B_{ij} – ранг для i -ой характеристики, определенный j -ым специалистом.

Чтобы рассчитывать значения параметров относительной важности, можно пользоваться выражениями, представленными ниже:

$$\sum_{j=1}^m B_{ij}(Q) = 760; \quad \sum_{j=1}^m B_{ij}(E) = 570; \quad \sum_{j=1}^m B_{ij}(H) = 780;$$

$$\sum_{j=1}^m B_{ij}(P) = 840; \quad \sum_{j=1}^m B_{ij}(C) = 640;$$

$$\sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^m B_{ij} = 3590.$$

$$T = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \left(\sum_{j=1}^m B_{ij} \right) = 718.$$

Таким образом, параметры относительной важности станут характеризоваться представленными ниже значениями:

$$\alpha_Q = 0,21; \quad \alpha_E = 0,16; \quad \alpha_H = 0,22; \quad \alpha_P = 0,23; \quad \alpha_C = 0,18;$$

В таблице 3.3 отражены средневзвешенные величины, имеющиеся у параметров относительной важности (при разных способах экспертного оценивания).

Таблица 3.3 – Коэффициенты относительной важности при различных методах оценки экспертов

Коэффициент относительной важности	Методы		
	Ранжирование	Оценка в баллах	Средневзвешенные показатели
α_Q	0,22	0,21	0,215
α_E	0,13	0,16	0,145
α_H	0,20	0,22	0,21
α_P	0,27	0,23	0,25
α_C	0,18	0,18	0,18

На рисунке 3.8 показаны данные, характеризующие, насколько согласованы между собой методы, применяемые в процессе расчета значений весовых коэффициентов.

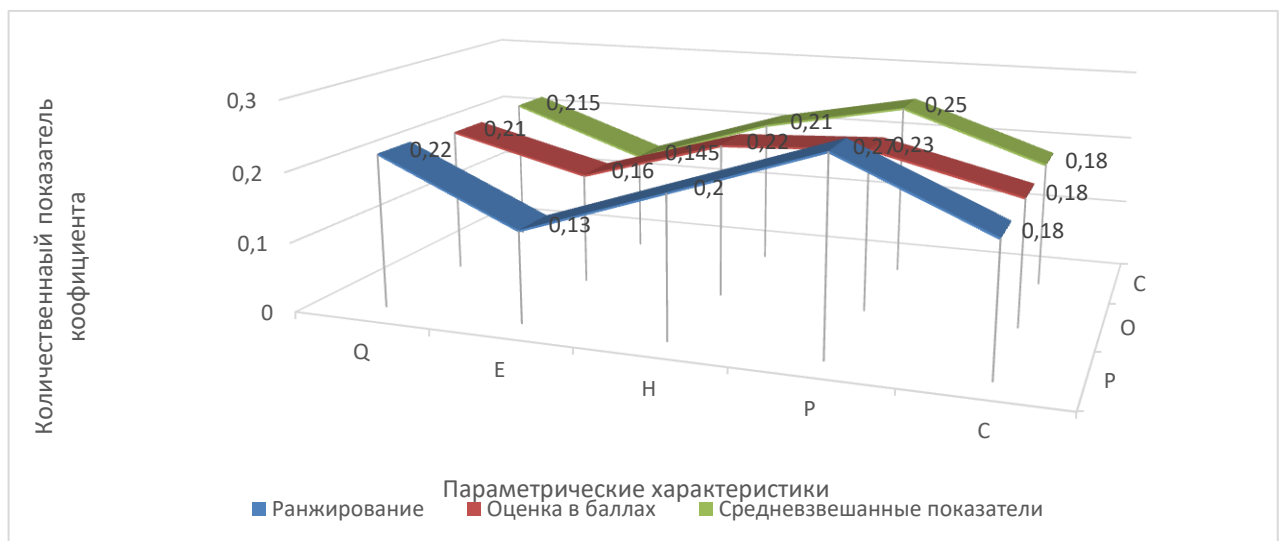


Рисунок 3.8 – Графические зависимости согласованности методов оценки весовых коэффициентов.

Таким образом, комплексный критерий станет рассчитываться в соответствии с выражением ниже:

$$L_{okk} = 0,215Q + 0,145E + 0,21H + 0,25 \prod_{i=1}^n P_i + 0,18 \frac{C_{min}}{C_{сис}}. \quad (3.20)$$

Представленная выше формула при ее практическом использовании обеспечивает подбор наиболее оптимальной системы, обеспечивающей пожарную безопасность, из совокупности тех, что представлены на рынке. Кроме того, формула комплексного критерия может быть использована и в процессе решения задач, связанных с подбором мониторинговой системы по обеспечению пожарной безопасности на объектах, относящихся к энергетической инфраструктуре [59; 90].

При проведении настоящего исследования был охарактеризован практический пример, заключающийся в применении комплексного критерия для определения наилучшего варианта системы, обеспечивающей противопожарную безопасность объекта.

В процессе расчета численного значения комплексного критерия было определено, какими величинами характеризуются параметры (Q , E , H , P , C) для всех систем. Было получено, что они имеют следующие значения: $Q_{рад} = 0,92$; $Q_{пр} = 0,71$; $E_{рад} = 0,97$; $E_{пр} = 0,9$.

На рисунках 3.9, 3.10 представлены графические зависимости оперативности связи от количества защищаемых объектов при наличии радиоканальных и проводных линий связи соответственно.

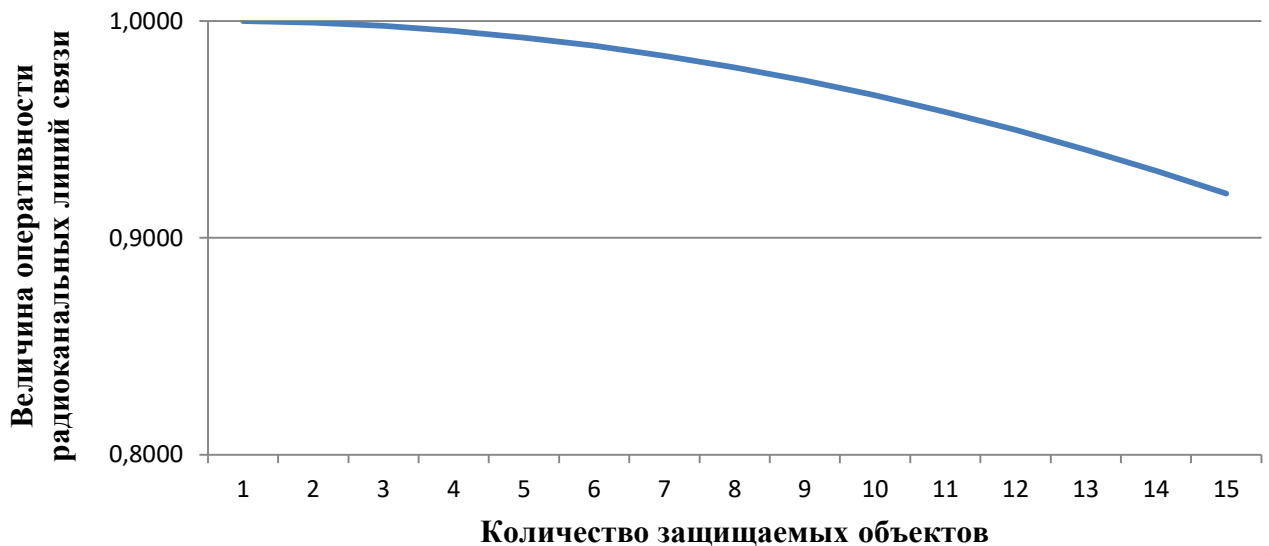


Рисунок 3.9 – Зависимость оперативности связи от количества защищаемых объектов в радиоканальных системах связи

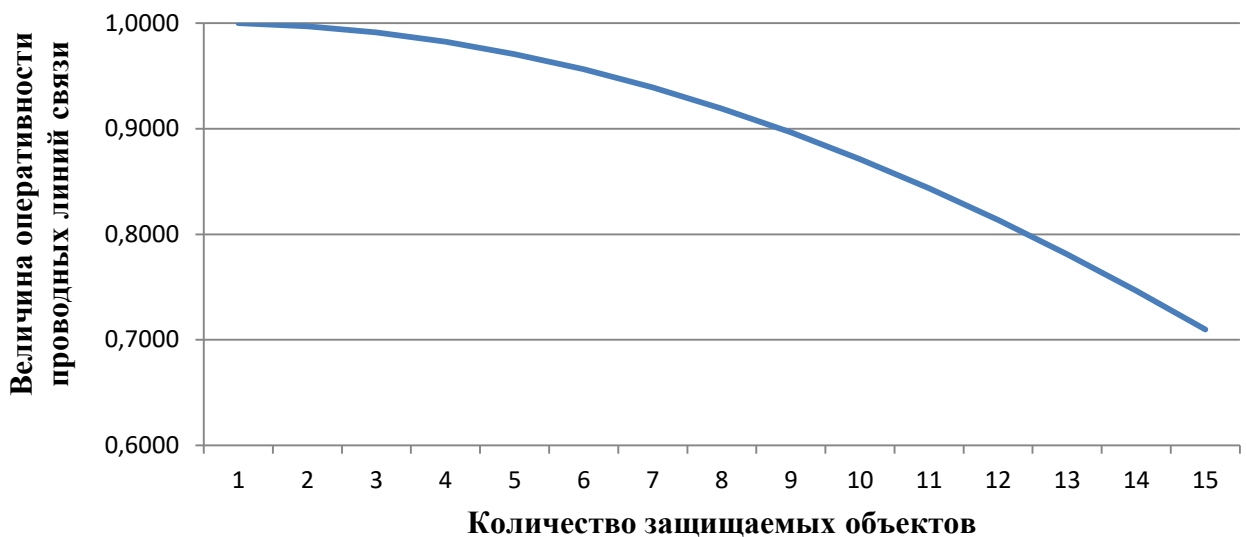


Рисунок 3.10 – Зависимость оперативности связи от количества защищаемых объектов в проводных системах связи

На рисунках 3.11, 3.12 представлены графические зависимости эффективности функционирования сети связи от количества защищаемых объектов при наличии радиоканальных и проводных линий связи соответственно.

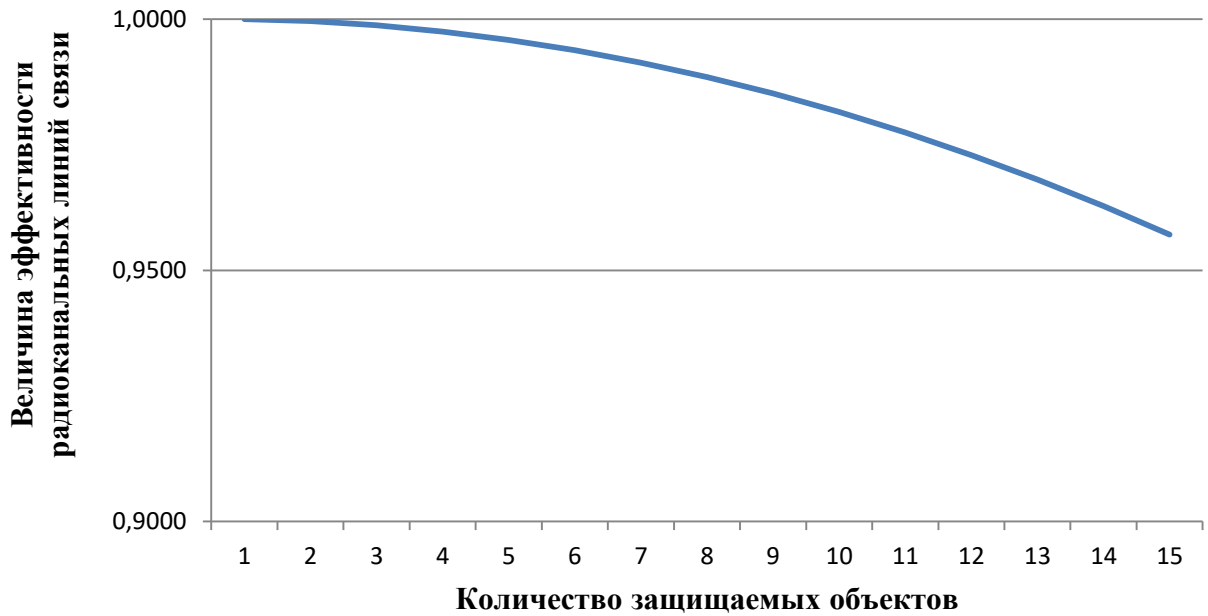


Рисунок 3.11 – Зависимость эффективности функционирования сети связи от числа защищаемых объектов в системах радиосвязи

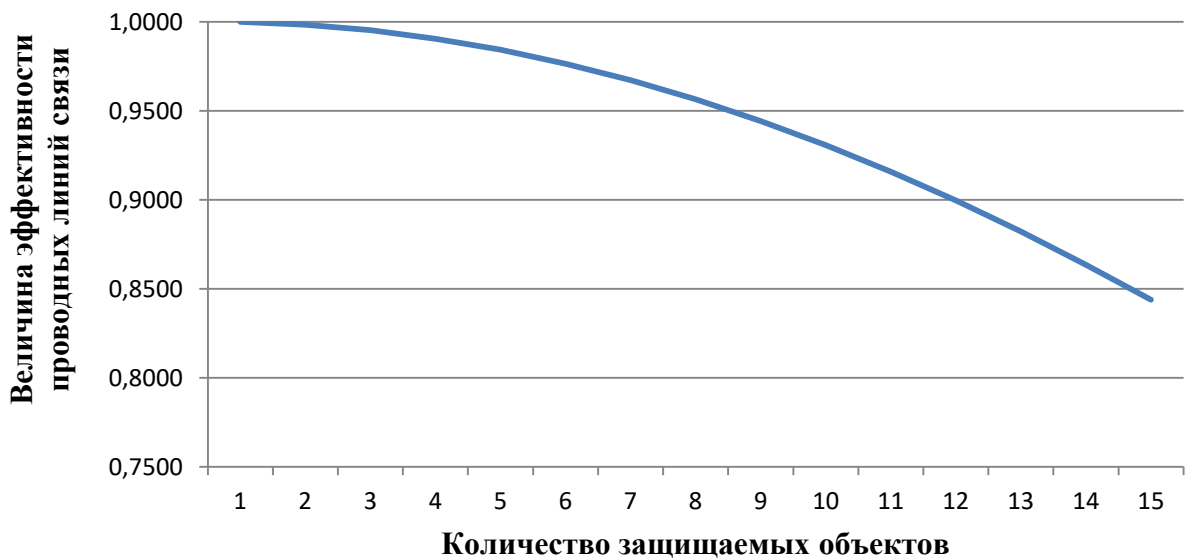


Рисунок 3.12 – Зависимость эффективности функционирования сети связи от числа защищаемых объектов в проводных системах связи

На основании анализа графических зависимостей, можно сформулировать следующий вывод: системы, которые предполагают, что информация передается по радиоканалам, эффективнее справляются с поставленными перед ними задачами, чем системы проводного типа.

Параметр относительной важности, который дает информацию о том, насколько сигнал, передаваемый посредством радиоканала, достоверен, должен быть одинаковым для радиоканальных и проводных линий связи. Продиктовано это тем, что они используются для обеспечения защиты объекта, относящегося к категории особо важных. Соответственно, степень достоверности транслируемого сигнала должна составлять $H = 0,98$.

Определение степени достоверности информации в соответствии с числом искажений, присутствующих в ней, позволяет обнаружить «узкие места» в функционировании системы. Если обрабатываемые сведения имеют низкую степень достоверности, то нужно подробнее изучать, вследствие чего появляются искажения. Нахождение причин, обуславливающих генерацию искажений, делает системы транслирования информации более эффективными.

Проводные линии, а также линии, обеспечивающие транслирование сигнала посредством радиоканалов, обладают определенной вероятностью, с которой сигнал будет передан надежно. Эта вероятность описывается средним значением, которое, в свою очередь, представляет собой одну из ТТХ (технико–тактических характеристик) оборудования, а также на основании, оценки надежности проводных систем пожарной сигнализации объектов энергетического комплекса, проведенной в первой главе исследования:

$$P_{\text{рад}} = 0,93;$$

$$P_{\text{пр}} = 0,82.$$

В соответствии с имеющимися данными были произведены расчеты для определения численного значения комплексного критерия:

$$L_{\text{окк}}^{\text{рад}} = 0,215Q + 0,145E + 0,21H + 0,25 \prod_{i=1}^n P_i + 0,18 \frac{C_{\text{min}}}{C_{\text{сис}}} = 0,94;$$

$$L_{\text{окк}}^{\text{пр}} = 0,215Q + 0,145E + 0,21H + 0,25 \prod_{i=1}^n P_i + 0,18 \frac{C_{\text{min}}}{C_{\text{сис}}} = 0,86.$$

Соответственно, величина комплексного критерия для радиоканальных систем является большей, чем в случае с системами проводного типа:

$$L_{окк}^{пр} = 0,86 < L_{окк}^{рад} = 0,94.$$

Из сказанного выше следует, что система, которая включает в свой состав оборудование для радиоканального транслирования сигнала, будет характеризоваться повышенной эффективностью в сравнении с системой, основанной на проводных линиях. Впрочем, транслирование сообщений, содержащих информацию о том, что на энергетических инфраструктурных объектах сформировались нештатные ситуации, может быть обеспечено исключительно за счет инфраструктуры, относящейся к ВЦСС. Соответственно, комплексная система отслеживания состояния объектов, относящихся к энергетической инфраструктуре, представляет собой объединение ВЦСС и радиоканального оборудования, передающего информацию о пожаре.

Комплексный критерий, таким образом, предоставляет возможность прийти к оптимальному выбору системы, обеспечивающей противопожарную защиту.

3.5 Расчет экономической эффективности применения комплексной системы мониторинга пожарной безопасности объектов энергетики

Важным аспектом уменьшения времени передачи сообщения о возгорании на объекте энергетики можно считать использование КСПМ объекта и передача сигнала на пульт диспетчера пожарной части и ОДС ЦУКС. С целью подтверждения полученных в работе технико-эксплуатационных требований и комплексной оценки функционирования КСПМ проведен расчет экономической эффективности при использовании доставки информации в автоматическом режиме.

3.5.1 Расчет площадей моделируемых пожаров при использовании комплексной системы мониторинга пожарной безопасности объектов энергетики

Возгорание упаковочных материалов в машинном зале объекта энергетики довольно частое явление. Для вычисления площади пожара смоделированы варианты его развития, возникшего в результате воспламенения упаковки в машинном зале ТЭЦ, оснащенной КСПМ по двум сценариям работы [45]:

функция передачи информации на пульт диспетчера пожарной части и ОДС ЦУКС включена;

функция передачи информации на пульт диспетчера пожарной части и ОДС ЦУКС отключена.

Исследования показывают, что в случае получения сигнала о возгорании на объекте, сотрудники часто пытаются потушить пожар собственными силами, тем самым увеличивая время передачи извещения диспетчеру пожарной части и, как следствие, значительно усугубляя ситуацию. КСПМ в автоматическом режиме передают информацию на пульт диспетчера пожарной части, с указанием места возгорания и количества людей в зоне возникновения пожара, что максимально сокращает время прибытия пожарных расчетов и позволяет с первых секунд иметь информацию о характере возгорания. В связи с этим, в расчете будем учитывать некоторые допущения:

Сценарий развития пожара №1 предполагает передачу информацию о пожаре на пульт диспетчера пожарной части за время не более 0,1 мин.

Сценарий развития пожара №2 – с момента возникновения пожара до передачи информации на пульт диспетчера пожарной части составляет около 4 мин. (статистические данные по среднему времени обнаружения пожара за период 2013–2020 годы).

Время свободного развития пожара ($\tau_{св}$) – временной интервал между возгоранием и началом тушения первым прибывшим пожарным расчетом ПСЧ рассчитывается по формуле:

$$\tau_{св} = \tau_{дс} + \tau_{сб.ив.} + \tau_{след.} + \tau_{б.р.}, \quad (3.21)$$

где, $\tau_{дс}$ – время передачи информации диспетчеру; $\tau_{сб.ив.}$ – время реагирования подразделений, (по нормативу ПСП – 1 мин.); $\tau_{след.}$ – время следования пожарного расчета к месту пожара и $\tau_{б.р.}$ – время боевого развертывания подразделений, принимается средним по России за период 2013 – 2020 годы, значения которых отражены в таблицах 3.4 и 3.5, соответственно [12; 45].

Таблица 3.4 – Среднее время следования первого расчета ПСЧ за период с 2013 по 2020 год

Наименование периода	Среднее время следования за год, мин.
$\tau_{след.2013}$	8,75
$\tau_{след.2014}$	8,6
$\tau_{след.2015}$	8,52
$\tau_{след.2016}$	8,5
$\tau_{след.2017}$	8,35
$\tau_{след.2018}$	8,15
$\tau_{след.2019}$	8,03
$\tau_{след.2020}$	7,94
$\tau_{след.сред.}$	8,35

Таблица 3.5 – Среднее время боевого развертывания расчёта ПСЧ за период с 2013 по 2020 годы

Наименование периода	Среднее время развертывания, мин.
$\tau_{б.р.2013}$	1,25
$\tau_{б.р.2014}$	1,21
$\tau_{б.р.2015}$	1,2
$\tau_{б.р.2016}$	1,18
$\tau_{б.р.2017}$	1,13
$\tau_{б.р.2018}$	1,09
$\tau_{б.р.2019}$	1,05
$\tau_{б.р.2020}$	1,03
$\tau_{б.р.сред.}$	1,14

Учитывая рассчитанные временные интервалы, по формуле (3.21) были определены τ_{CB} для сценариев №1 и №2, соответственно:

$$\tau_{CB1} = 0,1 + 1 + 8,35 + 1,14 = 10,6 \text{ мин.},$$

$$\tau_{CB2} = 4,5 + 1 + 8,35 + 1,14 = 15 \text{ мин.}$$

Расстояние, пройденное фронтом пламени за τ_{CB} , рассчитывается по формуле:

$$L_{CB} = 0,5 V_L \tau_{нач.} + V_L (\tau_{CB1} - \tau_{нач.}) \text{ м.}, \quad (3.22)$$

где V_L – скорость распространения огня; $\tau_{нач.}$ – время начальной стадии пожара, за которое скорость нарастания огня принимается 50% от нормативной, с учётом расхода на нагрев конструкций вокруг, принимается равной 10 мин.; τ_{CB} – время от начальной стадии пожара до подачи огнетушащих веществ.

С учётом временных интервалов, по формуле (3.22) рассчитано расстояние, пройденное фронтом пламени за τ_{CB} по сценарию №1 и №2 [45]:

$$L_{CB1} = 0,5 * 0,9 * 10 + 0,9 * (10,6 - 10) = 5 \text{ м.},$$

$$L_{CB2} = 0,5 * 0,9 * 10 + 0,9 * (15 - 10) = 9 \text{ м.}$$

Учитывая расчёты и конструктивные особенности машинного зала на объекте энергетики, горючую нагрузку и условия газообмена в зоне возгорания, территория, оцепленная огнем, с большой долей вероятности по форме будет напоминать окружность.

Площадь вероятного пожара на объекте энергетики рассчитывается по формуле:

$$S_{п.св.} = \pi (L_{CB})^2 \text{ м}^2. \quad (3.23)$$

По формуле (4.26) рассчитаны площади пожара на момент введения первых стволов по сценарию №1 и №2:

$$S_{п.св.1} = 3,14 (5)^2 = 78,5 \text{ м}^2,$$

$$S_{п.св.2} = 3,14 (9)^2 = 254 \text{ м}^2.$$

С учётом расстояния, на которое продвинулся фронт пламени, вероятная площадь тушения (локализации) пожара на момент введения первых стволов первым прибывшим ПР, определена по формуле:

$$S_{\text{т.св.}} = \pi (L_{\text{св.}}^2 - (L_{\text{св.}} - h_{\text{туш}})^2) \text{ м}^2, \quad (3.24)$$

где $h_{\text{туш}}$ – глубина тушения вглубь площади пожара ручными стволами.

Глубина протушивания, согласно справочным данным для ручных водяных стволов, принимается равной 5 м.

По формуле (3.24) были определены площади тушения (локализации) пожара на момент введения стволов первым прибывшим расчётом ПСЧ, по сценарию №1 и №2:

$$S_{\text{т.св.1}} = 3,14 (5^2 - (5 - 5)^2) = 78,5 \text{ м}^2,$$

$$S_{\text{т.св.2}} = 3,14 (9^2 - (9 - 5)^2) = 204,1 \text{ м}^2.$$

Расход воды, необходимый для тушения (локализации) пожара первым прибывшим расчётом ПСЧ определяется по формуле:

$$Q_{\text{тр.св.}} = S_{\text{т.св.}} \cdot I_{\text{норм}} \text{ л/с}, \quad (3.25)$$

где $I_{\text{норм}}$ – нормативная интенсивность подачи воды на тушение пожара. Определена в нормативной и справочной литературе [15; 85].

Модель динамики пожара на производстве предполагает, что только звенья газодымозащитников (ГДЗС) смогут подать внутрь объекта первые стволы для тушения пожара. Отделения, прибывшие на место возгорания первыми, смогут обеспечить, в лучшем случае, подачу 4 ручных ствола звеньями ГДЗС.

Расход воды, требуемый для ликвидации пожара первым прибывшим ПР определен по формуле (4.28) для двух сценариев, соответственно:

$$Q_{\text{тр.св.1}} = 78,5 * 0,1 = 7,85 \text{ л/с},$$

$$Q_{\text{тр.св.2}} = 204,1 * 0,1 = 20,41 \text{ л/с}.$$

Фактический расход на тушение пожара составит:

$$Q_{\text{ф.св.}} = n_{\text{ств}}^{\text{отд}} \cdot q_{\text{ств}}, \text{ л/с}, \quad (3.26)$$

где $n_{\text{ств}}^{\text{отд}}$ – число стволов, которое может подать отделение на двух основных пожарных автомобилях с учетом работы в непригодной для дыхания среде; $q_{\text{ств}}$ – расход воды со ствола, необходимый для локализации пожара [45].

По формуле (3.26) был определен фактический расход воды для локализации пожара первым прибывшим расчётом ПСЧ по сценарию №1 и №2:

$$Q_{\text{ф.св.1}} = 2 * 7 = 14 \text{ л/с},$$

$$Q_{\text{ф.св.2}} = 4 * 7 = 28 \text{ л/с}.$$

Для решения задачи по локализации пожара необходимо соблюдение следующего неравенства:

$$Q_{\text{тр.св.}} \leq Q_{\text{ф.св.}}$$

Расчёты показывают, что пожар, в обоих сценариях будет потушен $Q_{\text{тр.св.1}} = 7,85 \text{ л/с} \leq Q_{\text{ф.св.1}} = 14 \text{ л/с}$ и $Q_{\text{тр.св.2}} = 20,41 \text{ л/с} \leq Q_{\text{ф.св.2}} = 28 \text{ л/с}$, однако сценарий №2 предполагает большее количество сил и средств.

Расчёты показывают, что площадь пожара на объекте энергетики, оснащённом КСПМ с функцией передачи информации на пульт диспетчера пожарной части и ОДС ЦУКС в 2 раза меньше, чем на объекте без КСПМ. [34; 45].

3.5.2 Оценка экономической эффективности применения комплексной системы мониторинга пожарной безопасности объектов энергетики

На основании расчёта показателей площадей пожаров, получены значения, позволяющие произвести расчет экономической эффективности использования КСПМ. Данные статистики о последствиях от пожаров свидетельствуют о том, что величина прямых и косвенных ущербов прямо пропорциональна площади пожара. Анализ показывает, что косвенный ущерб на порядок выше прямого материального ущерба, в связи с этим для подтверждения рациональности использования КСПМ достаточно рассчитать ожидаемые финансовые потери от возможных пожаров.

Значения математических ожиданий экономических потерь от пожара определяется выражением:

$$M(\Pi) = M(\Pi_{\text{нб}}) + M(\Pi_{\text{ор}}) + M(\Pi_{\text{по}}) \text{ руб. год}^{-1},$$

где $M(\Pi_{\text{нб}})$ – математическое ожидание потерь от пожара в части национального богатства; $M(\Pi_{\text{ор}})$ – математическое ожидание потерь в результате отвлечения ресурсов на компенсацию последствий пожара; $M(\Pi_{\text{по}})$ – математическое ожидание потерь от простоя объекта, вызванного пожаром.

$M(\Pi_{\text{нб}})$ определяется по формуле:

$$M(\Pi_{\text{нб}}) = S_{\text{п}}(C_{\text{уд}}^{\text{мц}}R_y + C_{\text{уд}}^{\text{р}}R_{\text{п}}) \cdot P_{\text{пож}} \text{ руб. год}^{-1}, \quad (3.27)$$

где $S_{\text{п}}$ – площадь возможного пожара на исследуемом объекте энергетики; $C_{\text{уд}}^{\text{мц}}$ – удельная стоимость материальных ценностей; R_y – доля уничтоженных материальных ценностей на площади пожара; $C_{\text{уд}}^{\text{р}}$ – удельная стоимость ремонтных работ; $R_{\text{п}}$ – доля поврежденных материальных ценностей на площади пожара; $P_{\text{пож}}$ – вероятность возникновения пожара на объекте.

Расчёт возможного пожара производился на базе объекта энергетики (ТЭЦ) для стандартных условий функционирования и эксплуатации, с учётом развития событий по сценарию №1 и №2. Исходными данными для вычисления вероятности возникновения пожара на объекте являлись статистические данные Госкорпорации «Росатом» за 2013 – 2020 годы [45; 60; 67].

В связи с тем, что рассматриваемая интенсивность потока отказов является величиной практически постоянной, поток отказов простейший, вероятность возникновения пожара на объекте рассчитывается по формуле:

$$P_{\text{пож}}(t) = 1 - e^{-\lambda_{\text{пож}}(t)t}, \quad (3.28)$$

где t – время, учитываемое при рассмотрении вероятности возникновения пожара, для среднего значения параметра интенсивности пожаров на объектах за расчетный год [48; 60]:

$$P_{\text{пож}}(t) = 0,67$$

Расчет материальных потерь от пожара части национального богатства при условии развития событий по сценарию №1 и №2 определяется по формуле (3.28) и составляет, соответственно:

$$M(P_{\text{пож}})_{\text{вар1}} = 152\,779 \text{ год}^{-1},$$

$$M(P_{\text{пож}})_{\text{вар2}} = 405\,208 \text{ год}^{-1}.$$

Математическое ожидание потерь в результате отвлечения ресурсов на компенсацию последствий от пожара:

$$M(\Pi_{\text{ор}}) = S_{\text{п}} \left(I_{\text{уд}} + E_{\text{н}} (K_{\text{уд}}^{\text{з}} + K_{\text{уд}}^{\text{о}}) \right) \lambda_{\text{пож}}, \text{ руб. год}^{-1}, \quad (3.29)$$

где $I_{\text{уд}}$ – удельные издержки при в работах по восстановлению,

$K_{уд}^3$ – удельные единовременные вложения в здание (сооружение),
 $K_{уд}^0$ – удельные единовременные вложения в оборудование.

Расчет материальных потерь в результате отвлечения ресурсов на компенсацию последствий от пожара производится по формуле (3.29) при условии развития событий по сценарию №1 и №2 соответственно:

$$M(\Pi_{ор})_{вар1} = 374\,078 \text{ год}^{-1},$$

$$M(\Pi_{ор})_{вар2} = 882\,309 \text{ год}^{-1}.$$

Математическое ожидание потерь от простоя объекта (недополученная прибыль), вызванная пожаром, определяется по формуле:

$$M(\Pi_{по}) = \Pi_{пр} T_{пр} \lambda_{пож} \text{ руб. год}^{-1}, \quad (3.30)$$

$\Pi_{пр}$ – время простоя объекта, $T_{пр}$ – прибыль объекта.

Учитывая, что на время проведения ремонтно – восстановительных работ остается оборудование, которое не выводится из эксплуатации и отключается, в ходе исследования решено в формулу (3.27) ввести коэффициент, учитывающий долю такого оборудования. Формула (3.30) примет следующий вид:

$$M(\Pi_{по}) = \Pi_{пр} k_{пр} T_{пр} \lambda_{пож} \text{ руб. год}^{-1}, \quad (3.31)$$

где $k_{пр}$ – коэффициент, учитывающий долю оборудования, находящуюся в простое в период ремонтно–восстановительных работ объекта.

Расчет материальных потерь от простоя объекта для сценария № 1 и № 2 соответственно:

$$M(\Pi_{по})_{вар1} = 180\,925 \text{ год}^{-1},$$

$$M(\Pi_{по})_{вар2} = 546\,462 \text{ год}^{-1}.$$

Расчет значений математических ожиданий экономических потерь от пожара на объекте энергетики проводится по формуле (4.30) для двух сценариев развития [16; 45; 60; 94]:

$$M(\Pi)_{вар1} = 152\,779 + 374\,078 + 180\,925 = 673\,782 \text{ год}^{-1},$$

$$M(\Pi)_{вар2} = 405\,208 + 882\,309 + 546\,462 = 1\,833\,979 \text{ год}^{-1}.$$

Отношения математических ожиданий $M(\Pi)_{вар1}$ и $M(\Pi)_{вар2}$ определяют экономическую эффективность:

$$E = \frac{M(\Pi)_{\text{вар}2}}{M(\Pi)_{\text{вар}1}}. \quad (3.32)$$

По формуле (4.35) определяется значение экономической эффективности от применения КСПМ:

$$E = \frac{1\,833\,979}{673\,882} = 2,72.$$

Расчет экономической эффективности показал, что применение КСПМ, позволит снизить материальный ущерб от пожара в 2,72 раза.

3.6 Выводы по главе

1. Построена математическая модель функционирования КСПМ объектов энергетики на основе модифицированных соотношений Джейсуола, на основе которой разработаны графические зависимости показателей E и Q , которые дают возможность исследовать эффективность функционирования КСПМ в зависимости от числа источников заявок (сообщений о пожарах, поступающих с объектов) и интенсивности поступления и обслуживания заявок.

2. Проведенные расчёты позволили выявить существенное преимущество КСПМ с приоритетом обслуживания поступающих заявок, а сокращение времени обработки сигнала позволяет достигнуть показателя надежности функционирования сети связи в КСПМ на уровне 0,999.

3. Разработаны основные и специальные требования, предъявляемые к КСПМ объектов энергетического комплекса.

4. На основании разработанных требований определены основные мероприятия по обеспечению противопожарной защиты с использованием КСПМ с автоматической передачей информации о происшествии.

5. Предложен многопараметрический критерий для количественной оценки функционирования беспроводных систем пожарного мониторинга на объектах энергетического комплекса, что дает возможность выбора оптимальной системы.

6. Применение КСПМ, позволяющих в автоматическом режиме передавать информацию на пульт диспетчера пожарной части, с указанием места возгорания и количества людей в зоне возникновения пожара, позволит снизить материальные убытки от пожара в 2,72 раза.

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. Расчет 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.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Бережная, Е.В. Математические методы моделирования экономических систем: учебное пособие / Е.В. Бережная, В.И. Бережной. – М.: Финансы и статистика, 2006. – 432 с.
2. Болтянский, В.Г. Математические методы оптимального управления [Текст] / В.Г. Болтянский – М.: Наука, 1968. – 408 с.
3. Брушлинский, Н.Н. Основы теории пожарных рисков и ее приложения [Текст]: монография / Н.Н. Брушлинский и др. – М.: Академия ГПС МЧС России, 2012. – 192 с.
4. Вентцель, Е.С. Теория вероятностей. – М.: Издат. центр «Академия», 2005. – 573 с.
5. Вентцель, А.Д. Курс теории случайных процессов [Текст] / А.Д. Вентцель. – М.: Наука, 1975. – 320 с.
6. Вентцель, Е.С. Исследование операций [Текст] / Е.С. Вентцель, Л.А. Овчаров. – М.: Советское радио, 1972. – 552 с.
7. Вентцель, Е.С. Теория вероятностей и ее инженерные приложения [Текст] / Е.С. Вентцель, Л.А. Овчаров. – М.: Наука, 1988. – 480 с.
8. Волик, Б.Г. . Методы анализа и синтеза структур управляющих систем [Текст] / Б.Г. Волик. – М.: Энергоатомиздат, 1988. – 296 с.
9. Гвардейцев, М.И. Специальное математическое обеспечение управления [Текст] / М.И. Гвардейцев, В.П. Морозов, В.Я. Розенберг. – М.: Советское радио, 1978. – 512 с.
10. Гмурман, В.Е. Руководство к решению задач по теории вероятностей и математической статистике: учеб. пособие / В.Е. Гмурман . – 11–е изд., перераб. – М.: Высшее образование, 2007. – 404 с.
11. Гнеденко, Б.В. Введение в теорию массового обслуживания [Текст] / Б.В. Гнеденко, И.Н Коваленко. – М.: Наука, 1966. – 438 с.
12. Гордиенко, Д.М. Пожарная безопасность особо опасных и технически сложных производственных объектов нефтегазового комплекса [Текст]: дис. ... д-ра. техн. наук: 05.26.03 / Гордиенко Денис Михайлович. – М., 2017. – 28–56 с.

13. ГОСТ 12.1.004–91*. ССБТ. Пожарная безопасность. Общие требования [Электронный ресурс]: государственный стандарт // Гарант: инф.–прав. об–ние. – Эл. Дан. – М., 2016. – Доступ из локальной сети б–ки Академии ГПС МЧС России (дата обращения 17.10.2017).

14. ГОСТ 12.1.010–76 Система стандартов безопасности труда. Взрывобезопасность. Общие требования [Электронный ресурс]: государственный стандарт // Гарант: инф.–прав. об–ние. – Эл. Дан. – М., 2016. – Доступ из локальной сети б–ки Академии ГПС МЧС России (дата обращения 14.03.2018).

15. ГОСТ 12.1.044–89. ССБТ. Пожаро– и взрывобезопасность материалов и веществ. Номенклатура показателей и методы их определения [Электронный ресурс]: государственный стандарт // Гарант: инф.–прав. об–ние. – Эл. Дан. – М., 2016. – Доступ из локальной сети б–ки Академии ГПС МЧС России (дата обращения 14.03.2018).

16. ГОСТ 8.207–76. Прямые измерения с многократным наблюдением. Методы обработки результатов наблюдений [Электронный ресурс]: государственный стандарт // Гарант: инф.–прав. об–ние. – Эл. Дан. – М., 2016. – Доступ из локальной сети б–ки Академии ГПС МЧС России (дата обращения 14.03.2018).

17. ГОСТ 8.395–80 ГСИ. Нормальные условия измерений при поверке. Общие требования [Электронный ресурс]: государственный стандарт // Гарант: инф.–прав. об–ние. – Эл. Дан. – М., 2016. – Доступ из локальной сети б–ки Академии ГПС МЧС России (дата обращения 17.10.2017).

18. ГОСТ Р 12.3.047.98. Пожарная безопасность технологических процессов. Общие требования. Методы контроля [Электронный ресурс]: государственный стандарт // Гарант: информ.–правовое обеспечение. – Электрон. Дан. – М., 2016. – Доступ из локальной сети б–ки Академии ГПС МЧС России (дата обращения 17.10.2017).

19. ГОСТ Р 51317.4.5 – 99. Устойчивость к микросекундным импульсным помехам большой энергии. Требования и методы испытаний [Электронный ресурс]: государственный стандарт // Гарант: инф.–прав. об–ние. – Эл. Дан. – М., 2016. – Доступ из локальной сети б–ки Академии ГПС МЧС России (дата обращения 17.10.2017).

20. ГОСТ Р 53325–2012. Техника пожарная. Технические средства пожарной автоматики. Общие технические требования [Электронный ресурс]: государственный стандарт // Гарант: инф.–прав. об–ние. – Эл. Дан. – М., 2016. – Доступ из лок–ной сети б–ки Академии ГПС МЧС России (дата обращения 14.03.2018).

21. Гусев, И.А. Применение робототехнических средств для тушения пожаров на объектах энергетики [Текст]: дис. ... канд. техн. наук: 05.26.03 / Гусев Иван Александрович. – М., 2018. – 35–48 с.

22. Джейсуол, Н. Очереди с приоритетами [Текст] / Н. Джейсуол. Пер. с англ. – М.: Мир, 1973. – 280 с.

23. Дональд Р.Ж. Электромагнитная совместимость радиоэлектронных средств и непреднамеренные помехи. – М.: Сов. радио, 1977. – 351 с.

24. Дубов, Ю.А. Многокритериальные модели формирования и выбора вариантов систем [Текст] / Ю.А. Дубов, С.И. Травкин, В.Н. Якимец. – М.: Наука, 1986. – 215 с.

25. Дык, Х.Т. Выбор системы оповещения и управления эвакуацией при пожаре [Текст] / Х.Т. Дык, А.Я. Корольченко // Пожаровзрывобезопасность. – 2013. – № 1. – С. 69–75.

26. Дык, Х.Т. Сопоставление эффективности проводных и беспроводных систем оповещения и управления эвакуацией [Текст] / Х.Т. Дык, А.Я. Корольченко // Пожаровзрывобезопасность. – 2013. – № 10. – С. 69–74.

27. Елтаренко, Е. А. Методы решения многокритериальных задач [Текст] / Е.А. Елтаренко – М.: МИФИ, 1980. – 79 с.

28. Елтаренко, Е. А. Оценка и выбор решений по многим критериям [Текст] / Е.А. Елтаренко – М.: МИФИ, 1995. – 85 с.

29. Жожикашвили, В.А., Вишневикий В.М. Сети массового обслуживания. Теория и применение к сетям ЭВМ. М.: Радио и связь, 1988. –191с.

30. Журавлёв, Д.Е. Беспроводная система автоматического вызова сил реагирования и оповещения населения – система ПАК «Стрелец –Мониторинг» особенности и преимущества [Текст] / В.И. Зыков // Научно–технический журнал Академии ГПС МЧС России. – 2016. – №2. – С. 87–102.

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

32. Журавлёв, Д.Е. Математическая модель системы пожарного мониторинга объектов энергетического комплекса [Текст] / В.И. Зыков, И.И. Манило // Материалы III Международной научно–практической конференция «Безопасность жизнедеятельности проблемы и решения – 2019». – Курган: Курганская Государственная сельскохозяйственная Академия им. Т.С. Мальцева. – 2016. – С. 15–19.

33. Журавлёв, Д.Е. Система контроля персонала объекта энергетики по принципу радиочастотной идентификации [Текст] / М.И. Горбунова, В.И. Зыков // Пожары и чрезвычайные ситуации: предотвращение, ликвидация. – 2021. – №3. – С. 5–12.

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

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

36. 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.

37. Журавлёв, Д.Е. Функционирование средств передачи информации в радиоканальных системах и обнаружение пожаров на объектах энергетического комплекса [Текст] / В.С. Бутко, И.И. Манило, Иванников А.П. // Технологии

техносферной безопасности 2016. – №5. – С.126–132.

38. Замиер, А. Н. Критерий оценки качества систем связи [Текст] / А.Н. Замиер – М.: Связь, 1974. – 40 с.

39. Зыков, В.И. Живучесть беспроводных систем мониторинга пожарной безопасности объектов энергетического комплекса [Текст] / В.И. Зыков // Пожары и чрезвычайные ситуации: предотвращение, ликвидация. – 2013. – №3. – С. 54–59.

40. Зыков, В.И. Методологические основы моделирования и построения сетей оперативной связи в системах управления пожарной охраной [Текст]: дис. ... д-ра. техн. наук: 05.13.10, 05.26.03 / Зыков Владимир Иванович. – М., 2001. – С. 83–121.

41. Зыков, В.И. Организация пожарного мониторинга. Вопросы подключения системы передачи извещений [Текст] / В.И. Зыков // Каталог пожарной безопасности. – 2015. – С. 100 – 101.

42. Зыков, В.И. Пожарный мониторинг – взгляд МЧС России [Текст] / В.И. Зыков // Системы безопасности. – 2013. – №5. – С.136–139.

43. Зыков, В.И. Система комплексной безопасности и защиты от ЧС в условиях функционирования ЦУКС [Текст] / В.И. Зыков, М.С. Левчук, В.В. Кокшин // Пожары и чрезвычайные ситуации: предотвращение, ликвидация. – 2014. – №4. – С. 28–35.

44. Зыков, В.И., Концепция построения системы радиоканального мониторинга пожарной безопасности объектов [Текст] / В.И. Зыков, М.С. Левчук – М.: МЧС России, 2007. – 46 с.

45. Иванников, А.П. Комплексная оценка функционирования беспроводных систем обнаружения пожаров на объектах энергетического комплекса [Текст]: дис. ... канд. техн. наук: 05.26.03 / Иванников Андрей Павлович. – М., 2017. – С. 23–96.

46. Инструкция по конфигурированию свойств системы и координатора сети (КР (РРОП 0)) в программе WireEx с ПК [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://streletz.ru/docs/sert/programmir.pdf> (дата обращения 09.10.2018).

47. Ищенко, А.Д. Теория локализации пожаров в зданиях объектов энергетики [Текст]: дис. ... д-ра. техн. наук: 05.26.03 / – Ищенко Андрей Дмитриевич – М., 2020. – С. 120–171.

48. Конституция РФ [Электронный ресурс]: руководящий документ // Гарант: информ.–правовое обеспечение. – Электрон. Дан. – М., 2016. – Доступ из локальной сети б–ки Академии ГПС МЧС России (дата обращения 12.09.2016).
49. Концепция развития связи в Российской Федерации [Текст] / Булгак В.Б., Варакин Л.Е., Ивашкевич Ю.К. и др. Под ред. Булгака В.Б., Варакина Л.Е. – М.: Радио и связь, 1995. – 224 с.
50. Корн, Г.А. Справочник по математике для научных работников и инженеров [Текст] / Г.А. Корн, Т.М. Корн. – М.: Наука, 1968. – 720 с.
51. Корнеев, С.В. Оптимизация параметров технологии радиочастотной идентификации [Текст] / С.В. Корнеев // Радиопромышленность. – 2002. – №3. – С. 38–43.
52. Корнеев, С.В., К вопросу об управлении эффективной поверхностью рассеяния диполей в технологии радиочастотной идентификации [Текст] / С.В. Корнеев, А.В. Рунге // В кн.: Антенны; под ред. Л.Д. Бахраха. Вып. 6. – М.: Радио и связь, 2002. – С.50–56.
53. Корольченко, А.Я. Инновационная технология противопожарной защиты – ЗМ™ NOVEC™ 1230 [Текст] / А.Я. Корольченко, Е.Н. Шилина // научн.– практ. конф.: Инженерные кадры – будущее инновационной экономики России. – 2015. – С. 302–303.
54. Корольченко, А.Я. Эвакуация людей из высотных зданий при пожарах [Текст] / А.Я. Корольченко, Х.Т. Дык // Вестник МГСУ. – 2012. – № 10. – С. 206–212.
55. Круг, Г.К. Статистические методы в инженерных исследованиях [Текст]: лабораторный практикум / Г.К. Круг. – М.: Высш. школа, 1983. – 216 с.
56. Малишевский, А.В. Качественные модели в теории сложных систем [Текст] / А.В. Малишевский. – М.: Наука. Физматлит, 1998. – 528 с.
57. Малько, В.А. Модель и алгоритмы реорганизации региональной системы обеспечения пожарной безопасности на основе оценки пожарных рисков [Текст]: дис. ... канд. техн. наук: 05.13.10 / Малько Валерий Анатольевич – М., 2019. – С. 34–49.
58. Матвеев, В.Ф. Системы массового обслуживания [Текст] / В.Ф. Матвеев – М.: МГУ, 1984. – 240 с.

59. Материалы XXXI Международной научно–практической конференции «Актуальные проблемы пожарной безопасности». – М.: ФГБУ ВНИИ ПО МЧС России, 2019. – С. 638–641.

60. Материалы Международной научно–технической конференции «Системы безопасности». – М.: Академия ГПС МЧС России, 2017. – С. 364–367.

61. Мешман, Л.М. Методы испытаний на работоспособность водяных и пенных АУП [Текст] / Л.М. Мешман, Р.Ю. Губин, А.Г. Дидяев, Л.Т. Танклевский, А.Л. Танклевский // Пожаровзрывобезопасность. – 2016. – №2. – С. 28–50.

62. Мешман, Л.М. О возможности использования пластиковых труб в спринклерных установках автоматического пожаротушения [Текст] / Л.М. Мешман, А.Ю. Снегирев, Л.Т. Танклевский, А.А. Таранцев // Пожаровзрывобезопасность. – 2014. – №10. – С.73–78.

63. Мироненко, Р.В. Ограничение распространения пожара через многосветные помещения по зданиям торгово – развлекательных центров [Текст]: дис. канд. техн. наук: 05.26.03 / Мироненко Роман Владимирович – М., 2017. – С. 50–72.

64. О защите населения и территорий от чрезвычайных ситуаций природного и техногенного характера [Электронный ресурс]: федер. закон от 21 дек. 1994 г. № 68–ФЗ: (в ред. от 15 фев. 2016 г.) // Гарант: информ.–правовое обеспечение. – Электрон. Дан. – М., 2016. – Доступ из локальной сети б–ки Академии ГПС МЧС России (дата обращения 22.09.2017).

65. О пожарной безопасности [Электронный ресурс]: федер. закон от 21 дек. 1994 г. № 69–ФЗ: (в ред. от 30 дек. 2015 г.) // Гарант: информ.–правовое обеспечение. – Электрон. Дан. – М., 2016. – Доступ из локальной сети б–ки Академии ГПС МЧС России (дата обращения 22.09.2017).

66. О порядке проведения расчетов по оценке пожарного риска [Электронный ресурс]: постановление Правительства Рос. Федерации от 31 марта 2009 г. № 272: (в ред. от 31 янв. 2012 г.) // Гарант: инф.–прав. об–ние. – Электрон. Дан. – М., 2016. – Доступ из локальной сети б–ки Академии ГПС МЧС России (дата обращения 23.09.2017).

67. О промышленной безопасности опасных производственных объектов

[Электронный ресурс]: федер. закон от 21 июля 1997 г. № 116–ФЗ: (в ред. от 13 июня 2015 г.) // Гарант: информ.–правовое обеспечение. – Электрон. Дан. – М., 2016. – Доступ из локальной сети б–ки Академии ГПС МЧС России (дата обращения 12.09.2018).

68. О техническом регулировании [Электронный ресурс]: федер. закон от 27.12.2002 г. № 184–ФЗ: (в ред. от 28 ноября 2015 г.) // Гарант: информ.–правовое обеспечение. – Электрон. Дан. – М., 2016. – Доступ из локальной сети б–ки Академии ГПС МЧС России (дата обращения 22.09.2017).

69. Об утверждении методики определения расчетных величин пожарного риска на производственных объектах [Электронный ресурс]: приказ МЧС России от 10 июля 2009 г. №404: (зарегистрировано в Минюсте РФ от 17.08.2009 г. №14541) // Гарант: инф.–прав. об–ние. – Эл. Дан. – М., 2016. – Доступ из локальной сети б–ки Академии ГПС МЧС России (дата обращения 14.09.2018).

70. Об утверждении методики определения расчетных величин пожарного риска в зданиях, сооружениях и строениях различных классов функциональной пожарной опасности [Электронный ресурс]: приказ МЧС России от 30 июня 2009 г. № 382: (зарегистрировано в Минюсте РФ 06.08.2009 № 14486): (в ред. От 02.12.2015 г.) // Гарант: инф.–прав. об–ние. – Эл. Дан. – М., 2016. – Доступ из локальной сети б–ки Академии ГПС МЧС России (дата обращения 22.09.2017).

71. Подрезов, Ю.В. Особенности создания цифровой экономики в Российской Федерации, проблемы безопасности и чрезвычайных ситуаций [Текст] / Ю.В. Подрезов – М.: ФГБУ ВНИИ ГОЧС (ФЦ), 2019. – № 4. С. 98–104.

72. Пожары и пожарная безопасность в 2013 году [Текст]: статистический сборник / Под общей редакцией А.В. Матюшина. – М.: ВНИИПО, 2014. – 137 с.

73. Пожары и пожарная безопасность в 2014 году [Текст]: статистический сборник / Под общей редакцией А.В. Матюшина. – М.: ВНИИПО, 2015. – 124 с.

74. Пожары и пожарная безопасность в 2015 году [Текст]: статистический сборник / Под общей редакцией А.В. Матюшина. – М.: ВНИИПО, 2016. – 111 с.

75. Пожары и пожарная безопасность в 2016 году [Текст]: статистический сборник / Под общей редакцией Д.М. Гордиенко. – М.: ВНИИПО, 2017. – 126 с.

76. Пожары и пожарная безопасность в 2017 году [Текст]: статистический сборник / Под общей редакцией Д.М. Гордиенко. – М.: ВНИИПО, 2018. – 121 с.

77. Пожары и пожарная безопасность в 2018 году [Текст]: статистический сборник / Под общей редакцией Д.М. Гордиенко. – М.: ВНИИПО, 2019. – 112 с.

78. Пожары и пожарная безопасность в 2019 году [Текст]: статистический сборник / Под общей редакцией Д.М. Гордиенко. – М.: ВНИИПО, 2020. – 130 с.

79. Пожары и пожарная безопасность в 2020 году [Текст]: статистический сборник / Под общей редакцией Д.М. Гордиенко. – М.: ВНИИПО, 2021. – 134 с.

80. Приказ «ЕЭС России» №108 от 22.02.2007 О повышении уровня и дальнейшем совершенствовании пожарной безопасности ТЭС ДЗО Холдинга РАО [Электронный ресурс]. – Режим доступа: http://www.rosteplo.ru/Npb_files/npb_shablon.php?id=1071 (дата обращения 12.09.2018).

81. Приказ Министерства энергетики РФ № 495 от 01.08.2014 Об утверждении схемы и программы развития Единой энергетической системы (ЕЭС) России на 2014–2020 годы [Электронный ресурс]: руководящий документ // Гарант: информ.–правовое обеспечение. – Электрон. Дан. – М., 2016. – Доступ из локальной сети б–ки Академии ГПС МЧС России (дата обращения 14.09.2017).

82. Р.50.1.040 2002. Статистические методы. Планирование экспериментов. Термины и определения [Электронный ресурс]: рекомендации по стандартизации // Гарант: инф.–прав. об–ние. – Эл. Дан. – М., 2016. – Доступ из лок–ной сети б–ки Академии ГПС МЧС России (дата обращения 22.09.2017).

83. Распоряжение Правительства РФ от 13.11.2009 N 1715–р «Об Энергетической стратегии России на период до 2030 года [Электронный ресурс]: руководящий документ // Гарант: информ.–правовое обеспечение. – Электрон. Дан. – М., 2016. – Доступ из локальной сети б–ки Академии ГПС МЧС России (дата обращения 12.09.2018).

84. Семенюта, Н.Ф. К расчету нагрузки телеграфной сети [Текст] / Н.Ф. Семенюта, Г.И. Щуплокова, А.Н. Семенюта // Электросвязь. – 1992. – №2. – С.21–24.

85. СП 5.13130.2009 Системы противопожарной защиты. Установки пожарной сигнализации и пожаротушения автоматические. Нормы и правила

проектирования. [Электронный ресурс]: государственный стандарт // Гарант: инф.–прав. об–ние. – Эл. Дан. – М., 2016. – Доступ из лок–ной сети б–ки Академии ГПС МЧС России (дата обращения 01.10.2016).

86. Торохов, С.В. «Риф Стринг–202» Расширяет границы возможного [Электронный ресурс] / С.В. Торохов // «БДИ» Спецвыпуск №6. – Режим доступа: http://mx1.algorithm.org/arch/63/63_5.pdf (дата обращения 14.09.2017).

87. Уильям, К.Ли. Техника подвижных систем связи. Пер. с англ. – М.: Радио и связь, 1985. – 392 с.

88. Фогилев, И.С. Обеспечение действий оперативного персонала при возникновении пожаров в помещениях атомных электростанций [Текст]: дис. канд. техн. наук: 05.26.03 / Фогилев Иван Сергеевич – М., 2019. – С. 69–125.

89. Фомин, Г.П. Системы и модели массового обслуживания в коммерческой деятельности: учеб. пособие / Г.П. Фомин. – М. : Финансы и статистика, 2000. – 156 с.

90. Харкевич, В.М. Теория сетей связи [Текст] / Харкевич В.М. – М.: Связь, 1987. – 238 с.

91. Чубен, Н.М. Качество связи, теория и практика [Текст] / Н.М. Чубен, Г.М. Матлин – М.: Радио и связь, 1986. – 272 с.

92. Шварцман В.О. Передача данных по телефонной коммутируемой сети [Текст] / В.О. Шварцман, В.Г. Осипов // Электросвязь. – 1980. – №1. – С.28–30.

93. Шилейко А.В. Введение в информационную теорию связи [Текст] / А.В. Шилейко, В.Ф. Кочнев, Ф.Ф. Химушин – М.: Радио и связь, 1985.– 280 с.

94. Штойер Р. Многокритериальная оптимизация. Теория, расчет и приложения. – М.: Радио и связь, 1992. – 239 с.

95. Экенроде Р.Т. Взвешенные многомерные критерии. – М.: Статистика, 1972. – 56 с.

96. Яворский, В.А. Планирование научного эксперимента и обработка экспериментальных данных [Текст] / В.А. Яворский. – М.: МФТИ, 2006. – 44 с.

97. Abate J. Simple spectral representations for the M/M/1 queue / J. Abate, W. Whitt // Queueing Syst. 1988. – № 4. – PP. 321–345.

98. Adan, I. Queueing Theory / I. Adan, J. Resing // The Netherlands, 2000. – 122 p.
99. Afanas'ev L. G. Uniform bounds for the periodic queue in the M(t)/G/1/ system / L. G. Afanas'ev, A. A. Kibkalo // Soviet Math. 1988. – № 4. – PP. 454–457.
100. Briggman D. Intermodulation in VHF – Vorstufen / D. Briggman // "Funkschau". – 1977. – №21. – PP. 75–77.
101. Colberd H.B. Predict intermodulation distortion from crossmodulation measurement / H.B. Colberd // Electronic Des. – 1970. – №10. – PP. 76–78.
102. Dodson, C.E. Computer prediction of field strength in the planning of radiosystems / C.E. Dodson // IEEE Trans. – 1985, VT–24. – №1. – PP. 1–8.
103. Finkenzeller, K. RFID Handbook : Fundamentals and Applications in Contactless Smart Cards and Identification / K. Finkenzeller // 2nd edition – New York, 1999. – PP. 41–152.
104. Frasier, R.A. Compatibility and the frequency Selection problem / R.A. Frasier // IEEE Trans. – 1985, EMC–17. – №4. – PP. 248–254.
105. Girard, A. Routing and dimensioning in circuit–switched networks / A. Girard // Reading: Addison– Wesley Publishing Company – 1990. – XIV. – PP. 539–556.
106. Hairer, E. Solving ordinary differential equations / E. Hairer, S.P. Norsett, G. Wanner // Springer–Verlag. – New York, 1987. – 491 p.
107. Harst, M. Zugbahnfunk der Deutschen Bundesbahn Instandhaltung der technischen Einrichtungen / M. Harst // Signal und Draht. – 1977. – №12. – PP. 298–322.
108. IEEE 802.11g Draft standard for wireless local area network [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://www.ti.com/lit/wp/sply012/sply012.pdf> (дата обращения 15.10.2018).
109. Kelly, F. P. Routing in circuit–switched networks: Optimization, shadow prices and decentralization / F. P. Kelly // Advances in Applied Probability 20. – 1988. – P. 112–144.
110. Kopylov, S. N. Fire extinguishers for manned spacecraft / Kopylov S.N., Smirnov N.V., Tanklevsky L.T. // Acta Astronautica. – 2015. – Vol. 109. – PP. 225–230.
111. Lawrence, E. L. Integrated Circuit Technology Options for RFID's – Present Status and Future Directions / E.L. Lawrence // IEEE Custom Integrated

Circuits Conference, 1997. – PP. 170–177.

112. Mikeev, A.K. Chernobyl, USSR: initial fire brigade operations / A.K. Mikeev // *Magazin der Feuerwehr*. – 1987. – № 1. – PP. 18–21.

113. MIL–STD–461F Requirements for the control of electromagnetic interference characteristics of subsystems and equipment // United States of America Department of defense, 2007. – 278 p.

114. Pinter, R. Digital Revolution in LAND Mobile Radio / R. Pinter // Issue 13, Spring 1993. – PP.62–65.

115. Rappaport, T.S. Wireless Communications: Principles and Practice / T.S. Rappaport // Prentice Hall PTR, NJ, 1995. – 641 p.

116. Reynolds, M. Microwave RFID: Passive Scattering and Active Transponders , 2002 – PP. 143–197.

117. Samotaev, N.N. Digital intellectual sensors for gas analysis system / N.N. Samotaev, A.V. Ivanova, K.Y. Oblov // 2015 International SIBERIAN conference on control and communications, SIBCON 2015. – Omsk: 2015.

118. Samotaev, N.N. IMS development at NRNU MEPHI / N.N. Samotaev, A.V. Golovin, V.A. Vasiliev // *Lecture notes in electrical engineering*, 2014. – PP. 447–451.

119. Samotaev, N.N. Wi-Fi Wireless Digital Sensor Matrix for Environmental Gas Monitoring / N.N. Samotaev, A.V. Ivanova, K.Y. Oblov // *Procedia Engineering*, 2014. – Vol. 87. – PP. 1294–1297.

120. Samotaev, N.N. Wireless digital platform for environmental gas MONITORING / N.N. Samotaev, A.V. Ivanova, K.Y. Oblov // 2015 International SIBERIAN conference on control and communications, SIBCON 2015. – Omsk: 2015.

121. Scotford, G. Fire protection for the nuclear industry – a unique challenge / G. Scotford // *Fire Eng. J.* – 1986. – Vol. 46. – № 141. – PP. 4–6.

122. Siegel, J.M. A method to assess power plant risk due to fire induced transients / J.M. Siegel, M.A. Stutzke // *Anticipated and Abnorm.* – 1984. – № 2. – PP. 985–993.

123. Vogel, I.S. Experimentelle und rechnerische Untersuchungen der Verzerrungen und Mischvorgänge in Transistorstufen bei hohen Frequenzen / I.S. Vogel, M.I. Stum // *AEV.* – 1980, 14. – № 5. – PP. 81–94.

ПРИЛОЖЕНИЕ

(обязательное)

Акты внедрения

УТВЕРЖДАЮ
 Начальник 8 ПСО ФПС ГПС
 ГУ МЧС России
 по Московской области
 полковник внутренней службы
 Панов А.В.
 2022 г.



АКТ ВНЕДРЕНИЯ РЕЗУЛЬТАТОВ ДИССЕРТАЦИОННОГО ИССЛЕДОВАНИЯ

Результаты представленной диссертационной работы Журавлёва Дениса Евгеньевича на тему: «Программно-аппаратный комплекс беспроводного мониторинга пожарной безопасности объектов энергетики» показывают актуальность решаемых вопросов и затрагивают перспективные направления развития беспроводных систем пожарного мониторинга объектов защиты.

Применение ведомственной цифровой сети связи с интеграцией услуг МЧС России в качестве транспортной инфраструктуры систем пожарного мониторинга объектов защиты позволит значительно сократить время передачи тревожных сообщений в автоматическом режиме на пульт диспетчера пожарной части, а также Национальный центр управления в кризисных ситуациях по субъекту Российской Федерации, с указанием места возгорания и количества людей в зоне возникновения пожара.

Создание программно-аппаратного комплекса беспроводного мониторинга пожарной безопасности позволит проводить оповещение и поиск людей для обеспечения персонализированного обнаружения, а также обеспечит формирования маршрута движения и эвакуацию технического персонала в случае возникновения пожаров и ЧС в безопасную зону с использованием технологии RFID.

Разработанный комплексный критерий количественной оценки функционирования беспроводных систем пожарного мониторинга объектов энергетики, позволил провести выбор наиболее оптимальной системы для филиала «Шатурской ГРЭС» ПАО «ЮНИПРО».

Начальник 8 ПСО ФПС ГПС
ГУ МЧС России по Московской области
полковник внутренней службы
«6» 05 2022 г.


 Подпись

А.М. Урубинский
 ФИО

УТВЕРЖДАЮ

Заместитель директора Департамента
кадровой политики МЧС Россииполковник  Артёмов А.А.«19»  2022 г.

АКТ

внедрения результатов диссертационной работы подполковника
Журавлёва Дениса Евгеньевича на тему «Программно-аппаратный комплекс
беспроводного мониторинга пожарной безопасности объектов энергетики»

Полученные в диссертационной работе Журавлёва Дениса Евгеньевича
на тему: «Программно-аппаратный комплекс беспроводного мониторинга
пожарной безопасности объектов энергетики» результаты применения
радиочастотной идентификации для организации контроля доступа персонала
использованы при составлении технического задания на поставку персональных
электронных карт военнослужащих МЧС России (ПЭК).

Цели использования ПЭК в МЧС России:

персональный учёт военнослужащих;

идентификация военнослужащих (оперативное опознание лиц);

контроль доступа на режимные объекты;

логический доступ к информационным ресурсам.

использование данных ПЭК при получении медицинского, вещевого,
социального и других видов довольствия.

Главный специалист – эксперт отдела
Департамента кадровой политики МЧС России



Васильев А.В.

УТВЕРЖДАЮ

Заместитель начальника Академии ГПС

МЧС России по научной работе

доктор технических наук, профессор

М.В. Алешков

02 2022 г.



внедрения результатов диссертационной работы подполковника Журавлёва Дениса Евгеньевича на тему: «Программно-аппаратный комплекс беспроводного мониторинга пожарной безопасности объектов энергетики», в учебном процессе Академии ГПС МЧС России

Комиссия в составе:

Председатель комиссии:

начальник кафедры СЭАСС Академии ГПС МЧС России к.т.н., доцент, полковник внутренней службы Крупин М.В.;

Члены комиссии:

профессор кафедры СЭАСС к.т.н., доцент Петренко А.Н.;

доцент кафедры СЭАСС к.п.н., доцент Горбунова М.И.;

составили настоящий акт о том, что результаты диссертационной работы подполковника Журавлёва Дениса Евгеньевича на тему: «Программно-аппаратный комплекс беспроводного мониторинга пожарной безопасности объектов энергетики» были использованы при:

-изучении дисциплины «Автоматизированные системы управления 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 гарнизона пожарной охраны»;

-выполнении выпускных квалификационных работ по дисциплине «Автоматизированные системы управления и связь».

Председатель комиссии:

Начальника кафедры СЭАСС
Академии ГПС МЧС России
полковник внутренней службы
к.т.н., доцент

Крупин М.В.

Члены комиссии:

профессор кафедры СЭАСС, к.т.н., доцент

Петренко А.Н.

доцент кафедры СЭАСС, к.п.н., доцент

Горбунова М.И.

УТВЕРЖДАЮ
 Начальник Управления информационных технологий и связи МЧС России
 генерал-майор С.В. Власов
 «21» _____ 2019 г.



АКТ

внедрения результатов диссертационной работы майора Журавлёва Дениса Евгеньевича, представленной на соискание учёной степени кандидата технических наук по специальности 05.26.03. – «Пожарная и промышленная безопасность»

Комиссия в составе:

Председатель комиссии:

Зуев Игорь Васильевич - старший офицер отдела организации технического обеспечения связи и информационных систем Управления информационных технологий и связи МЧС России;

Члены комиссии:

Левушкин Евгений Николаевич - офицер отдела организации технического обеспечения связи и информационных систем Управления информационных технологий и связи МЧС России;

Крылов Олег Вадимович – старший офицер отдела организации и развития связи Управления информационных технологий и связи МЧС России.

составили настоящий акт о том, что результаты диссертационной работы Журавлёва Дениса Евгеньевича на тему: «Совершенствование программно- аппаратного комплекса радиоканального мониторинга объектов энергетики» 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 г. №633;

- при подготовке технического задания в рамках реализации мероприятия «Создание и развитие ведомственных информационных систем МЧС России для обеспечения процессов предоставления государственных услуг в сфере обеспечения пожарной безопасности, безопасности людей на водных объектах физическим лицам, субъектам малого и среднего предпринимательства, индивидуальным предпринимателям, а также процессов мониторинга пожарной безопасности объектов защиты», исполнителем которого является МЧС России, в рамках паспорта федерального проекта «Цифровое государственное управление» национальной программы «Цифровая экономика Российской Федерации» (протокол заседания от 25 декабря 2018 г. № 1).

Повышение уровня противопожарной защиты объектов энергетики напрямую связано с возможностью модернизации систем обнаружения пожаров и обеспечением их бесперебойного функционирования. Выделенный для нужд МЧС России радиоканал, обеспечит своевременную доставку тревожного сигнала непосредственно диспетчеру пожарной охраны без участия персонала объекта.

Применение цифровой сети связи с интеграцией услуг МЧС России для обеспечения проактивного мониторинга пожарной безопасности объектов энергетики и созданию беспроводной системы оповещения и поиска людей на объектах энергетики для обеспечения персонализированной эвакуации и обнаружения сотрудников в случае возникновения чрезвычайной ситуации, вносит значительный вклад в обеспечение пожарной безопасности объектов энергетики, позволит уменьшить материальный ущерб и количество человеческих жертв.

Председатель комиссии:

Члены комиссии:



И.В. Зуев

О.В. Крылов

Е.Н. Левушкин