

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Ивановская пожарно-спасательная академия Государственной противопожарной службы Министерства Российской Федерации по делам гражданской обороны, чрезвычайным ситуациям и ликвидации последствий стихийных бедствий»

На правах рукописи



Кочнов Олег Владимирович

**ОЦЕНКА ВЛИЯНИЯ ФУНКЦИОНИРОВАНИЯ
РЕЧЕВЫХ СИСТЕМ ОПОВЕЩЕНИЯ НА ЭФФЕКТИВНОСТЬ
УПРАВЛЕНИЯ ЭВАКУАЦИЕЙ ЛЮДЕЙ**

2.10.1. Пожарная безопасность

Диссертация на соискание ученой степени кандидата
технических наук

Научный руководитель:
доктор технических наук,
старший научный сотрудник
Никифоров Александр Леонидович

Иваново – 2024

ОГЛАВЛЕНИЕ

ВВЕДЕНИЕ.....	4
ГЛАВА 1. ОСНОВНЫЕ ЗАДАЧИ, РЕШАЕМЫЕ РЕЧЕВЫМИ СИСТЕМАМИ ОПОВЕЩЕНИЯ И УПРАВЛЕНИЯ ЭВАКУАЦИЕЙ ЛЮДЕЙ ПРИ ПОЖАРЕ	10
1.1. Аналитический обзор основных задач, решаемых системами оповещения и управления эвакуацией людей при пожаре	10
1.2. Выводы по первой главе.....	32
ГЛАВА 2. РАЗРАБОТКА МЕТОДОЛОГИЧЕСКИХ ПОДХОДОВ К ВЫПОЛНЕНИЮ ЭЛЕКТРОАКУСТИЧЕСКОГО РАСЧЕТА ПРИ ПРОЕКТИРОВАНИИ СОУЭ	34
2.1. Специфика учета основных параметров речевых оповещателей при выполнении электроакустического расчета	34
2.2. Основные методические подходы к расчету коэффициента эффективности топологии речевых оповещателей СОУЭ.....	48
2.3. Выводы по второй главе.....	60
ГЛАВА 3. РОЛЬ СИСТЕМ ОПОВЕЩЕНИЯ В ЗАДАЧЕ УПРАВЛЕНИЯ ЭВАКУАЦИЕЙ ЛЮДЕЙ ПРИ ПОЖАРЕ	63
3.1. Место и значимость СОУЭ при расчете вероятности эвакуации людей при пожаре.....	63
3.2. Основные методологические подходы к разработке алгоритма работы СОУЭ	79
3.3. Основные подходы к возможности численного определения задержек оповещения, необходимых для повышения эффективности алгоритма функционирования СОУЭ.....	89
3.4. Выводы по третьей главе.....	99
ГЛАВА 4. ОСНОВНЫЕ ПОДХОДЫ К ОЦЕНКЕ НАДЕЖНОСТИ И ТЕХНИЧЕСКОЙ ЭФФЕКТИВНОСТИ РЕЧЕВЫХ СОУЭ	101
4.1. Построение методики оценки технической эффективности СОУЭ	101

4.2. Оценка эффективности систем противопожарной защиты при расчете величины индивидуального пожарного риска в зданиях и сооружениях.....	113
4.3. Выводы по четвертой главе.....	124
ГЛАВА 5. РЕЗУЛЬТАТЫ ТЕОРЕТИЧЕСКИХ И ПРАКТИЧЕСКИХ ИССЛЕДОВАНИЙ ОСНОВНЫХ ФУНКЦИОНАЛЬНЫХ ПАРАМЕТРОВ СОУЭ В ТОРГОВО-ОФИСНОМ ЗДАНИИ	126
5.1. Краткая характеристика исследуемого объекта защиты, результаты практических измерений и акустических расчетов.....	126
5.2. Проверка эффективности применяемого алгоритма работы СОУЭ в исследуемом здании.....	135
5.3. Расчет надежности и технической эффективности применяемой СОУЭ, надежности СПЗ с целью оценки величины ИПР в исследуемом здании	138
5.4. Выводы по пятой главе.....	147
6. ВЫВОДЫ ПО РАБОТЕ	149
СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ.....	151
Приложение 1	166
Приложение 2	172
Приложение 3	182
Приложение 4	190
Приложение 5	201
Приложение 6	210
Приложение 7	214
Приложение 8	215
Приложение 9	216
Приложение 10	217
Приложение 11	220
Приложение 12	219

ВВЕДЕНИЕ

Актуальность темы исследования. Основной задачей в вопросе обеспечения пожарной безопасности (ПБ) зданий и сооружений является безопасность людей, степень которой определяется численным значением индивидуального пожарного риска (ИПР). Согласно официальным статистическим данным ВНИИПО количество пострадавших и погибших при пожарах людей остается на очень высоком уровне. Одной из причин повышенной опасности является недостаточная эффективность систем противопожарной защиты (СПЗ), систем оповещения и управления эвакуацией людей при пожаре (СОУЭ). Требования нормативной документации (НД) по ПБ указывают на необходимость обеспечения работоспособности и эффективности СОУЭ, передачи достоверной и разборчивой информации, обоснования применяемых алгоритмов функционирования. Однако методических рекомендаций для оценки указанных параметров нет. Поэтому разработка таких документов является актуальной научной задачей.

В результате проведенного исследования установлено, что коэффициент соответствия СОУЭ требованиям НД, используемый в нормативной методике расчёта ИПР, не вполне корректен. Исходя из полученных расчётных данных и практического опыта, он принимает значения как выше, так и ниже значения 80 %. Предложенные методики расчёта достоверности передаваемой информации, времени задержки начала эвакуации, коэффициента технической эффективности, способа учёта надёжности СОУЭ и структурного построения СПЗ позволят, как будет показано ниже, сократить общее время эвакуации людей при пожаре, повысить точность расчёта величины ИПР.

Степень разработанности темы исследования. Исследованиями в области электроакустики занимались: Фурдурев В.В., Беляев С.В., Сапожков М.А., Никонов А.В., Шоров В.И., Макриненко Л.И., Давыдов В.В., Ефимов А.П., Вахитов Ш.Я., Ковалгин А.А., Фадеев Ю.А., Щевьев Ю.П., Продеус А.Н.

Вопросами обеспечения беспрепятственной эвакуации людей при пожаре занимались: Милинский А.И., Предтеченский В.М., Тарасова Т.А., Калинин В.А., Вольф-Троп Л.И., Ройтбур С.М., Холщевников В.В. Вопросы исследования работоспособности СОУЭ в научной литературе напрямую не затрагивались, но могут быть раскрыты в рамках исследований надежности и работоспособности систем противопожарной автоматики в трудах таких ученых, как Дружинин Г.В., Бубырь Н.Ф., Бабуров В.П., Фомин В.И., Бабурин В.В., Смирнов В.И., Шаровар Ф.И., в рамках исследований эффективности систем связи данный вопрос изучали Агеев Д.В., Васильев Н.В., Walker W.F., Окунев Ю.Б., Плотников В.Г., в рамках общесистемных исследований – Канторович Л.В., Bartalanfy L., Авдусевский В.С., Торбин В.У.

Целью диссертационного исследования является разработка научно-методических подходов к оценке основных функциональных параметров СОУЭ и степени их влияния на эффективность управления эвакуацией людей при пожаре. Для достижения поставленной **цели** необходимо решить следующие задачи: проанализировать основные функциональные параметры, определяющие работоспособность СОУЭ; разработать методику оценки достоверности передаваемой речевой информации, методику оценки технической эффективности СОУЭ, обобщающую основные параметры системы на всех этапах жизненного цикла; исследовать основные подходы к возможности разработки и обоснования алгоритма работы СОУЭ; исследовать влияние надёжности и эффективности речевых СОУЭ на оценку величины ИПР.

Научная новизна работы. Впервые получены, обоснованы и доказаны:

- экспериментальные данные, включающие основные параметры речевых оповещателей (РО), применяемых в СОУЭ;
- методика расчёта коэффициента обобщенной топологической эффективности РО, учитывающая количество людей в защищаемых помещениях, позволяющая оценить качество озвучивания этих помещений;
- методологические подходы, необходимые для разработки и обоснования алгоритмов работы СОУЭ, обеспечивающих сокращение времени эвакуации;

- методика оценки технической эффективности СОУЭ, опирающаяся на общесистемный подход, учитывающая надежность и качество функционирования системы на каждом этапе жизненного цикла;

Теоретическая значимость работы заключается:

- в получении математической зависимости качества озвучивания помещений от численности и состава защищаемого контингента для широкого спектра РО;
- в разработке математической модели расчёта параметров поэтапной эвакуации, обосновании алгоритма работы СОУЭ;
- в построении математической модели для определения технической эффективности, обобщающей надёжность технических средств СОУЭ и показателей, оказывающих влияние на снижение качества функционирования системы, позволяющая более точно оценить работоспособность системы на всех этапах жизненного цикла.

Практическая значимость работы заключается в предоставлении инженерам-проектировщикам, расчётчикам ИПР, проектно-монтажным организациям методик расчёта основных функциональных параметров речевых СОУЭ, позволяющих:

- оценить качество озвучивания защищаемых помещений с целью снижения времени реакции людей на речевое сообщение о пожаре и необходимости эвакуироваться;
- разработать и обосновать применяемый алгоритм функционирования СОУЭ с целью минимизации скоплений людей при эвакуации;
- рассчитать надёжность и техническую эффективность СОУЭ для более точной оценки величины ИПР. Предложенные модели и методики содержат практически подтверждённые формулы для вычисления функциональных параметров СОУЭ и могут быть использованы при оценке величины ИПР, в научных и учебных целях.

Область исследования. Работа выполнена в соответствии с пп. 14, 16 в части, касающейся разработки СПЗ, а также в части п. 17 паспорта специальности 2.10.1. «Пожарная безопасность» (технические науки).

Методология и методы исследования. При решении поставленных задач использовался комплексный подход, включающий экспериментальные и теоретические методы исследований; проведение лабораторных измерений параметров РО; акустические измерения на исследуемом объекте защиты. Методики электроакустических расчётов (ЭАР) построены на основе геометрически-лучевой теории и методов архитектурной акустики. Методика расчёта разборчивости построена с использованием статистической теории акустики и формантного метода. Для обоснования работоспособности СОУЭ предложено использовать теорию алгоритмов и теорию графов. Для расчёта надёжности СОУЭ применена теория марковских процессов. Построение коэффициента технической эффективности выполнено с использованием общесистемного, функционального подхода и принципа модульной декомпозиции. Для определения общей структурной надёжности СПЗ использован логико-вероятностный подход. Адекватность полученных результатов подтверждена методом ранговой корреляции.

Положения, выносимые на защиту:

1. Методика расчёта коэффициента эффективности топологии речевых оповещателей, позволяющая повысить достоверность оповещения и снизить задержки эвакуации людей при пожаре.
2. Методические подходы к построению и обоснованию алгоритма работы речевой СОУЭ, позволяющие минимизировать скопления и сократить время эвакуации людей при пожаре.
3. Методика оценки технической эффективности СОУЭ, обобщающая основные надёжностные и функциональные параметры с целью повышения точности расчёта и прогнозирования величины индивидуального пожарного риска в общественных зданиях и сооружениях.

Степень достоверности результатов исследования подтверждена комплексом теоретических расчетов и эмпирических исследований: акустическими измерениями в безэховой камере; электроакустическими измерениями на исследуемом объекте защиты; статистическими испытаниями для

оценки надёжности технических средств СОУЭ; измерениями времени эвакуации людей при несанкционированном оповещении о пожаре; практическим участием в проверке работоспособности речевой СОУЭ на исследуемом объекте защиты. Степень достоверности полученных результатов и выводов подтверждена расчётами. Погрешность расчёта топологической эффективности не превышает 1,5 %. Точность теоретической оценки поэлементной надёжности блоков управления оповещением подтверждена эксплуатационными данными. Важность этапов жизненного цикла СОУЭ получена методом статистического опроса со степенью согласованности мнений специалистов по каждому этапу не ниже 91 %. Корректность оценки технической эффективности подтверждается официальными статистическими данными ВНИИПО.

Апробация результатов исследования. Результаты исследования представлялись и обсуждались на VII Всероссийской научно-практической конференции с международным участием «Современные технологии обеспечения гражданской обороны и ликвидации последствий чрезвычайных ситуаций» (Воронеж, Воронежский институт ГПС МЧС России, 2016 г.); IX Всероссийской научно-практической конференции курсантов, слушателей, студентов и молодых ученых с международным участием «Пожарная безопасность: проблемы и перспективы» (Воронеж, Воронежский институт ГПС МЧС России, 2018 г.); XIII, XVIII Международной научно-практической конференции «Пожарная и аварийная безопасность» (Иваново, Ивановская пожарно-спасательная академия ГПС МЧС России, 2019 г., 2023 г.); III, VI Международной научно-практической конференции «Современные пожаробезопасные материалы и технологии» (Иваново, Ивановская пожарно-спасательная академия ГПС МЧС России, 2019 г., 2023 г.); XVIII, XIX Международной научно-практической конференции «Гражданская оборона и природно-технические системы» (Воронеж, Воронежский государственный технический университет, 2022 г., 2023 г.); XI Всероссийской научно-практической конференции «Актуальные вопросы совершенствования инженерных систем обеспечения пожарной безопасности объектов» (Иваново, Ивановская пожарно-спасательная академия ГПС МЧС

России, 2023 г.); По теме диссертации написано три учебных пособия, получены свидетельства о государственной регистрации программ для ЭВМ № 2002612097, № 2024611103, № 2024612813.

Публикации. Основные теоретические и практические результаты диссертации опубликованы в 30 статьях по теме научно-квалификационной работы (диссертации), среди которых 8 статей в рецензируемых изданиях, рекомендованных ВАК, одной монографии.

Структура и объём работы. Работа изложена на 165 страницах машинописного текста и включает введение, пять глав, выводы и 12 приложений. Работа содержит 57 рисунков и 32 таблицы. Список цитируемой литературы состоит из 150 наименований.

ГЛАВА 1. ОСНОВНЫЕ ЗАДАЧИ, РЕШАЕМЫЕ РЕЧЕВЫМИ СИСТЕМАМИ ОПОВЕЩЕНИЯ И УПРАВЛЕНИЯ ЭВАКУАЦИЕЙ ЛЮДЕЙ ПРИ ПОЖАРЕ

1.1. Аналитический обзор основных задач, решаемых системами оповещения и управления эвакуацией людей при пожаре

Обеспечение пожарной безопасности зданий и сооружений, находящихся в них людей и имущества от угроз техногенного, природного и антропогенного характера является первоочередной задачей, на решение которой направлены все нормативные законодательства в области обеспечения пожарной безопасности [1–9]. Обеспечение пожарной безопасности (ПБ) зданий и сооружений и находящихся в них людей осуществляется разработкой и применением комплекса организационно-технических мероприятий, применением систем противопожарной защиты (СПЗ), в том числе систем оповещения и управления эвакуацией людей при пожаре (СОУЭ).

Масштабный подход к обеспечению пожарной безопасности в России начался в XIX веке. В начале XX века советским правительством борьба с огнем была поставлена на уровень «важнейших и первоочередных задач государства». Уже в те годы особое внимание было обращено на предупредительные мероприятия, необходимость развития науки в области предотвращения и профилактики пожаров. В послевоенные годы на базе ВНИПО МВД СССР были получены первые статистические данные, предложены основные подходы к обеспечению противопожарной защиты зданий и сооружений, сформированы организационно-технические мероприятия, разработаны базовые положения в области проектирования систем пожарной автоматики. В начале восьмидесятых годов разрабатывается базовый стандарт в области пожарной безопасности (ПБ) ГОСТ 12.1.033-81, а за ним ГОСТ 12.1.004-91 «Пожарная безопасность» [10], действующий и актуальный по настоящее время. Основные положения данных

разработок, обобщающие отечественный и зарубежный опыт, легли в основу создания нормативных требований к СОУЭ – НПБ 77-98, НПБ 104-03. Последний норматив практически без изменений составил ныне действующий свод правил по проектированию СОУЭ СП 3.13130-2009 [6].

Несмотря на прилагаемые усилия, уровень ПБ зданий, сооружений и находящихся в них людей достаточно высок. Согласно статистическим данным, полученным в рамках единой государственной системы статистического учета пожаров и их последствий [14–22], в период с 2013 по 2018 г. в городах и сельской местности наметившаяся тенденция к снижению числа пожаров сменилась их резким увеличением (рисунок 1.1).

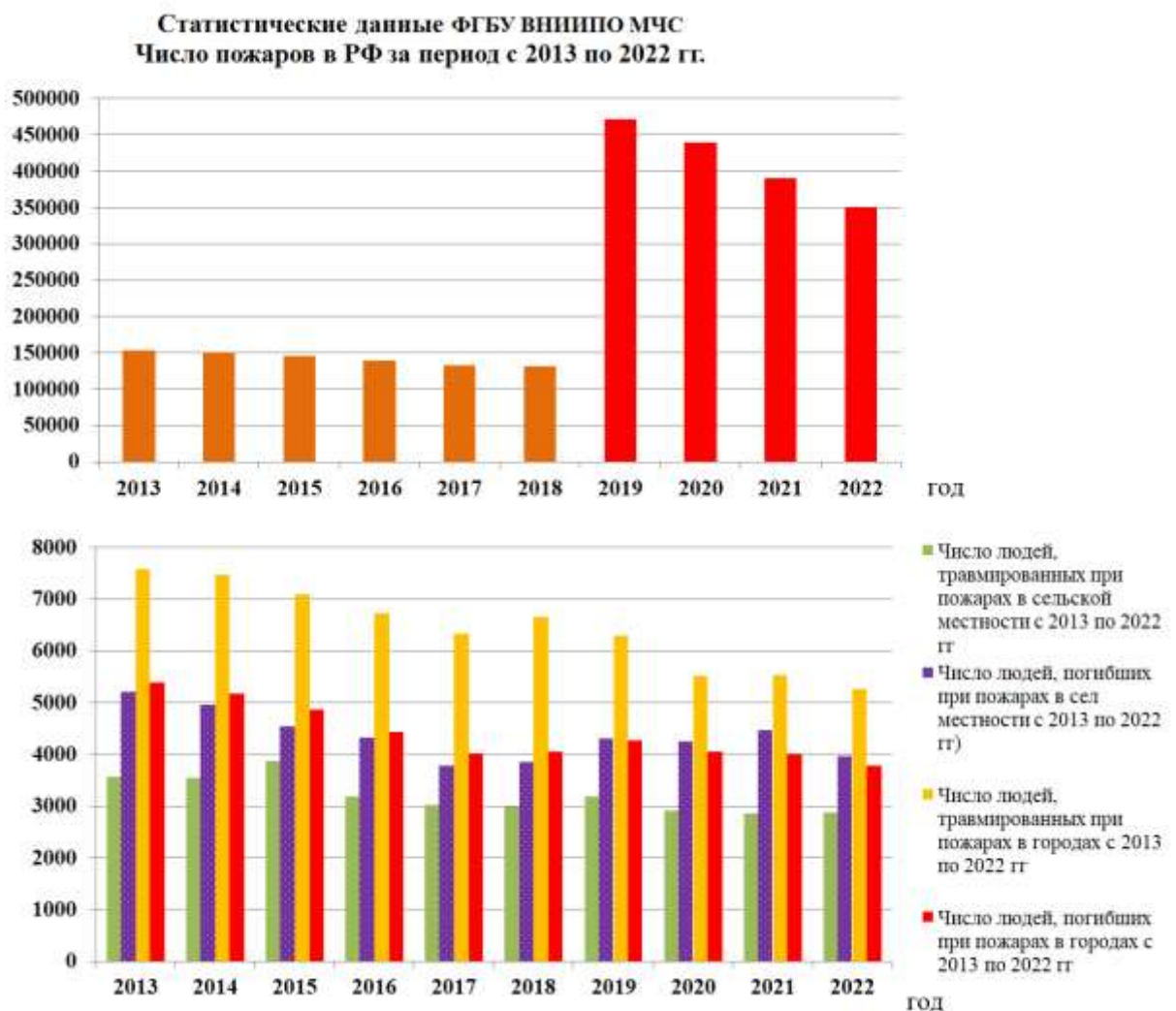


Рисунок 1.1 – Число пожаров в РФ, зафиксированных в период с 2013 по 2022 г.

При неравномерной статистике по пожарам число погибших и травмированных людей остается на «стабильно» высоком уровне [26]. При отнесении числа всех травмированных и погибших при пожарах людей в период с 2013 по 2022 г. к численности населения в РФ на 2020 год – 146 млн чел., можно видеть, что величина риска превышает допустимую величину в 126 раз. Статистика по пожарной безопасности зданий и сооружений также неутешительна. Количество пожаров в зданиях и сооружениях, оборудованных системами пожаротушения и системами противопожарной защиты (СПЗ), в период с 2013 по 2021 г. возросло с 2206 до 3019, количество пострадавших также увеличилось (рисунок 1.2).



Рисунок 1.2 – Статистические данные по количеству пострадавших в зданиях и сооружениях в период с 2013 по 2021 г.

Величина индивидуального пожарного риска в 2021 г. превысила нормативное значение в 2,28 раза. Одной из причин такого положения дел является недостаточная работоспособность СПЗ, в том числе СОУЭ (рисунок 1.3).

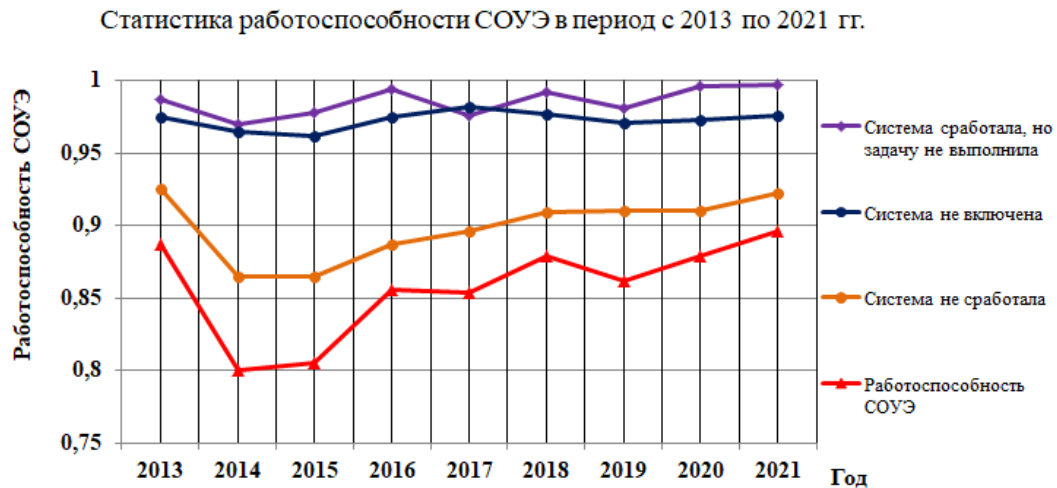


Рисунок 1.3 – Статистика работоспособности СОУЭ в период с 2013 по 2021 г.

Из графика видно, что причин снижения работоспособности СОУЭ несколько: система не сработала; система сработала, но своей задачи не выполнила; система не была включена. Причина диссонанса между работоспособным и неработоспособным состоянием, характерным именно для СОУЭ, – в низкой надежности; в несоответствии типа СОУЭ типу объекта защиты; невыполнении нормативных требований, в том числе требований к достоверности передаваемой информации, обеспечиваемой разборчивостью речевых сообщений; грамотностью разрабатываемых текстов; алгоритмов управления эвакуацией людей при пожаре. На изучение способов учета и повышения эффективности речевых СОУЭ, обеспечиваемых комплексом организационно-технических и расчетных мероприятий, как раз и направлено настоящее исследование.

Системы речевого оповещения широко применяются в различных сферах человеческой деятельности: в области пожарной безопасности – СОУЭ; в сфере ГОЧС – объектовые, локальные, централизованные системы оповещения, системы комплексного экстренного оповещения населения [27–31]; в транспортной безопасности – системы информирования и громкоговорящей связи [32]; на объектах культуры и спорта – системы звукового обеспечения [33].

Основная функция данных систем – информирование людей, передача служебных и экстренных сообщений. В каждой из обозначенных областей действуют свои нормативные требования, однако ввиду идентичности специфики наиболее важные результаты могут быть скооперированы. Так, например, в области оповещения о ЧС и транспортной безопасности присутствуют численные требования к словесной и слоговой разборчивости [29], отсутствующие в пожарных нормативах; активно применяется такой параметр, как **коэффициент топологической эффективности** оконечных технических средств или громкоговорителей [34]. Неслучайно в готовящемся стандарте (новой редакции ГОСТ Р 53325-2012) по приборам контроля и управления намечена тенденция к объединению в одном техническом решении СОУЭ и объектовых систем оповещения, транслирующих речевую информацию. Именно речевая информация, по мнению многих исследователей [35–41], является наиболее эффективной. Если для восприятия световой информации необходима зона прямой видимости, то звуковая и речевая информация в силу низкочастотности (следовательно, дифракции, переотражений) легко преодолевает препятствия на пути своего распространения. Звуковой сигнал имеет преимущества в ситуациях, когда дым, темнота или другие факторы создают помехи восприятию визуального предупреждения. Именно звуковая информация наиболее эффективно обрабатывается (вербализуется) сознанием человека, оказывая существенное влияние на его реакцию и принимаемые им решения. Качество передаваемой **речевой информации** определяется качеством всего звукового тракта системы. Передача на большие расстояния в проводных решениях обеспечивается устойчивостью линий оповещения. Для гарантированного выполнения СОУЭ своей основной задачи – передачи достоверной информации в места постоянного и временного пребывания людей – выполняется ее проектирование. Согласно требованиям стандарта [9] работоспособность СОУЭ обеспечивается грамотным проектированием, качественным монтажом и своевременным обслуживанием.

Основной задачей СОУЭ является безопасная эвакуация людей при обнаружении пожара. Согласно требованиям стандарта [10] безопасная эвакуация обеспечиваются выполнением двух основных критериев – своевременностью и беспрепятственностью. **Своевременность** обеспечивается снижением инерционности обнаружения ОПФ, слаженным взаимодействием систем пожарной автоматики и СОУЭ. **Беспрепятственность** обеспечивается комплексом организационно-технических мероприятий, в том числе применением СОУЭ, обеспечивающей не только оповещение, но и управление эвакуацией людей при пожаре. Для реализации первого критерия от СОУЭ требуется своевременная передача достоверной информации – грамотных текстов о необходимости эвакуироваться и путях эвакуации. Реализация второго критерия обеспечивается эффективным управлением процесса эвакуации, предполагающая разработку грамотных алгоритмов. Данные задачи и способы их реализации полностью согласуются с нормативными требованиями по ПБ [3]. На решение задач своевременности эвакуации направлены основные требования статьи 84 Технического регламента по ПБ. На обеспечение беспрепятственной эвакуации направленно требование стандарта ГОСТ Р 59639-2021 [9], в котором указана необходимость разработки и обоснования алгоритма работы СОУЭ. Понятие алгоритма функционирования подробно раскрыто в СНиП 2.08.02-89 по проектированию СОУЭ в общественных зданиях [44]. В данном пособии, разработанном более 30 лет назад, но не потерявшем своей актуальности, рассмотрен многоэтапный алгоритм функционирования, позволяющий реализовать множество вариантов эвакуации – сценариев движения людей к эвакуационным выходам, зависящий от места возникновения пожара, схемы распространения опасных факторов пожара, объемно-планировочных и конструктивных решений здания.

Электроакустические расчеты (ЭАР), осуществляемые на начальном этапе проектирования речевой СОУЭ, учитывают специфику и сложность защищаемого объекта. Основные требования к ЭАР изложены в своде правил [6]. Согласно 84 статье Технического регламента в каждой точке защищаемого

помещения должна быть обеспечена разборчивость речевого сообщения. В процессе ЭАР выбирается тип и параметры речевых оповещателей (РО), осуществляется их расстановка, проверка граничных условий. Подтверждение результатов ЭАР выполняется при комплексной проверке работоспособности, осуществляемой после завершения монтажа и сдачи объекта защиты в эксплуатацию. В силу отсутствия методик ЭАР можно выполнить, опираясь на методы, изложенные в СНиП 23-03-2003 «Защита от шума» [42]. В данном документе содержится методика акустического расчета, требующая лишь некоторой адаптации, включающая: расчет уровней звукового давления в расчетных точках (РТ) – в наиболее удаленных местах, вблизи источников шума, в изолированных помещениях, на открытых площадках. К сожалению, большинство проектировщиков данным документом не пользуются, что объясняется рядом причин, например, некоторой сложностью, необходимостью расчета звукового давления для различных октавных уровней, исследования параметров акустической среды, выявления шумовых источников, исследования их характеристик, что требует высокой квалификации. При проектировании инженеры-проектировщики пользуются калькуляторами, предлагаемыми различными компаниями. Важно заметить, что любой предлагаемый калькулятор должен опираться на конкретную, адаптированную и проверенную методику. Без указания метода полученный результат сомнителен и не может служить обоснованием принятого решения. С выбираемыми методиками тоже не все однозначно. Даже в таких солидных изданиях, как JBL Sound system design (проектирование звуковых систем JBL) [43], есть ошибки, например: в качестве базовой формулы для пересчета т.н. «ватт в децибелы» приводятся формула: $\text{dB level} = 20 \lg (P_1/P_0)$, что может сбить с толку даже опытного проектировщика. Есть еще несколько причин, затрудняющих использование вышеприведенной методики. Алгоритм их устранения предложен во второй главе настоящего исследования. Во второй главе исследуются основные функциональные характеристики РО, являющихся входными для выполнения ЭАР, предложена элементарная методика ЭАР и расчета разборчивости, методика оценки

коэффициента эффективности топологии РО, являющейся расширением стандарта из ГОСТ Р 55199-2012 «Гражданская оборона. Оценка эффективности топологии оконечных устройств оповещения населения» [34].

Роль СОУЭ при расчете рисков. В настоящее время для расчета пожарного риска используется несколько методик. Для определения расчетных величин пожарного риска на производственных объектах и объектах специального назначения используется методика № 404 [12]. Для определения расчетных величин пожарного риска в зданиях и сооружениях различного класса функциональной опасности используется нормативная методика расчета ИПР для общественных зданий [13], согласно которой расчетная величина пожарного риска определяется величиной индивидуального пожарного риска (ИПР) для людей, находящихся в здании. Целью оценки риска является получение численного значения ИПР и сопоставление полученной величины с нормативным значением. Если пожарный риск превышает нормативное значение (не обеспечивается), то разрабатываются дополнительные компенсирующие мероприятия, применяется СОУЭ повышенного типа. Эффективность компенсирующих мероприятий подтверждается повторным расчетом ИПР. С появлением новой методики требование к необходимости разработки и обоснованию «алгоритма работы СОУЭ» приобрело физический смысл. В формулу для расчета задержки времени эвакуации введена задержка оповещения людей, требующая расчета и обоснования. В пособии [44] используется термин «алгоритм функционирования СОУЭ», предполагающий поэтапную эвакуацию людей в многоэтажном здании, опирающуюся на следующее положение. Для минимизации вероятности столкновения людей, препятствия движению эвакуирующихся с этажа пожара реализуется поэтапная эвакуация, в которой первоначально оповещается этаж пожара, затем последовательно верхние этажи, затем нижние этажи. Основным смыслом в данной последовательности – обеспечение беспрепятственности движения людей из места обнаружения ОФП (с этажа пожара). Важно понимать, что искусственно вводимая задержка оповещения должна быть применена лишь в случае

необходимости, обоснована и подтверждена расчетами. Физическая реализация алгоритма должна сопоставляться с возможностями выбираемых технических средств (ТС). Заметим, что альтернативой реализации множества сценариев или алгоритма оповещения является т.н. «циркулярное» или одновременное оповещение. Тогда критерий применения или неприменения алгоритма формулируется достаточно просто: время эвакуации людей из зоны обнаружения пожара при применении алгоритма должно быть меньше времени эвакуации из этой же зоны при циркулярном оповещении. Как заказчик (собственник объекта), так и потребитель (защищаемый контингент) нуждаются в максимально точной оценке величины ИПР, для чего необходимы грамотные поверенные методики. Общая точность расчета ИПР определяется точностью и корректностью определения каждого из параметров, входящих в расчетную формулу. Приведем пример. В новой методике не учитывается задержка эвакуации, обусловленная субъективными причинами, завышающая результирующую вероятность эвакуации, при том, что ошибка при расчете вероятности эвакуации на одну тысячную искажает результат оценки ИПР в два раза.

На сегодняшний день все большую актуальность приобретают программы моделирования и автоматизированные средства расчетов. Моделирование динамики распространения пожара и поведения людей является одним из разделов научного исследования под общим названием «вычислительная гидродинамика» (Computational fluid dynamics CFD) [45–50]. Эффективным инструментом, использующим методы численного расчета и моделирования динамики пожара, поведения человека в виртуальном здании, является FDS (Fire Dynamics Simulator) модуль (симулятор). В отечественной практике применяются несколько программных комплексов индивидуально-поточного движения: «Эватек», «Fenix+», «Сигма ПБ», «Pathfinder». Авторы, поддерживающие данные продукты [49], единодушны в необходимости применения программных методов расчета, интеллектуализации СОУЭ V типа вплоть до применения технологий машинного обучения [50]. Однако следует заметить, что в большинстве публикаций не приводятся описания расчетных

методов, используемых в программных комплексах. В современном нормативно-правовом подходе вся полнота ответственности возлагается на собственника объекта защиты [6], в свою очередь собственник полагается на профессионализм инженера-проектировщика, для которого по-прежнему актуальны элементарные, интуитивно понятные методики, построить которые не представляется возможным без твердых нормативных оснований. Нельзя не заметить, что в новой методике расчета величины ИПР [13] взамен задержки начала эвакуации, обусловленной различными вероятностными факторами, предложен детерминированный коэффициент – время предварительных действий (30 с или 60 с, общее время задержки начала эвакуации лимитируется тремя минутами, в то время как в реалиях оно может быть гораздо большим и достигать порядка 9 и даже 20 мин) [37–40]. В этой связи уместно привести мнение профессора В.В. Холщевникова, что «только грамотно обоснованное моделирование процессов эвакуации способно отсеять решения, в которых искусство программирования подменяет психофизические закономерности реального явления» [39]. Вопросы разработки и обоснования алгоритма работы СОУЭ, возможности численной оценки задержки оповещения будут подробно рассмотрены в третьей главе настоящего исследования.

Согласно требованиям статьи 51 Технического регламента на объекте защиты применяются СПЗ, целью создания которых является защита людей и имущества от воздействия ОФП. Для выполнения своих задач СПЗ должны обладать надежностью и устойчивостью к воздействию ОФП. Укажем на некоторые сложности. В методике расчета ИПР параметры надежности систем пожаротушения и систем противопожарной защиты (СПЗ) определены весьма приблизительно. Формула для расчета коэффициента соответствия СПЗ, в состав которой входит СОУЭ, учитывает лишь одну структурную схему построения. Каждый из необусловленных коэффициентов [56] имеет строго определенные детерминированные значения: 80 % – при соответствии СОУЭ требованиям НД и 0 % – при несоответствии. При этом не указывается, в чем именно состоит критерий соответствия и несоответствия. Понятие «надежность» как способность

системы сохранять свои характеристики является внутренним свойством системы. При этом надежная, но неправильно запроектированная система своей задачи не выполнит, что подтверждают статистические данные от ВНИИПО. Работоспособность, являясь надежностной характеристикой, не учитывает снижение качества функционирования, поэтому стандарт [9] указывает на необходимость обеспечения не только работоспособности или надежности, но и эффективности. Надежность технических средств, дополненная коэффициентом, определяющим степень (качество) выполнения системой своей основной функции (задачи), характеризуется параметром «техническая эффективность». Согласно [57] техническая эффективность систем пожарной автоматики определяется как совокупность технических показателей, определяемых в виде произведения вероятности работоспособного состояния, вероятности соответствия условиям применения на коэффициент, определяющий качество функционирования. В работе [58] техническая эффективность систем пожарной автоматики определяется как произведение вероятности обнаружения ОФП, вероятности тушения пожара, вероятности включения аппаратов обнаружения и тушения на коэффициент, учитывающий степень согласованности линий связи. Таким образом, степень снижения качества функционирования может быть представлено коэффициентом технической эффективности, как раз и определяющим фактическую способность выполнения системой своей основной задачи. В любом случае, базовой составляющей для оценки коэффициента технической эффективности системы является надежность. Для расчета надежности СОУЭ можно воспользоваться методом модульной декомпозиции, изложенным в документе РНД 70-16-90 [59]. Данная методика актуальна по сей день и в совокупности с новыми стандартами по надежности ТС [60–62] может использоваться для расчетов. При этом имеется объективная сложность, заключающаяся в отсутствии конкретного численного требования к надежности ТС СОУЭ (приборов контроля и управления). Недостаток научных работ в области оповещения [63] может быть компенсирован результатами по исследованию и оценке надежности систем пожарной автоматики (СПА) [64–72],

а численные значения надежности (например, средней наработки на отказ) могут быть заимствованы из требований к ТС оповещения о ЧС [73, 74]. Вопросы оценки надежности СОУЭ, технической эффективности, а также структурной надежности СПЗ будут рассмотрены в четвертой главе настоящего исследования.

Краткий обзор основных нормативных требований ПБ к СОУЭ. Основными составляющим безопасности людей, находящихся внутри зданий и сооружений, являются **своевременность** обнаружения пожара и **беспрепятственность** эвакуации, обеспечиваемые: выполнением требований к эвакуационным путям и аварийным выходам [76], содержанием их в надлежащем состоянии и незагромождении, работоспособностью инженерных систем, СПЗ и систем пожарной автоматики, обеспечением их электромагнитной совместимости, слаженными инженерно-техническими, эргономическими, организационно-техническими мероприятиями и их взаимодействием. На обеспечение безопасности людей должны быть направлены все усилия, в том числе межведомственная кооперация нормативных оснований.

Примечание: инженерно-технические мероприятия – мероприятия, в процессе которых обеспечивается и поддерживается надлежащее функционирование технических средств. Эргономические мероприятия – мероприятия по обеспечению людей индивидуальными средствами защиты, первичными средствами тушения пожара и т.д. Организационные – мероприятия, обеспечивающие слаженное взаимодействие лиц, ответственных за ПБ и технических средств. Приведем пример организационных мероприятий. Согласно требованиям правил противопожарного режима (ППРФ) [5], при обнаружении пожара ответственный за ПБ должен немедленно сообщить об этом по телефону и принять посильное участие в эвакуации людей (и имущества).

Защита здания и находящихся в нем людей от воздействия ОФП и их последствий обеспечивается тремя основными составляющими – недопущением (возникновения), ограничением (распространения), предотвращением (угрозы). Первая составляющая самая эффективная, так как главное – не допустить возникновения пожара. Если он все-таки возник, необходимо ограничить его

распространение, предотвратить угрозу и обеспечить условия эвакуации людей, а затем приступить к тушению пожара. За реализацию первых двух задач отвечают системы пассивной противопожарной защиты, за третью – системы активной противопожарной защиты (СПЗ) на повышение эффективности которых направлены **организационно-технические** мероприятия и решения. Основные элементы **системы противопожарной защиты** зданий и сооружений представлены на рисунке 1.4.



Рисунок 1.4 – Основные элементы комплексной системы противопожарной защиты зданий

Примером консолидации решений для достижения общей цели является ГОСТ 53195 [77]. В данном стандарте сделан упор на интеграцию и скоординированное взаимодействие инженерных систем и систем комплексной безопасности (КСБ) с целью снижения риска, рассматриваемого с учетом угроз различного характера [78]. Современные здания – сложные сооружения, включающие систему конструкций, инженерные системы жизнеобеспечения;

системы энерго-, ресурсосбережения; системы комплексной безопасности (КСБ). Данные системы, взаимодействуя как друг с другом, так и со внутренней и внешней средой, определяют требования к конструкциям зданий и характеристикам технических средств, установленных в них. Повышение уровня безопасности зданий осуществляется за счет предварительной оценки и снижения различного рода рисков. Для снижения риска причинения вреда материальным ценностям, а главное людям, используются все доступные средства – электронные средства, внешние средства уменьшения риска (ВСУР). В состав КСБ входят: аварийные системы; системы контроля; охранные системы. К аварийным системам относятся: системы аварийного освещения; системы автоматизации противопожарного водоснабжения; системы автоматического водяного пожаротушения; системы дымоудаления; системы пожарной сигнализации; СОУЭ; системы связи. Подчеркнем, что к зданиям с высоким нормативным показателем (высоким типом СОУЭ) необходимо предъявить повышенные требования к безопасности функционирования технических средств, обеспечиваемой интеграцией подсистем на различных уровнях взаимодействия, надежностью и устойчивостью, обеспечением электрической (аппаратной) и электромагнитной совместимости.

Способы обеспечения безопасности зданий в существенной мере определяются «защищаемым контингентом», который можно разделить на две основные группы: **персонал** – группы людей, проинструктированные на предмет действий в случае возникновения внештатных ситуаций, знакомые с путями эвакуации, и **посетители** – группы людей, незнакомые с путями эвакуации. Посетители – это сложнозащищаемая категория, широко различающаяся по возрастным и физическим возможностям. Защищаемый контингент делится на: контингент без ограничений мобильности (группа М0) и группы с ограничением мобильности, в том числе пожилые, дети дошкольного возраста, беременные женщины (группа М1); немощные и слабовидящие (группа М2), трудоспособные люди с поражением опорно-двигательного аппарата (группа М3); инвалиды, передвигающиеся на креслах (группа М4) и т.д. Посетитель в экстренной

ситуации должен уметь сориентироваться, так как лифты при включении СПЗ автоматически отключаются. Оказавшись в тупиковой зоне, в месте, блокированном пожаром, человек может растеряться и запаниковать. В этом случае наиболее эффективны организационные мероприятия, а при их недостаточности – технические средства экстренной обратной связи, применяемой в СОУЭ 4 типа. Эвакуация посетителей должна сопровождаться трансляцией речевых сообщений, содержащих четкие и понятные инструкции; включением световых указателей направления движения к эвакуационным выходам, являющихся обязательными атрибутами СОУЭ второго – пятого типа.

При обследовании объекта защиты анализируются наиболее неблагоприятные случаи возникновения пожара в здании, определяются пути распространения ОФП, в зависимости от которых составляются маршруты движения людских потоков. Эвакуация как процесс движения должна быть организованной. Нормативные требования считаются выполненными при времени эвакуации $t_{эвij} < 0,8t_{бли}$, где $t_{бли}$ – время достижения ОФП предельных значений. При наличии в здании мест, зон, участков, в которых возникновение пожара не может быть замечено всеми, основная задача возлагается на системы обнаружения СПС. СОУЭ в этом случае используется для дополнительного информирования. При $t_{эвij} > 0,8t_{бли}$ безопасная эвакуация не обеспечивается, в этом случае необходима разработка дополнительных противопожарных мероприятий, применение СПЗ, СОУЭ повышенного типа.

Основные этапы жизненного цикла СОУЭ. Жизненный цикл любой системы охватывает все фазы (стадии) ее существования, включая: концепцию и определение; проектирование и разработку; изготовление; монтаж; эксплуатацию и техническое обслуживание; распоряжение; вывод из эксплуатации [61]. Особую важность в последнее время приобрел постпроизводственный цикл существования [9] (рисунок 1.5).



Рисунок 1.5 – Основные этапы жизненного цикла СОУЭ

Согласно требованиям стандарта [86] жизненный цикл СПЗ включает: этап проектирования; строительно-монтажные работы; пусконаладочные работы; опытную эксплуатацию; ввод в эксплуатацию; авторский надзор; техническое обслуживание (ТО); текущий ремонт; вывод из эксплуатации, демонтаж и утилизацию. Этап проектирования, включающий инженерные изыскания, исследование объекта защиты и сбор исходных данных, учитывает концепцию всей системы безопасности, включая инженерные изыскания [79], обследование объекта защиты, идентификацию класса пожарной и функциональной опасности. Именно на этом этапе закладывается надежность объекта защиты и стоимость существования системы – затраты на обслуживание и содержание. Описание объекта защиты, указание цели и назначения проектируемой системы обязательно учитывается в **задании на проектирование (ТЗ)**, являющемся основой для разработки проектной документации (ПД). В ПД отражаются основные характеристики объекта защиты и применяемых систем; учитываются и отражаются аспекты применения системы на всех постпроизводственных этапах,

включая монтаж и эксплуатацию. После получения положительного заключения в экспертизе разрабатывается рабочая документация (РД) – совокупность текстовых и графических документов, обеспечивающих реализацию принятых в ПД инженерно-технических и иных решений проектируемой системы. Работы по монтажу СОУЭ выполняются в соответствии с РД или ПД, технической документацией (ТД) на применяемое оборудование и материалы. Пусконаладочные работы и ввод в эксплуатацию сопровождаются приемо-сдаточными испытаниями. Техническое обслуживание (ТО) и текущий ремонт должны проводиться в течение всего периода эксплуатации систем вплоть до вывода из эксплуатации, демонтажа и утилизации системы.

Требования к техническим средствам СОУЭ. С 2017 г. в РФ действует Технический регламент ТР ЕАЭС 043/2017 [4], согласно которому СОУЭ как совокупность технических средств должна обеспечивать информирование людей о пожаре в течение времени, необходимого для эвакуации людей, а также выдачу дополнительной информации о путях и способах эвакуации. Информирование людей о пожаре необходимо осуществлять одним из способов, изложенных в Техническом регламенте по ПБ [3], подачей световых, звуковых, речевых, индивидуальных сигналов оповещения, в том числе с использованием систем обратной связи – диспетчерской связи пожарного поста с зонами оповещения людей о пожаре. Основные требования и классификация технических средств СОУЭ представлены на рисунке 1.6.



Рисунок 1.6 – Основные требования и классификация технических средств СОУЭ

Нормативные требования ПБ к ТС СОУЭ и способы их реализации представлены в таблице 1.1

Таблица 1.1 – Требования к техническим средствам СОУЭ

Общие требования к ТС СОУЭ		
Требования	Способ реализации	НД
1. К способам оповещения	- световой, звуковой, речевой, комбинированный	ГОСТ Р 53325-2012
2. К подключению	- звуковые и речевые оповещатели не должны иметь разъемных устройств, возможности регулировки уровня громкости	ТР ФЗ№123 (Ст.84, п.10)
3. К соединениям	- контактные соединения должны быть выполнены без скруток, методом пайки, сварки, опрессовки	ГОСТ Р 59639-2021
4. К устойчивости	- ТС СОУЭ должны обладать устойчивостью к воздействию ОФП, повышенной температуре, вибрациям, перепадам напряжения	ГОСТ Р 53325-2012
5. К надежности технических средств	- ТС СОУЭ должны обладать надежностью и устойчивостью. Надежность приборов задается в виде срока службы (10 лет), времени восстановления (6 ч). Для РО задается средняя наработка на отказ - 46000 ч	ГОСТ Р 53325-2012
6. К работоспособности	- обеспечивается на постпроизводственных этапах жизненного цикла СОУЭ	ГОСТ Р 59639-2021
7. К питанию	- ТС СОУЭ питаются по I категории. Для возможности резервирования ТС СОУЭ должны иметь два отдельных ввода питания	СП 6.13130. 2021
8. К конструкции	- однокомпонентный; модульный, блочный, стоечный. Органы управления должны быть защищены от несанкционированного доступа	ГОСТ Р 53325-2012
9. К линиям связи (ЛС)	- ЛС должны выполняться огнестойкими кабелями, соответствовать требованиям	ГОСТ 31565-2012

Продолжение таблицы 1.1

Требования к информации транслируемой СОУЭ		
Требования	Способ реализации	НД
10. К способу хранения информации	- аварийные события, происходящие в системе, должны протоколироваться; информация должна храниться в энергонезависимой памяти прибора; не должна храниться на магнитных носителях	ГОСТ Р 53325-2012
11. К индикации	- для однозначной идентификации события используются три основных цвета – зеленый (дежурный режим), красный (обнаружение пожара); желтый (неисправность). Неисправности делятся на 4 вида: общая; питание, линии связи; системная ошибка	ГОСТ Р 53325-2012
12. К световой информации	1. Частота мигания: в диапазоне от 0,5 до 2,0 Гц; 2. Размеры и сигнальные цвета световых оповещателей должны иметь светимость от 1 до 500 лк	ГОСТ Р 53325-2012 ГОСТ 12.4.026-2015
13. К звуковой информации	- громкость: не ниже 85 дБ; частотный диапазон: 0,2–5 кГц	ГОСТ Р 53325-2012
14. К речевой информации	1. Громкость: не ниже 70 дБ; частотный диапазон: 0,5–3,5 кГц; 2. Речевая информация должна соответствовать планам эвакуации, размещенным на каждом этаже здания	ГОСТ Р 53325-2012 ТР ФЗ №123 (Ст.84, п.2)
15. К размещению РО	- настенные РО должны размещаться в местах постоянного и временного пребывания людей, на высоте не ниже 2,3 м, с отступом 0,15 м от потолка	СП 3.13130-2009
16. К автоматическому контролю	- общая неисправность приборов, линий связи и питания должна быть обнаружена не позднее чем за 100 с	ГОСТ Р 53325-2012

Окончание таблицы 1.1

Требования к функционированию СОУЭ		
17. К органам управления	1. Наличие функции тестирования; 2. Четыре уровня доступа: дежурный; управления; настройки; сервисного обслуживания (рекомендательный характер)	ГОСТ Р 59639-2021
18. К управлению	1. Способы управления: автоматический; полуавтоматический; ручной; 2. Ручной и полуавтоматический способ осуществляются с уровня доступа 2	СП 3.13130-2009 ГОСТ Р 59639-2021
19. К алгоритмам работы СОУЭ	1. В СОУЭ 4, 5 типа реализуется несколько сценариев оповещения и вариантов эвакуации; 2. Алгоритм работы СОУЭ и его обоснование отражается в РД; 3. Допускается возможность корректировки сценария оповещения	СП 3.13130-2009 ГОСТ Р 59639-2021 --/--

Примечание: в приложении 1 настоящего исследования приведен анализ основных зарубежных требований к системам оповещения.

В отечественной научной литературе тематика, связанная с исследованием основных характеристик и функциональных параметров СОУЭ, степени их влияния на эффективность эвакуации людей при пожаре, разработана фрагментарно [80–88]. Исключение составляет работа, выполненная и защищенная в 2019 г.: «Разработка методологических основ акустического проектирования системы речевого оповещения при пожаре в зданиях с массовым пребыванием людей» [89]. В работы проведен тщательный анализ существующих нормативных требований к речевым СОУЭ, подчеркнута важность влияния качества передаваемой речевой информации на снижение времени реакции людей на экстренное сообщение, предложен способ расчета разборчивости в защищаемом помещении. К сожалению, данная работа не охватывает всей полноты проектирования речевых СОУЭ. Основное внимание в работе

сосредоточено на анализе и сравнении акустических теорий, методов расчета разборчивости. Заметим, что в большинстве случаев электроакустический расчет выполняется на раннем этапе проектирования, когда основные акустические параметры помещения, определяющего разборчивость, еще недоступны. Хотя в работе не раскрыта взаимосвязь функциональных параметров речевых СОУЭ с вероятностью эвакуации людей, она явилась определенной вехой и позволила обратить более пристальное внимание на важность речевой СОУЭ. Дополним проведенный в [85] анализ и критический разбор существующих методов электроакустических расчетов, появившихся позднее. В работах [90, 91] предложены чрезмерно упрощенные методики ЭАР, не учитывающие множества минимально необходимых факторов. При относительной простоте они не позволяют обеспечить высокую точность расчетов, не учитывают многие факторы: граничные условия расчета, способы определения уровней шумов, всех РО, доли отраженной звуковой энергии, не позволяют оценить значение эффективной озвучиваемой площади, тем более рассчитать речевую разборчивость. При наличии объективных входных данных можно воспользоваться результатами рассматриваемой выше работы, включающей программный модуль акустического расчета. При минимальном наборе данных можно воспользоваться упрощенным методом определения минимального уровня речи [92]. Отметим, что на практике широкое распространение получила элементарная методика электроакустического расчета [93], используемая, например, в отечественном продукте – ВМ/ТИМ-решение на Платформе nanoCAD для проектирования и моделирования систем безопасности [94], в ON-Line калькуляторе [95] (см. Приложение 10 настоящего исследования). Необходимость в продолжении исследования данной тематики обусловлена появлением ряда новых стандартов [96–98], практически не затронутых в научных публикациях.

Анализ полученных результатов. Процесс проектирования СОУЭ, включающий расчеты, достаточно трудоемок. Задача оптимизации, требующая дополнительных итераций, резко повышает трудозатраты, поэтому должна

решаться привлечением любых доступных на данный момент методов (анализа и расчета), в том числе автоматизированных программных средств моделирования. В процессе проектирования устанавливается оптимальное соответствие между функциональными и техническими параметрами выбираемой системы, ограничиваемыми нормативными требованиями и условиями ее применения. Выбираемое, зачастую аффилированное, техническое решение, определяемое ценой, техническим заданием и предпочтением заказчика, не всегда оказывается оптимальным. По этой причине задача грамотного проектирования, определяющего эффективность и работоспособность СОУЭ, выдвигается на первое место. Современный инженер-проектировщик оказывается заключенным в гильотину – экспертиза, требующая соответствия требований НД, и заказчик, уже выбравший систему. Решить данную дилемму позволят грамотные методики расчетов. Инженер-проектировщик, овладев навыками самостоятельного расчета, сможет компенсировать недостаточность входных данных и несогласованность нормативных требований, оценить ситуацию и принять наилучшее решение.

1.2. Выводы по первой главе

1. При анализе статистических данных выявлено, что одной из причин убытков, причиненных пожаром в общественных зданиях и сооружениях, является неработоспособность технических средств противопожарной защиты, в том числе СОУЭ. Проведенный анализ нормативных актов и документов в области ПБ показал, что общие требования к работоспособности СОУЭ, обеспечиваемые надежностью и достоверностью передаваемой информации, не подкреплены конкретными значениями. Это является причиной их игнорирования со стороны госэкспертизы, инспекторов ГПН, инженеров-проектировщиков, недостаточного внимания к данной проблематике научного сообщества.

2. В процессе анализа показано, что невыполнение необходимых расчетных мероприятий снижает качество разрабатываемого проектного решения, следовательно, не гарантирует выполнения системой СОУЭ своей основной задачи – обеспечения беспрепятственной эвакуации людей.

3. Проведенный анализ отечественных и зарубежных требований указал на важность применения речевых систем оповещения и необходимость учета ряда требований, среди которых следует выделить требования к надежности отдельных компонентов и системы оповещения в целом, устойчивости и надежности всех линий и соединений, требование к достоверности передаваемой информации, необходимости совершенствования организационных мероприятий, повышения квалификации оператора управления СОУЭ, обслуживающего персонала.

ГЛАВА 2. РАЗРАБОТКА МЕТОДОЛОГИЧЕСКИХ ПОДХОДОВ К ВЫПОЛНЕНИЮ ЭЛЕКТРОАКУСТИЧЕСКОГО РАСЧЕТА ПРИ ПРОЕКТИРОВАНИИ СОУЭ

2.1. Специфика учета основных параметров речевых оповещателей при выполнении электроакустического расчета

Основная задача любой системы оповещения – доведение необходимой информации до людей. Непременной составляющей любой системы речевого оповещения является звуковой тракт, включающий: микрофон как источник информации, усилитель, линию оповещения (связи), громкоговоритель (приемник). Звуковой тракт необходимо рассматривать как многочастную структуру, включающую этапы создания, звукоусиления, трансляции и преобразования. Наиболее распространенными техническими средствами, используемыми на этапе создания, являются микрофоны. Основным исполнительным элементом системы оповещения является громкоговоритель. В СОУЭ громкоговоритель выполняет функции речевого оповещателя (РО), в существенной мере определяющего качество всего звукового тракта.

На начальной стадии проектирования СОУЭ выполняется **электроакустический расчет (ЭАР)**, целью которого является грамотная расстановка РО, оптимизация принятого решения. Инженер-проектировщик сталкивается с двумя задачами. Первая – выполнить расстановку РО в проектируемом помещении; вторая – проверить правильность (корректность) существующего решения. В обоих случаях проводится оптимизация, сопровождаемая расчетами, в процессе которых анализируется помещение; определяются тип, параметры, схема расположения и расстановки РО. Есть и третья актуальная задача – обеспечение разборчивости, требуемая Техническим регламентом. Оценка разборчивости требует сбора информации по внутреннему интерьеру, по мебели и по отделке озвучиваемых помещений, однако,

на начальной стадии проектирования эти данные могут быть недоступны, что представляет основную трудность в практической реализации данного требования. Процесс оптимизации затрагивает множество параметров. В проводных системах оповещения рассчитываются потери напряжения, необходимые для корректировки результатов ЭАР. Большинство РО, присутствующих на отечественном рынке, имеют достаточно высокую чувствительность, поэтому целесообразна оптимизация мощности, позволяющая при строгом выполнении нормативных требований и сохранении конфигурации снизить суммарную нагрузку, тем самым повысить надежность и устойчивость системы.

Основными исполнительными элементами СОУЭ являются пожарные оповещатели и эвакуационные знаки – технические средства, предназначенные для информирования людей о пожаре и путях эвакуации посредством подачи светового, звукового, речевого сигналов или иного воздействия на органы чувств человека (рисунок 2.1).



Рисунок 2.1 – Классификация исполнительных технических средств СОУЭ

Речевые оповещатели согласно [6] делятся на активные и пассивные. Активные РО – устройства, содержащие в одном корпусе динамик, систему звукоусиления, ПЗУ с заранее записанными сообщениями. Пассивные РО, в отличие от активных, не требуют отдельного питания, речевой сигнал на них поступает дистанционно по линии оповещения. С ролью РО эффективно справляется громкоговоритель – преобразователь электрического сигнала на входе в акустическую слышимую энергию на выходе. Громкоговорители имеют широкую классификацию [105] и различаются:

- по области применения: для закрытых помещений, для открытого использования, взрывозащищенные;
- по способу подключения: низкоомные, трансформаторные;
- по способу излучения: прямого излучения, рупорные, фазо-инверторного типа;
- по конструктивному исполнению: врезные, накладные;
- по способу монтажа: врезные (в плоском экране), накладные (полуоткрытый ящик), потолочные, подвесные, настенные, накладные-настенные, корпусные (закрытый ящик), фазо-инверторного типа (акустические системы);
- по качеству: узкополосные, широкополосные;
- по характеристикам направленности: узконаправленные, широконаправленные.

Рассмотрим группу параметров РО, являющихся входными для ЭАР. Частотная характеристика зависимости звукового давления (ЧХЗД, далее АЧХ) – зависимость звукового давления от частоты, в точке свободного поля, находящейся на определенном расстоянии от рабочего центра при постоянном напряжении на зажимах громкоговорителя. АЧХ в ТД приводится как таблично, так и графически. В табличной форме обязательно должна указываться неравномерность частотного диапазона. Согласно [8] неравномерность РО в диапазоне 0,5–3,5 кГц не должна превышать минус 16 дБ.

Примечание: указанный диапазон включает всего три октавных частоты (0,5/1/2кГц), что недостаточно для корректного определения разборчивости.

Неравномерность частотной характеристики: отношение максимального звукового давления к минимальному в номинальном диапазоне частот, выраженное в децибелах. Номинальный диапазон частот, указываемый в ТД, следует отличать от эффективного диапазона, в пределах которого частотная характеристика РО, измеренная на рабочей оси, понижается по отношению к уровню, усредненному в октавной полосе частот в области максимальной чувствительности не более, чем на оговоренное значение (согласно [106] – 10 дБ). Неравномерность РО может касаться как спадов, на что указывает знак минус, так и подъемов, поэтому наиболее наглядно графическое представление АЧХ. Заметим, что из графической зависимости (АЧХ или ЧХЗД) легко получить ширину АЧХ, а вот обратное весьма затруднительно. Неравномерность частотной характеристики (АЧХ) представляет, по сути, частотные искажения громкоговорителя, оцениваемые коэффициентом неравномерности АЧХ: $M = \frac{K_{max}}{K_{min}}$. При работе с октавными уровнями, измеряемыми в децибелах, неравномерность удобнее выразить в виде разности между максимальным и минимальным уровнями в логарифмических единицах: $\Delta L = 20 \lg M = L_{max} - L_{min}$, где L_{max}, L_{min} – максимальные и минимальные уровни выходного сигнала, дБ, при постоянстве входного сигнала.

Согласно своду правил [6] РО должны воспроизводить нормально слышимые частоты в более широком диапазоне от 200 до 5000 Гц, однако свод правил не указывает неравномерность, что полностью обесценивает данное требование. Недостающие нормативные требования могут быть дополнены. Так, например, требования к разборчивости, отсутствующие в стандартах по ПБ, содержатся в области оповещения о ЧС, поэтому целесообразно сравнить требования к РО с требованиями к параметрам оконечных технических средств оповещения в области ЧС и транспортной безопасности (ТБ) (таблица 2.1)

Таблица 2.1 – Требования к параметрам речевых оповещателей и оконечных технических средств оповещения в различных стандартах

Требование НД	ГОСТ Р 34699- 2023	СП 3.13130-2009	ГОСТ Р 42.3.01- 2014	ГОСТ Р 53033-2008
Уровень звукового давления, дБ /дБА	Не менее 70 дБ	70–120 дБА	70–120 дБ	Не менее 103 дБ
Частотный диапазон, Гц	500–3500	200–5000	300–3400	315–5000
Неравномерность, дБ	-16 дБ	-	-	- 14
Коэффициент гармоник, %	-	-	5	7

Примечание: Требования стандарта ГОСТ Р 53033-2008 предъявляют достаточно высокие требования по качеству рупорных громкоговорителей.

Равномерность АЧХ достаточно эффективно определяется **характеристической чувствительностью** – отношением среднего звукового давления, развиваемого громкоговорителем в номинальном диапазоне частот на рабочей оси на расстоянии 1 м от рабочего центра, к корню квадратному из подводимой электрической мощности. Для частотного диапазона 800–3150 Гц (т.е. для 7-ми третьоктавных частот: 800/1000/1250/1600/2000/2500/3150 Гц), согласно определению, можно записать:

$$P_{\text{ХАР}} = 10 \lg \frac{\sqrt{\sum_{i=1}^7 (10^{0,01 P_i}) / 7}}{\sqrt{P_{\text{ВТ}}}}, \quad (2.1.1)$$

где P_i – звуковое давление (дБ) громкоговорителя, для третьоктавной частоты при подведении мощности $P_{\text{ВТ}}$, измеренной в точке свободного поля, выбранной на рабочей оси громкоговорителя на заданном расстоянии 1 м;

n – количество третьоктавных частот в указанном диапазоне.

Характеристическая чувствительность $P_{\text{ХАР}}$, определяемая в виде средней чувствительности в указанном диапазоне частот, нивелирует неравномерностью АЧХ и является очень полезной при экспресс-оценке разборчивости.

Звуковое давление, развиваемое РО, является главным параметром, характеризующим громкость и эффективность РО. Эффективность РО можно определить в виде произведения развиваемой громкости на коэффициент полезного действия КПД: $\eta = \frac{W_A}{W_{\Sigma}} = \frac{r_{\text{и}} \dot{\xi}}{Z i^2}$, где W_A – выходная акустическая мощность; W_{Σ} – подводимая электрическая мощность; $\dot{\xi}$ – колебательная скорость (катушки); $r_{\text{и}}$ – сопротивление излучения; i – ток, протекающий в полном комплексном электрическом сопротивлении Z . Акустическая мощность в общей сложности характеризует акустические свойства громкоговорителя как излучателя и, кроме указанных параметров, определяется плотностью воздуха и скоростью распространения звука в воздухе. В требованиях НД, в паспортных данных используются уровни звукового давления, измеряемые в децибелах. Отправной точкой для определения громкости РО является чувствительность громкоговорителя, P_0 , дБ – звуковое давление, развиваемое громкоговорителем в точке свободного поля, выбранной на рабочей оси на расстоянии 1 м от геометрического центра при подведении к входу громкоговорителя электрической мощности $P_{\text{вт}}=1\text{Вт}$. В качестве чувствительности принято использовать т.н. «осевую чувствительность» на рабочей оси, что очень удобно при построении характеристик направленности (см. далее). Осовая чувствительность связана с акустической мощностью следующим соотношением: $J(\theta = 0^\circ) = \frac{\xi W_A}{4\pi r^2}$, где ξ – коэффициент осевой концентрации (не нужно путать с колебательной скоростью, обозначаемой с точкой наверху $\dot{\xi}$); r – расстояние от геометрического центра РО до точки, в которой происходит измерение громкости. Чувствительность фактически определяет акустическую мощность громкоговорителя (с разницей на рассеяние звука в сферу или полусферу). Акустическая мощность традиционно измеряется в Паскалях (в системе СИ), однако на практике, а также в НД используются децибелы. Переход от Паскалей к децибелам осуществляется операцией логарифмирования. Согласно [42] уровень звукового давления (sound pressure level) L_p – десятикратный десятичный

логарифм отношения квадрата звукового давления p (Па) к квадрату опорного звукового давления p_0 ($p_0=20\text{мкПа}$), выраженный в децибелах (дБ): $L_p = 10 \lg \frac{p^2}{p_0^2}$.

Каждый из этапов преобразования оказывает влияние на выходной результат, внося искажения. Причины их появления разнообразны, например, нелинейность подвеса диафрагмы, неоднородность магнитного поля в воздушном зазоре, изменения индуктивности катушки при колебаниях, механические контакты подвижных и неподвижных частей и т.д.

Коэффициент нелинейных искажений, наряду с АЧХ, в существенной мере определяет качество громкоговорителя. Нелинейные искажения частотно зависимы, согласно таблицы 2.1 не должны превышать 7 % в диапазоне 630–1000 Гц; 5 % в диапазоне свыше 1000–3000 Гц; 3 % в диапазоне свыше 3 кГц. При испытаниях громкоговорителей измеряется звуковое давление гармоник на частотах nf . Суммарный коэффициент гармонических искажений: $K = \sqrt{\sum_{i=2}^{\infty} k_n^2}$; $k_n = \frac{p_n}{p_1} \cdot 100 \%$, где k_n – коэффициент гармонических искажений n -го порядка: коэффициент нелинейных искажений в свободном поле, измеряемый при подведении к громкоговорителю синусоидального сигнала с частотой f и определяемый на частотах nf (для n -ой гармоники); p_1 и p_n – звуковые давления, соответствующие показаниям анализатора гармоник с частотами f и nf [106].

Характеристики направленности РО. Звуковое давление, развиваемое РО, зависит не только от частоты, но и от угла отклонения от рабочей оси – геометрической оси, перпендикулярной плоскости диффузора. Учет характеристик направленности РО сопряжен с определенными трудностями: отсутствием корректных данных от производителя, несогласованностью в терминологии и, как следствие, неоднозначной интерпретацией указываемых параметров. Так, например, многие производители, например [108], указывают данную характеристику в следующем виде: «угол раскрытия 1/4/8 кГц – 180/90/80 град.». Данное представление не тождественно ни одной из гостовских характеристик и требует комментария. Ближайшим аналогом «угла раскрытия»

является характеристика, используемая в международном стандарте IEC 268-5 (2000 г.), называемая углом покрытия (coverage angle) – величина раскрытия при спаде -6 дБ (beam width -6dB). В приведенном примере величина спада -6 дБ присутствует неявно, однако ее обязательно нужно как указывать, так и учитывать.

Примечание: в отечественной практике закрепился термин из зарубежных методик Sound Acoustic Design JBL/RCF/TOA [43]), называемый шириной диаграммы направленности (ШДН). ШДН – двойное значение угла отклонения от рабочей оси, на котором звуковое давление снижается на -6 дБ в выбранной плоскости.

Для оценки уровня прямой звуковой энергии, развиваемой РО в точке, выбранной на рабочей оси на расстоянии 1 м, при подведении некоторой мощности $P_{\text{ВТ}}$ используется следующая формула:

$$P_{\text{дБ}} = P_0 + 10 \lg\left(\frac{\chi \Phi_{\text{Н}} \cdot P_{\text{ВТ}}}{\Omega}\right), \quad (2.1.2)$$

где P_0 – чувствительность громкоговорителя, дБ;

$P_{\text{ВТ}}$ – электрическая (паспортная) мощность, Вт;

$\Phi_{\text{Н}}$ – фактор направленности;

χ – коэффициент, учитывающий влияние ближнего поля;

Ω – пространственный угол излучения громкоговорителя.

Фактор направленности – отношение квадрата звукового давления, развиваемого громкоговорителем в точке свободного поля, находящейся на фиксированном расстоянии от рабочего центра, P_{θ}^2 , дБ, к квадрату звукового давления, громкоговорителя, усредненного по всем направлениям в соответствии с характеристикой направленности, $P_{\text{ср}}^2$, дБ: $\Phi_{\text{Н}} = \xi \cdot \xi^2(\theta)$, где ξ – коэффициент осевой концентрации; $\xi(\theta)$ – характеристика направленности громкоговорителя. Для ненаправленных источников $\Phi_{\text{Н}} = 1$. Согласно [109, 110] пространственный угол Ω принимают равным 4π для сферического излучателя на расстояниях, соизмеримых с размерами источника (РО), называемыми радиусом гулкост.

В работе [111] приведена методика определения пространственного угла и показано, что для соразмерных прямоугольных помещений $\Phi_H/\Omega \rightarrow 1$. В силу практических соображений, полагая $\chi = 1$ (для расстояний, превышающих радиус гулкосты сопоставимый с размерами РО), уровень звукового давления, учитывающий долю неотраженной энергии в точке, выбранной на расстоянии r , м, для i -той частоты можно представить как:

$$P_{дБi}(\theta) = P_{\theta i}(\theta) + 10 \lg(P_{ВТ}), \quad (2.1.3)$$

где $P_{\theta i}(\theta)$ – звуковое давление, развиваемое РО на i -й частоте, дБ, в точке свободного пространства, выбранной на расстоянии 1 м от геометрического центра РО, зависящее от угла раскрыва, θ в указанной плоскости при подведении мощности 1 Вт.

Мощность для РО трансформаторного типа определяется импедансом первичной обмотки согласующего (понижающего) трансформатора:

$$P_{ВТi} = \frac{U_{ТР}^2}{(Z_i)}, \quad (2.1.4)$$

где $U_{ТР}$, В – напряжение на входе ЛО;

Z_i , Ом – комплексное сопротивление первичной обмотки РО.

В ТД на РО трансформаторного типа обязательно должно указываться номинальное рабочее напряжение. Зная мощность РО, легко перейти к его комплексному сопротивлению, необходимому для расчета потерь по напряжению. Для построения практической формулы, учитывающей **характеристику направленности РО**, введем следующие базовые допущения: применяемый в качестве РО громкоговоритель имеет направленные свойства; характеристика направленности РО аппроксимируется полуэллипсом для частоты 4 кГц [94]. На рисунке 2.2 изображен громкоговоритель, установленный на высоте h , м и направленный вдоль оси X (в декартовой $OXYZ$ системе координат).

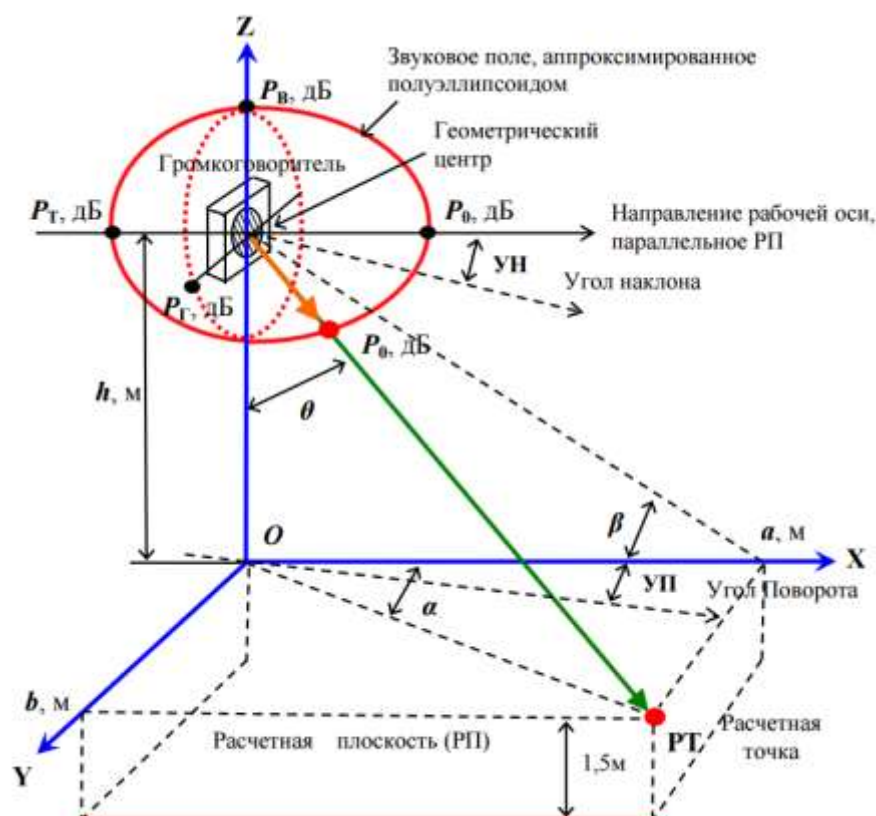


Рисунок 2.2 – Основные параметры установки РО и координаты расчетной точки

Дополнительные параметры РО: P_G , дБ – звуковое давление в точке, выбранной на расстоянии 1 м от геометрического центра отклоненной относительно рабочей оси на 90° в горизонтальной плоскости; P_B , дБ – звуковое давление в точке, выбранной на расстоянии 1 м от геометрического центра отклоненной относительно рабочей оси на 90° в вертикальной плоскости; ШДН_Г, град/рад – ширина горизонтальной диаграммы направленности РО; ШДН_В, град/рад – ширина вертикальной диаграммы направленности РО.

Параметры установки РО: h , м – высота установки; УП, град/рад – угол поворота громкоговорителя; УН, град/рад – угол наклона громкоговорителя. Углы поворота и наклона желательно выбирать из условия: $УП < \alpha < \frac{\pi}{2}$; $УН < \beta < \frac{\pi}{2}$. Координаты расчетной точки (РТ): a , м – координата РТ по оси X – оси, совпадающей с направлением рабочей оси громкоговорителя; b , м – координата РТ по оси Y; h – высота установки РО – координата РТ по оси Z; α , град/рад –

горизонтальное (в плоскости XOY) отклонение РТ от рабочей оси; β , град/рад – вертикальное (в плоскости XOZ) отклонение РТ от рабочей оси громкоговорителя; θ , град/рад – угол между направлением на РТ и осью Z. Звуковое давление в РТ, лежащей вне направления рабочей оси РО, $P_{\theta i}(\theta)$ можно вычислить [110]:

$$P_{\theta i}(\theta) = \frac{u \cdot P_0}{u^2 + \frac{v^2}{(1 - e_{\Gamma}^2)} + \frac{w^2}{(1 - e_B^2)}}, \quad (2.1.5)$$

где e_{Γ} , e_B – эксцентриситеты эллипса в горизонтальной и вертикальной плоскости.

Параметры для декартовой системы координат:

$$u = x \cos \beta + h \sin \beta; v = b; w = a \sin \beta - h \cos \beta.$$

Значения эксцентриситетов $e_{\Gamma/B} = \sqrt{1 - \frac{P_{\Gamma/B}^2}{P_0^2}}$ можно вычислить через коэффициенты сжатия: $k_{\Gamma/B} = \frac{P_{\Gamma/B}}{P_0}$ – идеализированных полуэллипсов в горизонтальной и в вертикальной плоскостях, которые нетрудно получить из графических диаграмм, тогда: $e_{\Gamma/B} = \sqrt{1 - k_{\Gamma/B}^2}$. Аналитическое выражение для нахождения $P_{\Gamma/B}$ удобнее построить в декартовой системе координат при известной ШДН в горизонтальной и вертикальной плоскостях [112]:

$$P_{\Gamma/B} = \frac{P_0 \cdot (P_0 - 6) \cdot \sin \frac{\text{ШДН}_{\Gamma/B}}{2}}{\sqrt{P_0^2 - ((P_0 - 6) \cdot \cos \frac{\text{ШДН}_{\Gamma/B}}{2})^2}}. \quad (2.1.6)$$

Приведем еще одну формулу для расчета $P_{\theta i}(\theta)$, позволяющую определить зависимости уровней звукового давления от угла раскрыва (в декартовой системе координат), корректность которой подтверждена при неоднократных испытаниях [113]:

$$P_{\theta i}(\theta) = P_0 / \sqrt{(\sin \theta \cdot \cos \alpha)^2 + \left(\frac{\sin \theta \cdot \sin \alpha}{k_{\Gamma}}\right)^2 + \left(\frac{\cos \theta}{k_B}\right)^2}, \quad (2.1.7)$$

где: $\alpha = \tan^{-1} b/a - \text{УП}$; $\beta = \tan^{-1} h/a - \text{УН}$; $\theta = \tan^{-1} \left(\frac{1}{\tan(\beta) \cdot \cos(\alpha)} \right)$.

При использовании методики расстановки РО, в которой активно используется параметр ШДН, оценить его значение для идеализированного полуэллипсоида при известных коэффициентах сжатия k_{Γ}, k_B можно по формуле:

$$\text{ШДН}_{\Gamma/B} = 360 \cdot \sin^{-1} \left(\frac{k_{\Gamma/B}}{(P_0 - 6)} \cdot \sqrt{\frac{P_0^2 - (P_0 - 6)^2}{(1 - k_{\Gamma/B}^2)}} \right) / \pi. \quad (2.1.8)$$

На рисунке 2.3 приведена графическая зависимость коэффициента сжатия полуэллипса для одной плоскости, от ШДН РО.



Рисунок 2.3 – Зависимость коэффициента сжатия полуэллипса для одной плоскости, от ШДН РО

Формулы (2.1.6)–(2.1.8) удобны для практического применения, так как обобщают все необходимые параметры РО: угол наклона (УН) при $УН < \beta$ и угол поворота (УП) при $УП < \alpha$ позволяют переходить от коэффициентов сжатия (определяемых по диаграммам в полярных координатах, в двух плоскостях) к ШДН и обратно, вычислять уровень звукового давления в любом направлении.

Кроме вышеприведенных существуют и другие теоретические аппроксимации характеристик направленности, например:

$$D(\theta) = \frac{(1 - e^2) \cos(\theta)}{1 - e^2 \cos(\theta)^2}; R(\theta) = \frac{\cos(\theta)}{5 - 4 \cos(\theta)^2}. \quad (2.1.9)$$

На рисунке 2.4 приведены результаты сравнения данных аппроксимаций для коэффициента сжатия 0,89, соответствующего ШДН=90 градусов.

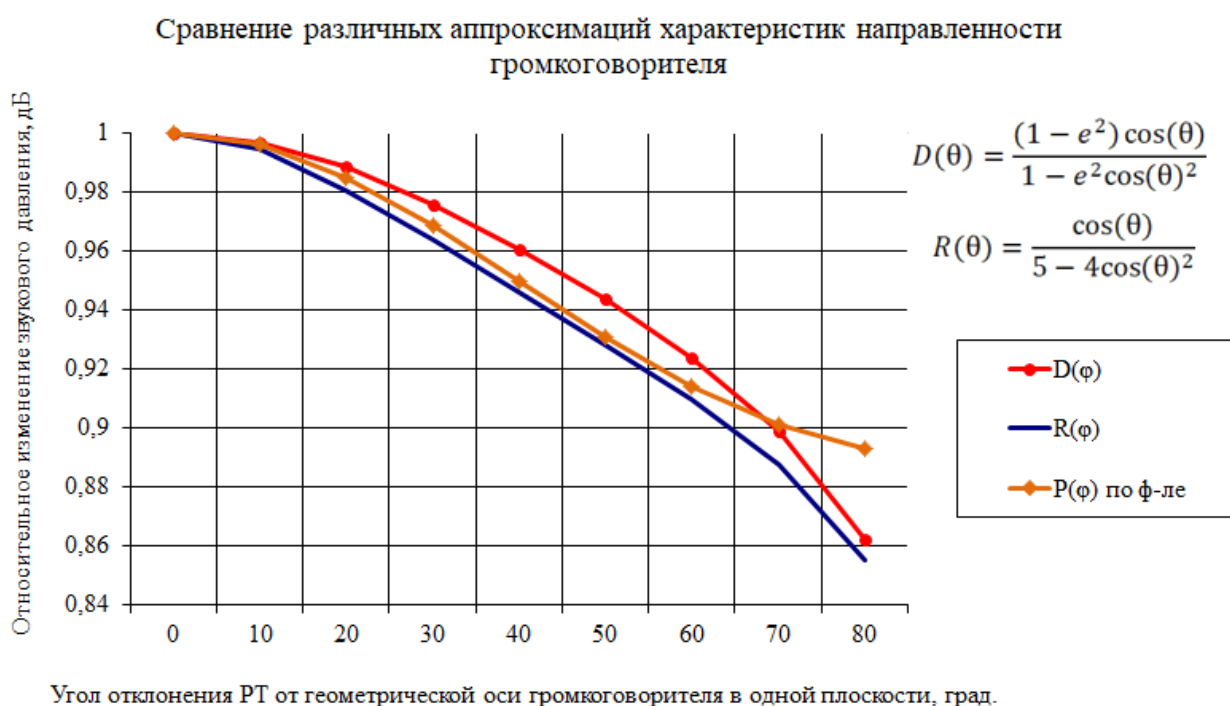


Рисунок 2.4 – Сравнение различных аппроксимаций характеристик направленности громкоговорителя

Из сравнения видно, что расхождение теоретических аппроксимаций с полученной нами при ШДН<140 град. и угле отклонения РТ от геометрической оси громкоговорителя < 70 град. незначительно. Среднеквадратические отклонения (СКО) $P(\theta)$ от $D(\theta)$, $\sigma=0,38\%$; СКО $P(\theta)$ от $R(\theta)$, $\sigma=0,31\%$.

Для автоматизации процесса расчета удобно пользоваться идеализированными частотными характеристиками, что вполне допустимо при указании отклонений (для частотной характеристики поле допустимых отклонений ± 3 дБ). Большинство производителей РО, присутствующих на российском рынке, частотные характеристики для своих изделий приводят формально, указывая лишь нижнюю и верхнюю границы частотного диапазона без указания неравномерности. В целях повышения точности и достоверности электроакустических расчетов целесообразно расширить нормативную классификацию основных требований к параметрам звуковых трактов [114], таблица 2.2.

Таблица 2.2 – Требования к параметрам звуковых трактов для трансляции речевых текстов

Класс Качество	Параметры звуковых трактов для речевых текстов					
	Частотный диапазон, Гц	Неравномерность		Коэффициент гармоник, %		
		В основном диапазоне	На краях	До 100 Гц	100–200 Гц	Выше 200 Гц
I Высший	30–15000	2	6	5	1	1
II Высокий	50–10000	2	6	6	2,5	2,5
III Средний	100–6300	6	16	-	8	3,6
IV Низкий	200–4000	6	16	-	-	7,3

Из таблицы 2.2 можно видеть, что требования, предъявляемые к РО СОУЭ, соответствуют нижней строке с градацией качества – «низкое». Таким образом, целесообразно объединить требования НД с характеристиками для различных

классов качества, представив полученный результат в виде обобщенных частотных коррекций (таблица 2.3).

Таблица 2.3 – Неравномерности АЧХ, характерные для различных нормативных требований и классов громкоговорителей (РО)

Класс / ГОСТ / Октавные частоты, f , кГц	Корректировка АЧХ, ΔP_i , дБ / Коэффициент гармоник							
	0,125	0,25	0,5	1	2	4	8	K, %
Высокий	6	2	1	0	1	2	6	1,0
Средний	16	6	2	0	2	6	16	2,5
ТБ (ГОСТ 53033-2008)	-	14	6	0	6	14	-	5,0
ПБ (СП 3.13130-2009)	-	16	6	0	6	16	-	7,0
ПБ (ГОСТ Р 34699-2021)	-	32	16	0	6	16	-	7,3

Данное представление вполне оправдано и достаточно широко применяется как в отечественной, так и в международной практике [99–103]. Полученных данных вполне достаточно для построения методик.

Примечание: Методика элементарного электроакустического расчета (ЭАР), приведена в приложении 2, методика расчета речевой разборчивости приведена в приложении 3 данного исследования. Построение и обоснование методики расчета коэффициента эффективности топологии РО, приведено далее.

2.2. Основные методические подходы к расчету коэффициента эффективности топологии речевых оповещателей СОУЭ

Понятие коэффициент эффективности топологии речевых оповещателей используется впервые, поэтому требует комментария. Под эффективностью технического средства (решения, системы) понимается способность создания положительного выходного результата (эффекта). Базовым атрибутом эффективности является «отказ» – событие, заключающееся в каком-либо нарушении работоспособности средства (системы), например, выхода параметров за нормативные пределы. Такой отказ принято считать уязвимостью [129].

Основной задачей СОУЭ является оповещения мест постоянного или временного нахождения людей. Тогда для системы речевого оповещения уязвимостью следует считать недостоверность передаваемой информации. При удалении человека от звукового источника восприятие передаваемой информации ухудшается прежде всего за счет снижения уровня сигнала над уровнем шумов, которое мы будем считать основным критерием разборчивости речевого сообщения. Понятие (характеристика) «топологическая эффективность» заимствована из смежной области ГОЧС и содержится в стандарте [34]. Данный стандарт разработан с целью оценки эффективности систем оповещения о ЧС, использующихся в том числе внутри зданий и сооружений. В стандарте [34] используется следующая терминология (п. 2.5, п. 2.6): зона адекватной идентификации информации оповещения: участки зоны оповещения, где по громкости звучания люди могут однозначно воспринять сигнал оповещения и/или отчетливо разобрать содержание речевого сообщения. Требования к озвучиваемым помещениям в [34] полностью соответствуют требованиям в области ПБ:

- во всех РТ суперпозиция звуковых сигналов оповещения, поступающих от всех оконечных УСО, рассчитываемая для высоты 1,5 м над уровнем земли (поверхностью пола), должна иметь уровень звука не менее чем на 15 дБА выше допустимого уровня постоянного шума, определяемого функциональным назначением данной зоны;

- при определении уровня звука в помещении следует учитывать отражение звуковых волн от поверхностей стен, потолка, пола и предметов интерьера; различную степень поглощения звуковых волн, отражаемых поверхностями; дифракцию звуковых волн предметами интерьера помещения.

Эффективность топологии оконечных технических средств оповещения (УСО) определяется отношением общего количества людей, находящихся в зонах адекватной идентификации информации, к количеству людей, находящихся в зоне оповещения. Комментарием к рассматриваемому стандарту является специально разработанный для этого документ [130], согласно которому при

разработке ПД на систему оповещения населения проведение оценки эффективности оконечных тех средств (громкоговорителей) является обязательным. Результатом данной оценки являются численные характеристики эффективности, отражающие оптимальность проектных решений по выбору состава и размещению громкоговорителей. В данном документе эффективность топологии, определяемая в стандарте [129] отношением количества людей, расширяется. В качестве эффективности топологии оконечных технических средств предлагается использовать следующее соотношение: $K_{ЭТ_УСО} = \frac{S_{АИ}}{S_{ОЗВ}}$, где $S_{АИ}$, м² – площадь адекватной идентификации речевой информации, $S_{ОЗВ}$, м² – площадь зоны оповещения.

Для построения методики расчета эффективности топологии РО обобщим результаты, представленные в предыдущих параграфах: параметры РО являются входными и существенным образом влияют на результаты ЭАР. На начальном этапе проверяются минимальные требования и граничные условия. При анализе помещения определяются параметры звукоизолирующих преград (дверей) по каждому из путей распространения звука. Оптимизация параметров РО выполняется на раннем этапе. На стадии ввода в эксплуатацию и проверки работоспособности оценивается правильность расчета (рисунок 2.5).

Вычисление значения площади, адекватной идентификации информации, выполняется в следующем порядке: 1. Анализируется зона оповещения. 2. Собираются данные о шумовой обстановке. 3. Выбираются места расположения РО. 4. Рассчитываются минимальные уровни звукового давления, создаваемого РО в точке установки. 5. Подбираются модели РО с рассчитанными параметрами. 6. Рассчитываются уровни звукового давления на границе зоны оповещения (в удаленных РО). 7. Определяются препятствия, создающие зоны акустической тени. 8. При необходимости осуществляется корректировка решений, определяется более эффективная топология.

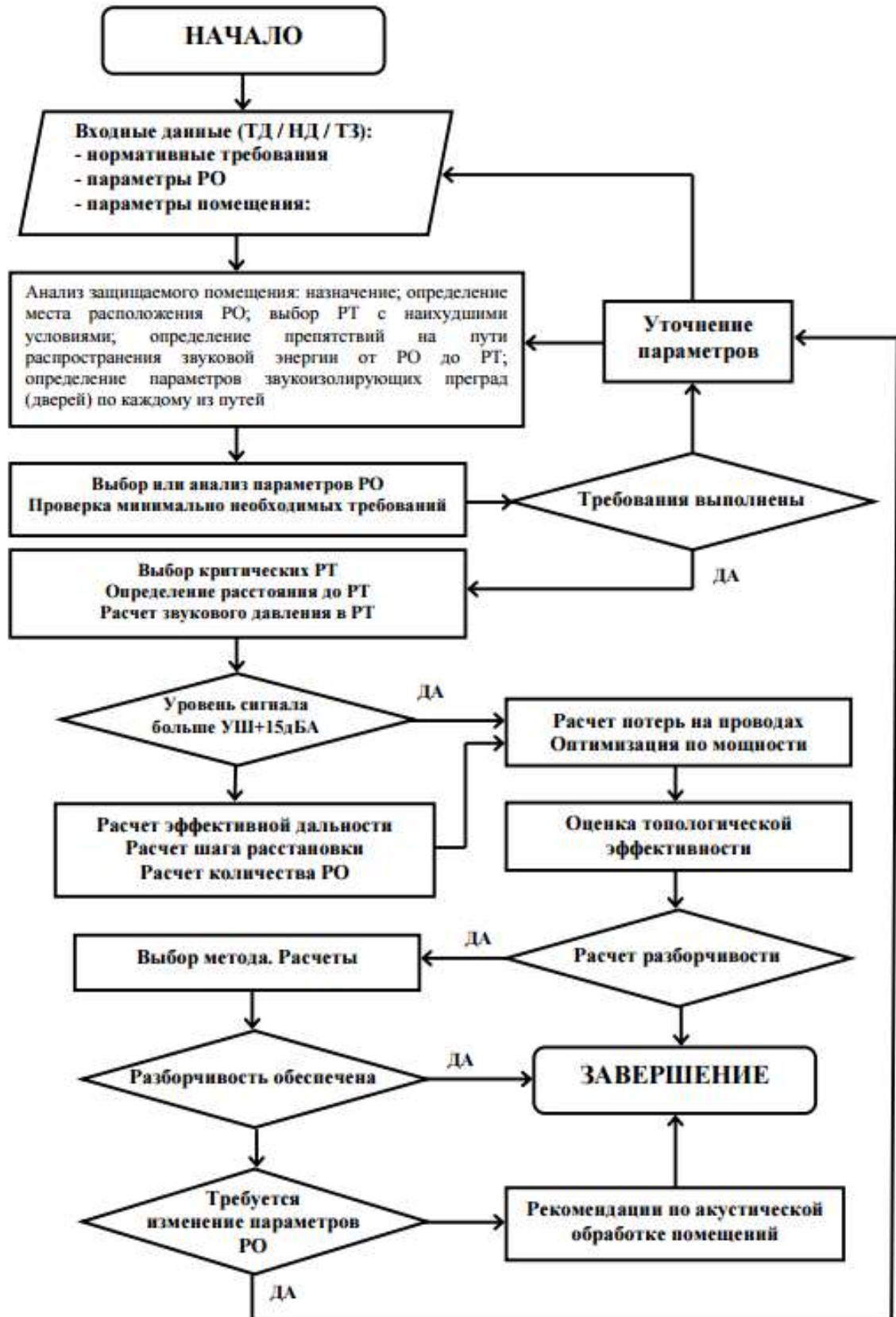


Рисунок 2.5 – Основные этапы электроакустического расчета

Примечание: для расчета эффективной площади необходимо провести классификацию помещений, предложить способ расстановки РО. Классификация помещений дана в [89]. Элементарные способы оценки эффективных площадей и расстановки РО рассмотрены в монографии [105].

Обобщенную **оценку коэффициента эффективности топологии РО**, устанавливаемых (размещаемых) в защищаемом здании, представим следующим образом:

$$K_{ЭТ_Р0} = \frac{1}{M \cdot N} \sum_{i=1}^M n_i \cdot K_{ЭТ_Рi}, \quad (2.2.1)$$

где M – количество зон оповещения, шт.;

N – количество людей, находящихся во всех защищаемых зонах, чел.;

n_i – количество людей, находящихся в i -ой зоне оповещения, чел.;

$K_{ЭТ_Рi}$ – коэффициент эффективности топологии РО, устанавливаемых или установленных в i -й зоне оповещения.

Коэффициент эффективности топологии РО, устанавливаемых или установленных в i -й зоне:

$$K_{ЭТ_Рi} = \frac{S_{ЭФi}}{1,25S_{30i}}, \quad (2.2.2)$$

где $S_{ЭФi}$ – эффективная озвучиваемая площадь для i -й зоны оповещения, м²;

S_{30i} – площадь i -й зоны оповещения, м², с учетом коэффициента запаса (1,25), обусловленным наличием «темных» зон – мест в помещении с неоднозначной идентификацией разборчивости речи. При $S_{ЭФi} > 1,25S_{30i}$, $K_{ЭТ_Рi} = 1$.

Обобщим предложенные результаты и дополним их **методикой расчета эффективной площади**, озвучиваемой настенными РО (рисунок 2.6).

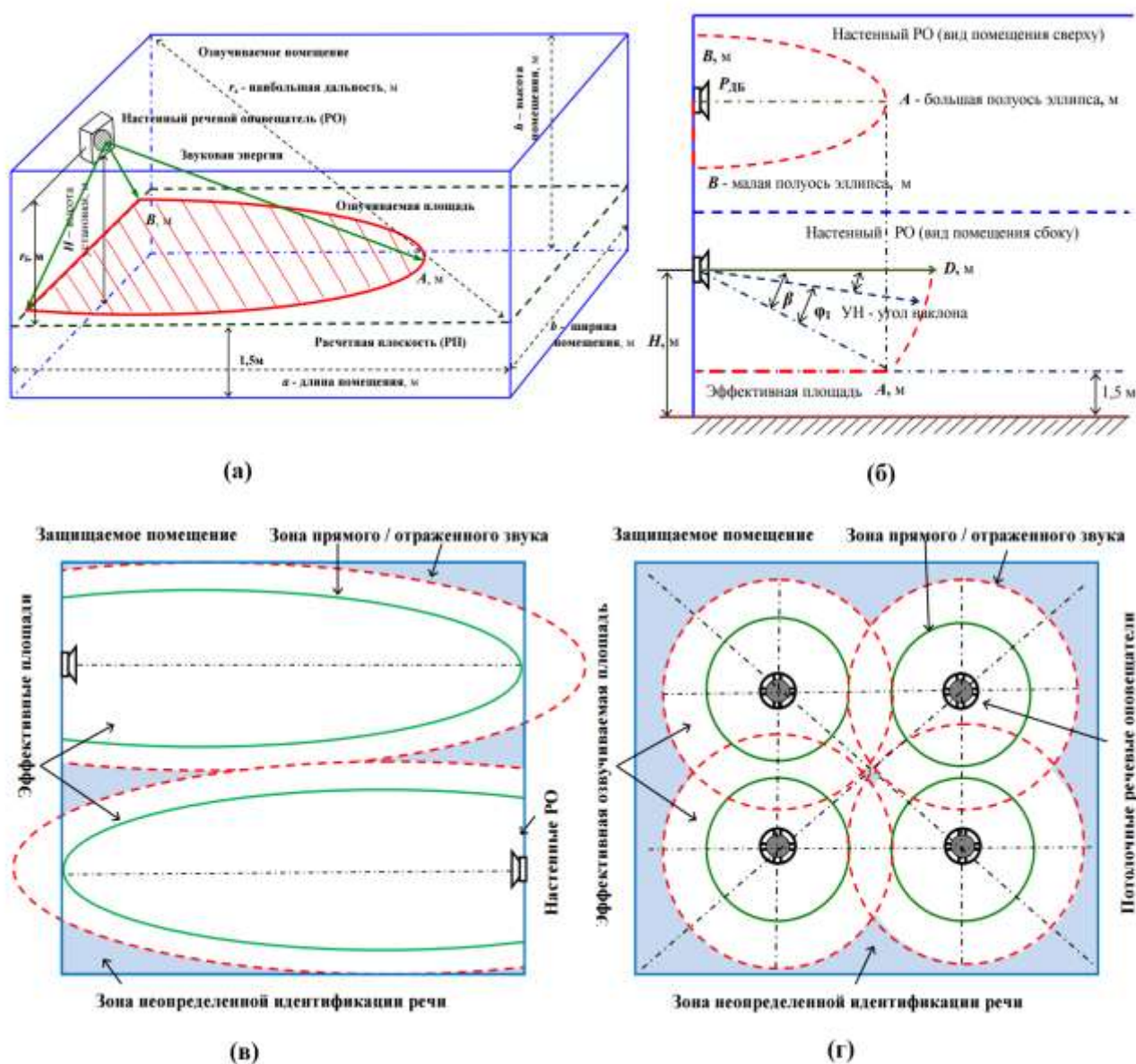


Рисунок 2.6 – а) озвучиваемое соразмерное помещение с установленным РО;
 б) к расчету эффективной площади, вид помещения сверху и сбоку;
 в) расстановка настенных РО во встречном порядке; г) расстановка потолочных РО по схеме «плотная квадратная решетка» с отражениями

На рисунке 2.6 а изображено прямоугольное соразмерное помещение с установленным настенным РО. Методика расстановки потолочных и настенных РО широко применяемая на практике и приведенная в пособии [93], может быть расширена и модифицирована, если вместо используемой в пособии гиперболической аппроксимации использовать эллиптическую (рисунок 2.6 в).

При расстановке потолочных РО применяются две схемы размещения РО в цепочках – плотная и неплотная. В монографии [105] показано, что наиболее эффективной является расстановка по схеме «плотная квадратная решетка» с учетом отражений (рисунок 2.6 г).

Базовое положение. Применяемый в качестве РО громкоговоритель имеет направленные свойства. Характеристика направленности РО аппроксимируется полуэллипсом для частоты 4 кГц. Диаграмму направленности РО с круглым раскрывом удобно представить полуэллипсоидом вращения с равными для вертикальной и горизонтальной площади эксцентриситетами. Озвучиваемая площадь как пересечение полуэллипсоида и плоскости (проекция на РП) представляет собой полуэллипс. Для определения эффективной площади полуэллипса достаточно найти такие значения полуосей, в которых выполняются все минимально необходимые граничные условия, тогда площадь, определяемая этими полуосями, и будет искомой площадью.

Алгоритм расчета эффективной площади для одного РО (см. рисунок 2.2). Для нахождения полуосей результирующего эллипса (A – большой и B – малой) необходимо выполнить следующую последовательность расчетов:

1. Звуковое давление, развиваемое РО для 5-ти октавных полос: 250, 500, 1000, 2000, 4000 Гц рассчитаем с учетом характеристик направленности, необходимых коррекций и диффузионной составляющей. **Частотные коррекции**, используемые для расчета эквивалентного уровня звукового давления (речевого сигнала) воспроизводимого РО с учетом восприятия, приведены в таблице 2.4.

Таблица 2.4 – Коррекции уровней речевого сигнала для 5-ти октавных частот

Характеристика	Частотные коррекции, дБ				
	250 Гц	500 Гц	1000 Гц	2000 Гц	4000 Гц
Коррекция по «А», ΔP_{Ai}	8,6	3,2	0,0	-1,2	-1,0
АЧХ РО (см. табл. 2.4), ΔP_i (требования СП 3.13130)	16	6	0	6	16
Коррекция речи ΔP_{Pi} ,	3,2	0	6,2	12,1	17,6

2. Проанализируем шумовую обстановку, выберем критическую РТ и определим оптимальные параметры РО.

3. Проверим выполнение базового критерия – соотношения С/Ш без учета диффузионной составляющей:

$$120 - 20 \lg(r_6) \geq L_{\text{дб}} \geq 20 \lg(r_d) + 10 \lg(10^{0,1L_{\text{шп}}} + 10^{0,1L_{\text{ип}}}) + 15, \quad (2.2.3)$$

где r_6 – расстояние от ближайшей точки расположения человека до РО, м;

r_d – расстояние от РО до дальней РТ, м;

$L_{\text{шп}}$ – уровень шума в помещении, дБА;

$L_{\text{ип}}$ – уровень помехи, в том числе, дополнительного источника шума, дБА.

Если условие (2.2.3) не выполняется при $L_{\text{дб}} < 20 \lg(r_d) + 10 \lg(10^{0,1L_{\text{шп}}} + 10^{0,1L_{\text{ип}}}) + 15$, то необходимо увеличить мощность РО.

Примечание: избыточная (акустическая) мощность может привести к высокой концентрации звуковой энергии. Для ее исключения можно ввести ограничение в виде максимально допустимой неравномерности между максимальным L_{max} и минимальным L_{min} уровнями звукового давления в зоне оповещения: $\Delta L = (L_{\text{max}} - L_{\text{min}}) \leq 12$ дБА.

4. Введем важный для дальнейших расчетов параметр – эффективную дальность [93, 105, 131], D , м. Под эффективной дальностью будем понимать максимальное расстояние от геометрического центра РО до РТ, выбранной на рабочей оси, в пределах которого сигнал превышает шум на 15 дБА:

$$D = 10^{0,05(P_{\text{дб}} - L_{\text{уш}} - 15)}, \quad (2.2.4)$$

где $L_{\text{уш}} = 10 \lg(10^{0,1L_{\text{шп}}} + 10^{0,1L_{\text{ип}}})$ – уровень шума в защищаемом помещении, дБА.

5. Аналогичным образом определим эффективную дальность $D_{\text{Г/В}}$, м на раскрыве 90 град., где РО развивает звуковое давление: $P_{\text{Г/В}} = k_{\text{Г/В}} \cdot P_0 + 10 \lg(P_{\text{ВТ}})$, где $k_{\text{Г/В}}$ – коэффициент сжатия эллипса в горизонтальной/вертикальной плоскости. Дальнейший расчет выполняется при выполнении условия: $D_{\text{Г/В}} \geq H - 1,5$.

6. Для вычисления большой полуоси эллипса (А) с учетом возможного угла наклона РО определим угол φ_1 , рад:

$$\varphi_1 = \left| \sin^{-1} \frac{(H - 1,5)}{D} - \text{УН} \right|. \quad (2.2.5)$$

Примечание: из (2.2.5) следует, что угол наклона необходимо выбирать из условия: $\text{УН} \sim \sin^{-1} \frac{(H-1,5)}{a}$, где а – расстояние от геометрического центра РО до стены, м.

7. Определим уровень звукового давления на угле раскрыва φ_1 на расстоянии 1 м для вертикальной плоскости: $P_{\varphi_1} = \frac{P_{\text{ДБ}}}{\sqrt{(\cos \varphi_1)^2 + (\frac{\sin \varphi_1}{k_B})^2}}$, где k_B – коэффициент сжатия эллипса в вертикальной плоскости.

8. Пересчитаем эффективную дальность РО: D_{φ_1} при $P_o = P_{\varphi_1}$.

9. Вычислим большую полуось эллипса: $A = \sqrt{D_{\varphi_1}^2 - (H - 1,5)^2}$.

10. Для вычисления малой полуоси В выполним аналогичные вычисления, при замене $L_{\text{ДБ}} = L_{\Gamma/\text{В}}$, по (2.2.4) вычислим D_B , затем найдем $B = \sqrt{D_{\Gamma}^2 - (H - 1,5)^2}$.

11. Зная значения А и В, вычислим площадь полуэллипса: $S = \pi \frac{AB}{2}$.

Учет отражений, позволяющий работать со сложными интерьерами, нашел отражение в геометрически-лучевой акустической теории [110]. Учет отражений позволяет существенно скорректировать результаты расчетов. Элементарным электроакустическим расчетом (ЭАР) называется расчет, в котором учитывается доля прямой и первично отраженной звуковой энергии.

На рисунке 2.7 приведена схема размещения настенного РО, обобщающая приведенный выше подход (рисунок 2.2).

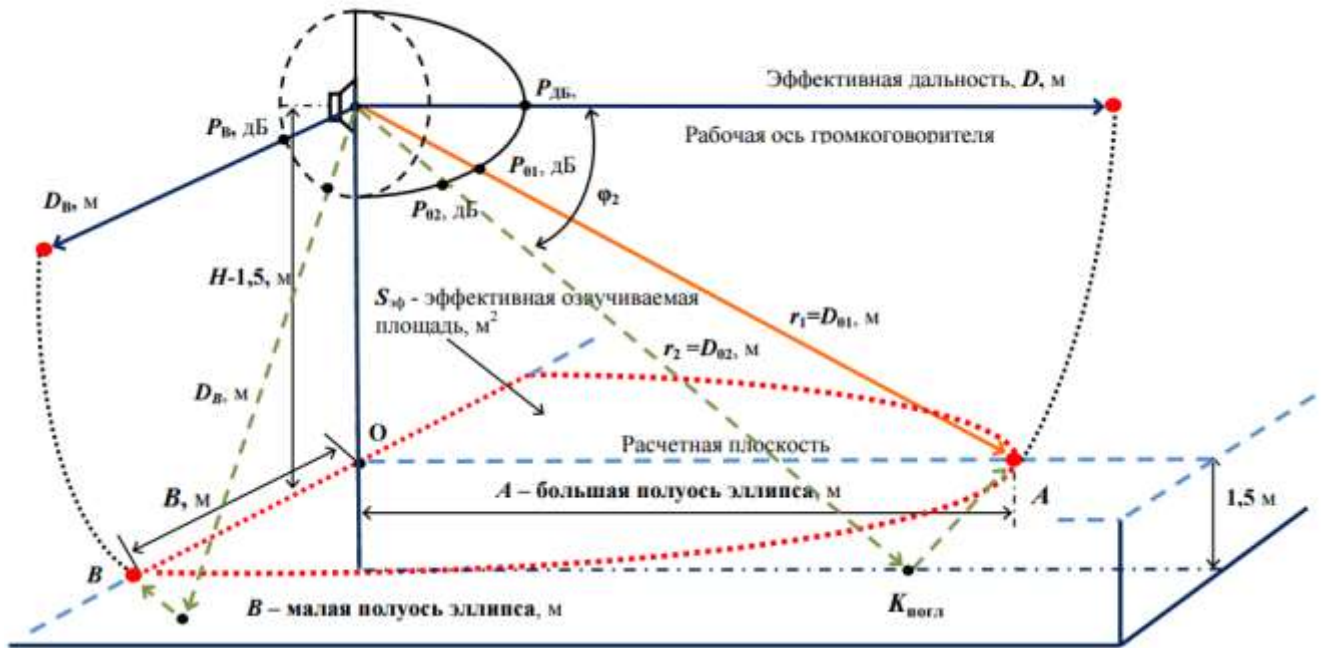


Рисунок 2.7 – Пояснение к расчету эффективной площади, озвучиваемой настенным РО, с учетом отражений от пола

Звуковая энергия от настенного РО поступает в точку (А) минимум по двум путям: напрямую, пройдя расстояние $r_1 = D_{\varphi 1}$; и расстояние r_2 с учетом отражения от пола.

Примечание: учет отражения именно от пола выбран как аналог градиентной составляющей, используемой в СНиП 23–03–2003 «Защита от шума» [42].

Определим уровень результирующей звуковой энергии $L_{РТ}$, дБА:

$$L_{РТ2} = 10 \lg(10^{0,1(P_{\varphi 1} - 20 \lg(r_1))} + 10^{0,1(P_{\varphi 2} + 10 \lg(1 - k_{\text{погл}}) - 20 \lg(r_2))}), \quad (2.2.7)$$

где $k_{\text{погл}}$ – коэффициент звукопоглощения поверхности на 4 кГц;

$$r_1 = D; r_2 = \sqrt{A^2 + (H + 1,5)^2}, \text{ м}; \varphi_2 = \tan^{-1} \frac{(H + 1,5)}{A} - \text{УН}; r_2 = \sqrt{A^2 + (H + 1,5)^2}.$$

Пересчитаем эффективную дальность $D_{\varphi s}$ с учетом сложения прямой и отраженной звуковой энергии при $L_{ДБ} = L_{ДБ2}$:

$$D_{\varphi 2} = 10^{0,05(P_{ДБ} - \text{УШ} - 15)} + 10^{0,05(L_{РТ2} - L_{РТ})}. \quad (2.2.8)$$

Вычисление малой полуоси выполняется аналогичным образом.

Расчет эффективной площади для потолочного РО (рисунок 2.6 г) выполняется аналогичным образом с одним отличием. Углы φ_3 и φ_4 откладываются не от горизонтальной, а от вертикально расположенной рабочей оси.

Выше мы указали, что в работах [93, 105, 131] в качестве аппроксимации диаграммы направленности для настенного РО использовано геометрическое представление диаграммы направленности в виде гиперболического сектора. Согласно вышеприведенному подходу эффективная площадь, озвучиваемая настенным РО с учетом гиперболической аппроксимации, с учетом ширины диаграммы направленности (ШДН), может быть оценена:

$$S_{\Gamma} = \frac{\text{ШДН}}{360} \pi \cdot \sqrt{(10^{0,2(L_{\text{ДБ}} - \text{УШ} - 15)} - (H - 1,5)^2)}, \quad (2.2.9)$$

где $L_{\text{ДБ}1\text{кГц}}$ – уровень звукового давления, рассчитанный по упрощенной методике для частоты 1 кГц.

Результаты сравнения различных подходов (расчет эффективных площадей, озвучиваемых РО с уровнем звукового давления $P_{\text{ДБ}}=90$ дБА при высоте установки $H=3$ м, для различных уровней шумов) приведены на рисунке 2.8.

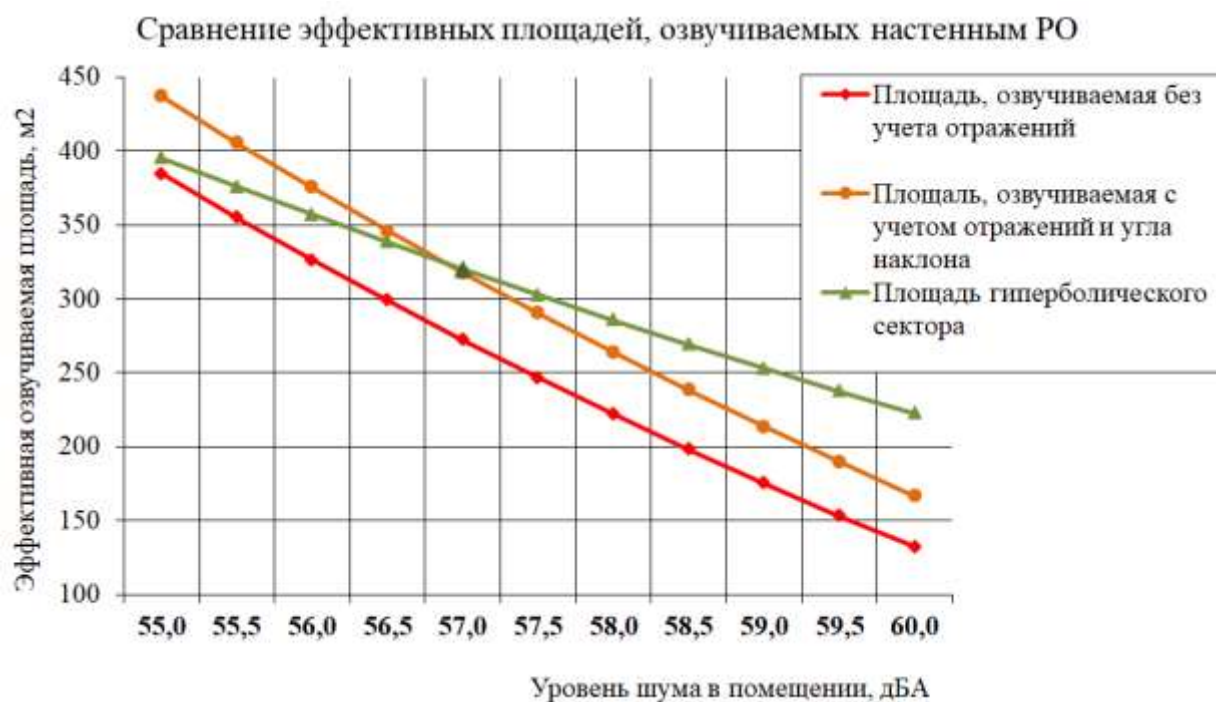


Рисунок 2.8 – Сравнение эффективной площади
в зависимости от выбранного способа расчета

Из рисунка 2.8 видно, что для получения наиболее точной оценки, совпадающей с результатами других исследований, необходимо учитывать отражения. Среднеквадратическое отклонение результата, рассчитанного по предлагаемой методике, с формулой (2.2.9), составило $\sigma = 10,2 \%$, что, с одной стороны много, с другой, в два раза ниже погрешности в оценке шумов. При этом для наиболее распространенного значения уровня шума УШ~57 % результат оценки полностью совпадает, что указывает на возможность использования методик [93, 105] для расстановки РО. Таким образом, для расчета коэффициента эффективности топологии размещения РО по предложенной методике необходимо опираться на следующие положения. Расстановку РО можно выполнить на основе методик, изложенных в [93, 105]. Для наиболее критичных с точки зрения геометрии зон рассчитывается эффективность топологии размещения РО. Первоначально выполняется проверка граничных условий, при выполнении которых выбирается схема расстановки РО. При одиночной расстановке рассчитывается эффективная площадь, озвучиваемая РО.

Анализ полученных результатов. При групповой расстановке первоначально выполняется сама расстановка по любой апробированной методике, затем для каждого РО в предложенной схеме строится эффективная площадь, позволяющая вычислить коэффициент топологической эффективности, а также определить зоны с избыточной концентрацией звукового давления. При значении коэффициента ниже единицы необходимо проанализировать ситуацию и сформировать необходимые рекомендации. В любых топологиях – схемах размещения РО – присутствует две проблемы: недостаток и избыток звуковой энергии. Недостаток звуковой энергии легко устраняется выбором схемы расстановки и выполнением всех граничных и нормативных условий. Избыток звуковой энергии не всегда приводит к желаемому результату. Кроме того, что громкий звук приводит к испугу, он существенным образом может ухудшить качество восприятия, особенно в «сухих» реверберирующих помещениях, приводя к повышению уровня помехи и снижению разборчивости. Поэтому выбор типа, параметров и схем расстановки РО должен сопровождаться оптимизационными расчетами, позволяющими избавиться от ненужной и даже вредной избыточности.

2.3. Выводы по второй главе

1. В результате проведенного исследования выявлена нехватка данных, предоставляемых производителями РО. Предложен способ определения акустических параметров РО: амплитудно-частотных характеристик, частотных коррекций, характеристик направленности, необходимых для выполнения ЭАР. Показано, что при выполнении ЭАР необходимо опираться на реальные параметры и характеристики РО. Установлено, что для учета фактического уровня шума необходим анализ акустической обстановки защищаемого помещения, выявление и учет дополнительных шумовых источников. При наличии источников с уровнями шумовой мощности, сопоставимой с уровнем постоянного шума помещения, предложено скорректировать результирующее

значение шума, при этом необходимо учитывать появление дополнительных критических расчетных точек, в которых также необходим расчет. Установлено, что при сопоставлении результатов расчета, выполненных для различных точек, следует ориентироваться на наихудший случай. Показано, что предложенная методика ЭАР в полной мере учитывает параметры звукового тракта речевой СОУЭ, отражения звуковой энергии. Данные, рассчитанные по данной методике, полностью коррелируют с существующими методиками расстановки РО.

2. В результате анализа нормативных требований к системам оповещения, применяемых в смежных областях, разработан метод определения коэффициента эффективности топологии РО, обобщающий оценку эффективной озвучиваемой площади, состав и количество защищаемого контингента определяющих важность каждого из защищаемых помещений. Для вычисления эффективной площади, озвучиваемой настенным РО, предложен подход, учитывающий реальные параметры РО. Для повышения точности расчета эквивалентного уровня звукового давления предложено учитывать корректировки октавных уровней и характеристики направленности РО.

3. Предложен и теоретически обоснован способ определения слоговой и словесной разборчивости, численное значение которой приведено в требованиях к системам оповещения при ЧС. В качестве методики для расчета речевой разборчивости предложено использовать формантный метод, хорошо согласующийся с предложенным подходом. Заметим, что к недостаткам формантного метода разборчивости относят неполный учет структуры отраженного звукового поля помещения. Однако в предложенном подходе к выполнению ЭАР с учетом ранних отражений данный недостаток вполне компенсирован. Показано, что величину речевой разборчивости можно рассчитать любым доступным методом, однако при отсутствии у инженера-проектировщика достаточного опыта акустического проектирования предложено воспользоваться упрощенной методикой, для которой подготовлен удобный инструментарий.

4. В работе рассмотрены все необходимые положения, позволяющие оценить достоверность речевой информации, передаваемой СОУЭ, направленной на снижение инерционности восприятия, необходимой для обеспечения своевременности эвакуации людей.

ГЛАВА 3. РОЛЬ СИСТЕМ ОПОВЕЩЕНИЯ В ЗАДАЧЕ УПРАВЛЕНИЯ ЭВАКУАЦИЕЙ ЛЮДЕЙ ПРИ ПОЖАРЕ

3.1. Место и значимость СОУЭ при расчете вероятности эвакуации людей при пожаре

В связи с активным ростом строительства высотных зданий и сооружений вопросы обеспечения безопасности находящихся в них людей приобретают все больший масштаб. Системы противопожарной защиты, в состав которых входят системы оповещения и управления эвакуации людей (СОУЭ), на сегодняшний день применяются не только на производствах, в общественных зданиях, но и в жилых помещениях. Расширяющаяся нормативная база, разработка новых методов и технологий требует переосмысления и совершенствования способов решения актуальных, в том числе, новых задач. В связи с непростой обстановкой актуализировалась задача по обеспечению безопасности муниципальных и образовательных учреждений, которые оборудуются системами оповещения об антитеррористической деятельности, для которых разрабатываются отдельные мероприятия и алгоритмы работы. В процесс обеспечения безопасности вовлекается все большее число участников – законодательные, правоохранительные, надзорные органы, квалификация которых в рассматриваемой области требует постоянного совершенствования [78].

Для защиты здания и находящихся в них людей от воздействия угроз техногенного, природного и антропогенного характера разработан ряд мероприятий по профилактике, предотвращению пожара, ограничению его распространения, эвакуации людей в безопасные зоны, спасению имущества и тушению пожара. Согласно статистике [15] большинство пожаров случается по вине человека, поэтому первостепенное значение имеют организационно-разъяснительные и предупредительные мероприятия. Но если пожар все-таки возникает, то для минимизации урона применяются системы коллективной

защиты, активные средства противопожарной защиты, в том числе СОУЭ. Общую организационную структуру защиты зданий и сооружений от воздействий ОФП можно представить следующим образом (рисунок 3.1).



Рисунок 3.1 – Обеспечение противопожарной защиты зданий и сооружений

Общие требования пожарной безопасности (ПБ) к объектам защиты различного назначения установлены в стандарте [10]. В стандарте подчеркнуто, что системы ПБ должны характеризоваться высоким уровнем обеспечения ПБ людей и материальных ценностей, обуславливаться экономическими критериями эффективности этих систем с учетом всех стадий жизненного цикла. Безопасность людей, находящихся в зданиях и сооружениях, начинается с выполнения требований, предъявляемых к самому зданию как инженерно-техническому решению. Здание и сооружение должно обладать требуемыми эксплуатационно-техническими, противопожарными свойствами и решениями, обеспечивающими

эвакуацию и спасение людей. Технические средства должны применяться и соответствовать классификации объекта защиты [4].

Классификация зданий, сооружений и помещений по безопасности включает: классификацию по **пожарной** и **взрывопожарной** опасности (пожарно-технологическую опасность); пожарно-техническую опасность. Пожарно-техническая классификация зданий и сооружений в зависимости от их функционального назначения осуществляется с учетом степени огнестойкости; класса конструктивной пожарной опасности; класса функциональной пожарной опасности. По **функциональной** пожарной опасности все здания различаются в зависимости от назначения, возраста, физического состояния и количества людей, находящихся в зданиях, и делятся на следующие классы: Ф1 – для постоянного или временного проживания людей; Ф2 – зрелищные и культурно-просветительные учреждения; Ф3 – предприятия массового обслуживания населения; Ф4 – учебные заведения; Ф5 – производственные здания.

Защищаемый контингент общественных зданий можно разделить на две группы – посетители и персонал. Если для обученного персонала достаточно минимального светового или звукового сигнала, то для посетителей – пожилых людей в супермаркетах и поликлиниках, посетителей с детьми в торгово-развлекательных центрах как категории людей, не знакомых с путями эвакуации, наиболее эффективными являются организационно технические мероприятия и речевые СОУЭ.

Степень обеспечения безопасности здания, сооружения, пожарных отсеков различных классов функциональной пожарной опасности и находящихся в них людей определяется расчетом пожарных рисков и сравнением их с максимально-допустимыми (нормативными) значениями, определяемыми Техническим регламентом по ПБ. При расчете риска рассматриваются сценарии пожара, при которых реализуются наихудшие условия для обеспечения безопасности людей. В качестве сценариев с наихудшими условиями пожара следует рассматривать сценарии, характеризуемые наиболее затрудненными условиями эвакуации людей и (или) наиболее высокой динамикой нарастания опасных факторов пожара

(ОФП) [13]. Именно для таких ситуаций наиболее эффективны активные средства обнаружения и СОУЭ. Порядок расчета величины ИПР в общественных зданиях для классов функциональной опасности Ф2–Ф4 осуществляется по методике [37]. Общий порядок расчета приведен на рисунке 3.2.



Рисунок 3.2 – Порядок расчета величины индивидуального пожарного риска в зданиях и сооружениях

Расчет величины ИПР включает несколько стадий: анализ здания; определение частоты возникновения и построение полей ОФП; оценка последствий влияния ОФП на человека; анализ состава и структуры СПЗ, находящихся в здании. Численным выражением пожарного риска является расчетная величина, определяемая частотой воздействия ОФП на человека для наихудшего сценария. Расчет эвакуации выполняется для наихудшего сценария (условий обеспечения безопасности людей). Наихудшие сценарии характеризуются наибольшей динамикой нарастания ОФП, наиболее затрудненными условиями эвакуации людей из наиболее удаленных мест для помещений с наибольшим количеством людей. Рассчитанное значение ИПР

сравнивается с максимально допустимым (нормативным) значением, определяемым Техническим регламентом с последующим принятием решения.

Приведем базовые положения методики расчета ИПР [13], необходимые для дальнейшего исследования: 1. Численным выражением ИПР R является частота воздействия ОФП на человека, находящегося в здании. Данная величина не должна превышать нормативного значения (пределов допустимой вероятности воздействия ОФП на отдельного человека в год): $R \leq R_H$, где R_H – нормативное значение индивидуального пожарного риска, $R_H = 10^{-6} \text{ год}^{-1}$. 2. ИПР определяется как максимальное значение пожарного риска R_i , рассмотренного для всех (k) сценариев развития пожара: $R = \max \{ R_1, \dots, R_i, \dots, R_k \}$. Риск в каждом сценарии рассчитывается для каждой j -й группы эвакуирующихся (от 1 до m): $R = \max \{ R_{i1}, \dots, R_{ij}, \dots, R_{im} \}$, где R_{ij} – величина ИПР рассчитанная для j -ой группы, i -го (далее не повторяемся) сценария пожара. 3. Расчетная величина ИПР определяется по следующей формуле:

$$R_{ij} = Q_{\Pi i} \cdot P_{\text{пр}i} \cdot (1 - P_{\text{э}ij}) \cdot (1 - K_{\text{АП}i}) \cdot (1 - K_{\text{ПЗ}ij}), \quad (3.1.1)$$

где $Q_{\Pi i}$ – частота возникновения пожара в здании в течение года;

$P_{\text{пр}}$ – вероятность присутствия людей в здании;

$P_{\text{э}ij}$ – вероятность эвакуации людей (рассчитывается);

$K_{\text{АП}i}$, $K_{\text{ПЗ}ij}$ – коэффициенты, учитывающие соответствие систем АУПТ и СПЗ требованиям НД.

Вероятность присутствия людей определяется как отношение среднего времени присутствия людей в течение суток к 24 часам. Коэффициенты соответствия АУПТ системы требованиям НД согласно методике: $K_{\text{АП}} = 0,9$, при отсутствии в здании систем автоматического пожаротушения $K_{\text{АП}} = 0$. Другими словами, применение АУПТ с коэффициентом соответствия $K_{\text{АП}} = 0,9$ снижает индивидуальный риск в 10 раз. 4. Частота возникновения ОФП для различных типов защищаемых зданий и сооружений приведена в Приложении 3 методики [13]. При отсутствии статистических данных согласно методике допускается

принимать $Q_{\Pi}=4 \cdot 10^{-2}$, которое можно интерпретировать как наихудший случай.

5. Наиважнейшими параметрами, способы расчета которых указаны в методике, являются время блокировки $t_{\text{БЛ}}$ и расчетное время эвакуации людей $t_{\text{Р}}$ из каждой зоны. Эвакуация в здании считается обеспеченной, если люди эвакуируются в безопасную зону (место) раньше, чем ОФП достигнут своего критического значения. Основное условие обеспечения безопасной эвакуации людей, принимаемого в качестве основного критерия безопасности для i -го сценария: $\max_j(t_{\text{Р}ij}) < 0,8t_{\text{БЛ}i}$.

Порядок расчета величины ИПР, а также алгоритм расчета вероятности эвакуации приведены на рисунке 3.3.

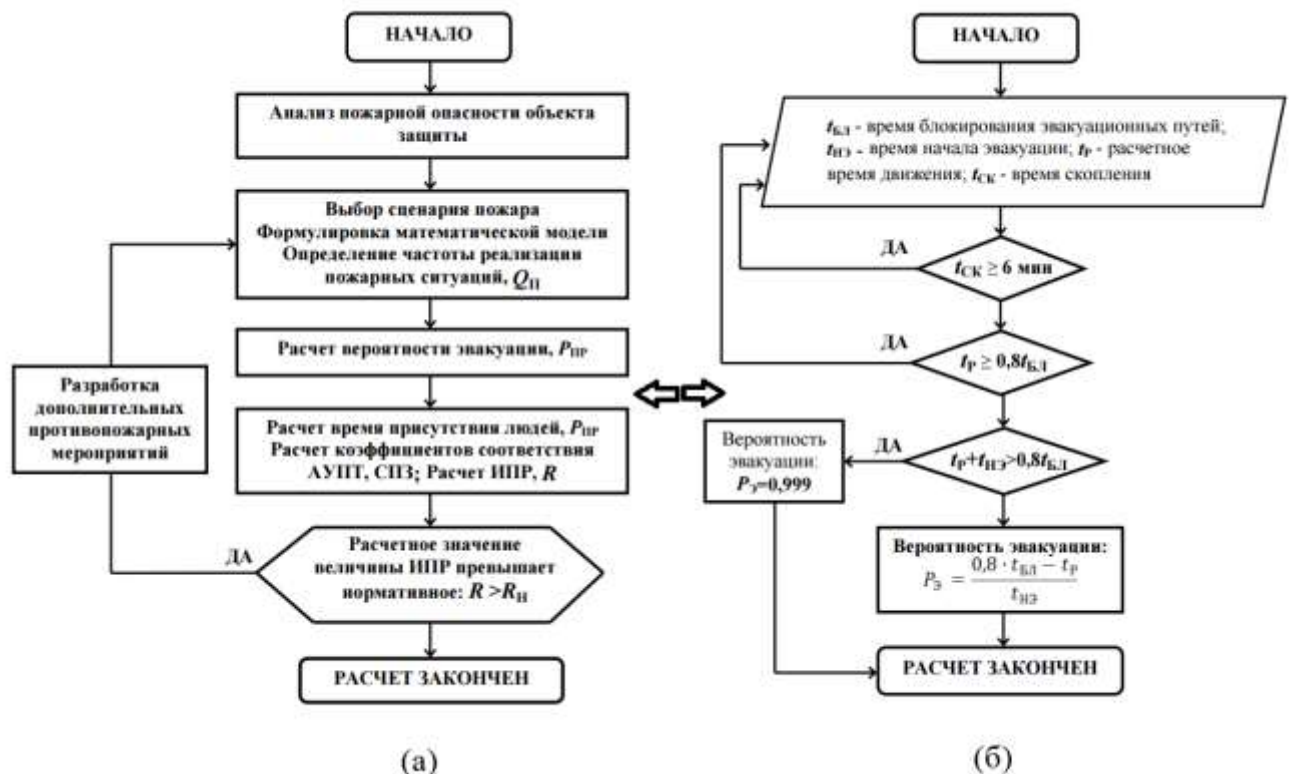


Рисунок 3.3 – а) порядок расчета индивидуального пожарного риска;

б) алгоритм расчета вероятности эвакуации

Пример. Выполним элементарную оценку ИПР при максимальной вероятности эвакуации, $P_{\text{Э}} = 0,999$. В качестве объекта защиты выберем торгово-офисное здание. Согласно таблице ПЗ.1 методики расчета ИПР [13] для зданий розничной торговли $Q_{\text{П}} = 2,03 \cdot 10^{-2}$, $P_{\text{ПЗ}} = 12/24 = 0,5$. Тогда без АУПТ и СПЗ: $K_{\text{АП}} K_{\text{АП}} = 0$, ИПР составит: $R = 2,03 \cdot 10^{-2} \cdot 0,5 \cdot (1 - 0,999) = 10,15 \cdot 10^{-6}$, что в 10 раз выше нормативного значения. Применение АУПТ снижает риск в 10 раз, при этом он все еще больше единицы. Тогда очевидной становится необходимость в применении СПЗ, которая снизит ИПР еще в 7,7 раз.

Этапы эвакуации людей. Процесс эвакуации, предваряемый обнаружением ОФП и активацией СОУЭ, включает стадии, изображенные на рисунке 3.4.

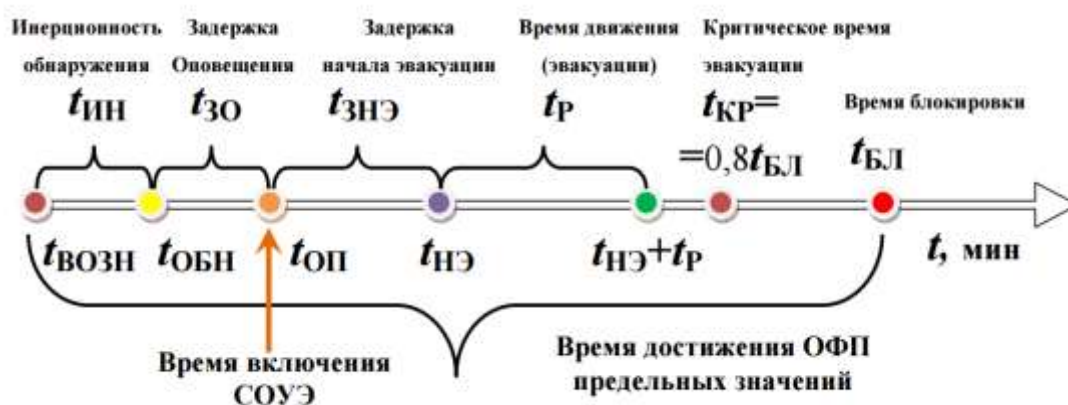


Рисунок 3.4 – Временная диаграмма процесса эвакуации

Временная диаграмма процесса эвакуации включает несколько участков от момента возникновения ОФП, $t_{\text{ВОЗН}}$, до завершения движения последнего человека в безопасную зону. В представленной схеме: $t_{\text{Р}}$ – расчетное время эвакуации (фактическое время движения людей от начала движения до полной эвакуации последнего человека); $t_{\text{ИН}}$ – инерционность обнаружения ОФП; $t_{\text{ОБН}}$ – время фактического обнаружения ОФП системой СПС; $t_{\text{ОП}}$ – время фактического начала оповещения; $t_{\text{ЗНЭ}}$ – время задержки начала эвакуации по тем или иным причинам;

$t_{нэ}$ – время фактического начала эвакуации; $t_{кр}=0,8t_{бл}$ – критическое время, при котором эвакуация становится опасной; $t_{бл}$ – время (блокировки) достижения ОФП предельных значений, при которых эвакуация не возможна. Время от момента возникновения ОФП $t_{возн}$ до момента его обнаружения и подачи сигнала «Пожар» называется инерционностью средств (АУПС/АУПТ): $t_{ин} = t_{обн} - t_{возн}$. Инерционность СПС: $t_{ин} = t_{пор} + t_{ин}^{обн}$, де $t_{пор}$ – пороговое значение срабатывания пожарного извещателя; $t_{ин}^{обн}$ – инерционность системы обнаружения (АУПС или АУПТ). Данные параметры определяются в Приложении П11 нормативной методики [13].

Примечание: для ориентировочных расчетов $t_{ин}$ можно воспользоваться данными из методики расчета риска для производственных помещений [12], согласно которым инерционность (время реакции систем пожарной автоматики) зависит от типов пожарных извещателей (ИП). Для теплового ИП: $t_{ин}$ – от 30 до 180 с; для дымового ИП: $t_{ин}$ – от 5 до 10 с.

Фактическое время эвакуации людей определяется задержкой начала эвакуации и временем движения или расчетным временем. Порядок и способы расчета времени эвакуации изложены в Приложении П5 нормативной методики [13], упрощенная аналитическая модель движения людей в Приложении П6, в Приложении П4 нормативной методики изложен порядок определения задержки эвакуации $t_{нэ1}$, которая для помещения с очагом пожара площадью $F_{пом}$, м² определяется по формуле:

$$t_{нэ1} = 5 + 0,01F_{пом}. \quad (3.1.2)$$

Время задержки эвакуации для помещений, оборудованных СПС и СОУЭ определяется в зависимости от их инерционности:

$$t_{нэ2} = t_{пор} + t_{ин}^{обн} + t_{задерж}^{СОУЭ} + t_{предв}, \quad (3.1.3)$$

где $t_{ин} = t_{пор} + t_{ин}^{обн}$ – инерционность срабатывания (АУПС или АУПТ); $t_{задерж}^{СОУЭ}$ – время задержки оповещения;

$t_{\text{предв}}$ – время предварительных действий, предшествующих началу эвакуации, принимается равным 60 с – для зданий функциональной пожарной опасности Ф1; 30 с – для остальных, для МГН оговаривается отдельно и излагается в виде поэтапных инструкций.

Время задержки оповещения определяется **алгоритмом работы СОУЭ**. При одновременном оповещении $t_{\text{задерж}}^{\text{СОУЭ}} = 0$. Время задержки автоматического (или ручного) включения СОУЭ определяется особенностями ее применения и функционирования, в СОУЭ высоких типов это может быть время проверки на предмет ложного срабатывания, время оповещения дежурного персонала, время подготовки к эвакуации, в том числе, время задержки оповещения, предусмотренное алгоритмом. При отсутствии инерционности СОУЭ: $t_{\text{обн}} = t_{\text{оп}}$.

В методике рекомендован следующий **алгоритм определения задержки начала эвакуации**. Если время задержки начала эвакуации, рассчитанное по формуле (3.1.3), превышает значение, рассчитанное по формуле (3.1.2), то применяется значение (3.1.3): $t_{\text{нэ2}} > t_{\text{нэ1}} \rightarrow t_{\text{нэ2}}$. Если время, рассчитанное по формуле (3.1.3), превышает максимально значение, $t_{\text{нэ3}}$ указанное в Таблице П4.1 методики [13], то используется табличное значение. Краткая формализованная запись:

$$t_{\text{нэ}} \rightarrow (\text{if } (t_{\text{нэ2}} > t_{\text{нэ1}}) \rightarrow t_{\text{нэ2}}, \text{if } (t_{\text{нэ1}} \vee t_{\text{нэ2}}) \rightarrow t_{\text{нэ3}}), \quad (3.1.4)$$

где $\vee$ – логическая операция – «ИЛИ».

Примечание: на наш взгляд, неравенство (3.1.4) – искусственное ограничение, противоречащее основному смыслу понятия «Риск» как вероятности опасного последствия при наихудших условиях. К сожалению, в методику [13] не включен учет типа СОУЭ, присутствующий в методике №382 [11], в существенной мере определяющая вероятность задержки начала эвакуации [132].

Необходимость учета задержки начала эвакуации людей при пожаре. В работах [35–41] показано, что на задержку начала эвакуации существенным образом влияет характер оповещения людей – звуковой, характерный для СОУЭ I,

II типа или речевой, характерный для СОУЭ III–V типа. Понятие «инерционности» как времени реакции системы на воздействующий фактор актуально как для системы, так и для людей. Научные исследования, подтвержденные экспериментальными данными, показали, что посетители на звуковой сигнал реагируют вдвое хуже, чем на речевое сообщение с осмысленным, грамотно разработанным текстом. На рисунке 3.5 приведены основные причины задержки начала эвакуации.



Рисунок 3.5 – Причины задержки начала эвакуации

Причины задержки начала эвакуации можно разделить на субъективные и объективные. К объективным причинам относятся несовершенство НД, несоответствие объекта защиты требованиям НД, неисправность технических средств, иные форс-мажорные обстоятельства. Приведем пример. Согласно статистике [38] наибольшее количество погибших (до 90 %) приходится на низкоэтажные здания (до 9 этажей). Такой процент может быть связан с тем, что согласно действующим нормам системами оповещения СОУЭ оборудуются только здания коридорного типа. Здания секционного типа оборудуются СОУЭ лишь для этажности выше десяти этажей. При этом, даже при наличии СОУЭ, задержка начала эвакуации может достигать больших значений. Упущенное для

эвакуации время становится причиной многочисленных жертв. Исследования причин задержки людей перед началом эвакуации с очевидностью показали, что на задержку эвакуации влияет множество факторов как субъективного, так и объективного характера. К субъективным факторам можно отнести личностные качества, степень подготовленности и ответственности, личную заинтересованность, к объективным – окружающую среду, внешние физические факторы и фактические обстоятельства, например, степень соответствия здания нормам ПБ, слаженность действий персонала. Разнообразие влияющих факторов доказывает, что время начала эвакуации должно нормироваться как случайная величина и только таким образом возможен учет влияния различных причин. Результаты практических исследований [39, 40] подтверждают повод для беспокойства. На рисунке 3.6 приведены результаты практических измерений задержки начала эвакуации при анонсированном и неанонсированном объявлениях о пожаре.

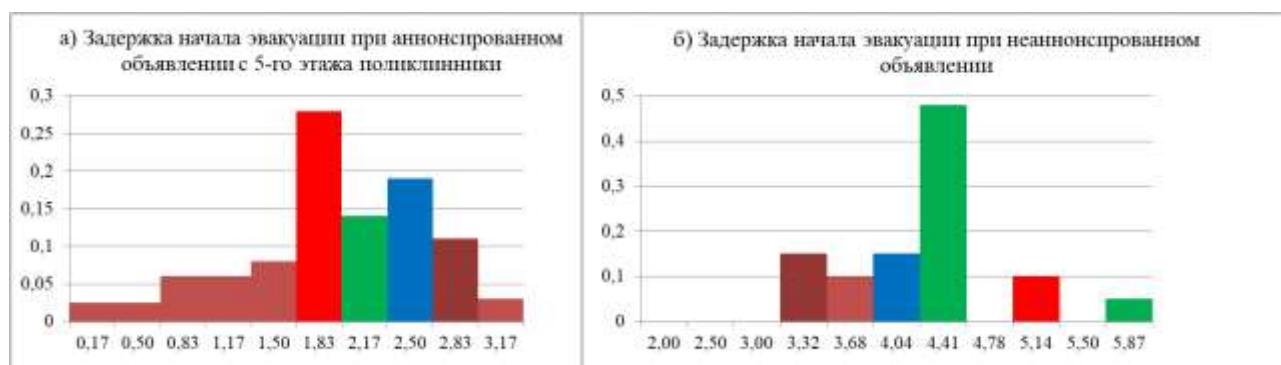


Рисунок 3.6 – Эмпирическое распределение плотности вероятности значений задержки начала эвакуации: а) для поликлиник при анонсированной эвакуации; б) для административных учреждений при неанонсированной эвакуации

При проведении статистических испытаний существенное значение имеет эффект неожиданности, для чего различают анонсированную и неанонсированную эвакуацию. Примечательно, что даже при высокой степени активности персонала

задержки эвакуации оказались существенны. Задержка начала эвакуации как случайная величина была включена в документ МГСН 4.19-2005, согласно которому: $t_{\text{нэ}} = m(t_{\text{нэ}}) \pm 3\sigma(t_{\text{нэ}})$, где $m(t_{\text{нэ}})$ – математическое ожидание случайной величины (среднее значение); $\sigma(t_{\text{нэ}})$ – среднеквадратическое отклонение случайной величины. Данные МГСН практически полностью перешли в методику [11] и долгое время небезосновательно применялись на практике. Так, например, для рисунка 3.6 (б) среднее значение времени задержки составляет: $t_{\text{нэ_ср}}=4,27$ мин с дисперсией $D \sim 0,4$, что вполне согласуется со предыдущим [11] нормативным значением для административных зданий, в которых для СОУЭ 3 типа $t_{\text{нэ}}=3 \pm 1,5$ мин. Обобщим данные МГСН 4.19-2005, методик [11] и [13] (таблица 3.1).

Таблица 3.1 – Максимальные значения ($m(t_{\text{нэ}})$) и $\sigma(t_{\text{нэ}})$ для помещений различного функционального назначения при СОУЭ различных типов

Функциональный тип помещений (характеристики посетителей, жильцов)	СОУЭ III-V		СОУЭ I-II		Нет СОУЭ	
	$m(t_{\text{нэ}})$	$\sigma(t_{\text{нэ}})$	$m(t_{\text{нэ}})$	$\sigma(t_{\text{нэ}})$	$m(t_{\text{нэ}})$	$\sigma(t_{\text{нэ}})$
Здания дошкольных и образовательных организаций	4,0	0,5	6,0	0,5	9,0	0,5
Номера гостиниц. Жильцы могут находиться в состоянии сна и незнакомы со структурой эвакуационных путей и выходов	2,0	0,5	4,0	0,5	6,0	0,5
Магазины, досуговые центры. Посетители находятся в бодрствующем состоянии, но могут быть незнакомы со структурой эвакуационных путей и выходов	1,0	0,5	3,0	0,5	6,0	0,5
Административные, торговые и др. помещения. Посетители находятся в бодрствующем состоянии и хорошо знакомы со структурой эвакуационных путей и выходов	1,0	0,3	3,0	0,5	6,0	0,3

В данной таблице показана разница реакции людей на звуковые сигналы, характерные для СОУЭ I, II типа, и речевые сообщения (СОУЭ III–V типа). Простая интерпретация: осмысленное, убедительно сформулированное речевое сообщение способно ускорить принятие решения о необходимости эвакуации [52]. Таким образом, задержка начала эвакуации (обозначим как t_{304}) складывается из указанных выше задержек, субъективного времени осмысления полученной информации и принятие решения ($t_{3НЭ(суб)}$), времени подготовки к эвакуации (одеться, взять самое необходимое) ($t_{подг}$): $t_{304} = t_{ин} + t_{30} + t_{3НЭ(суб)} + t_{подг}$, где $t_{ин} = t_{пор} + t_{ин}^{обн}$. В отечественных стандартах, а также в зарубежной практике под началом времени оповещения t_{30} понималось совокупность в виде времени действий оператора (включение СОУЭ, приостановка оповещения для выяснения ситуации), времени сигнала привлечения внимания (5–8 с), времени передачи сообщения (15–25 с), плюс возможный повтор на английском. Кроме того, считается [38], что для принятия решения человеку необходимо прослушать сообщение два раза.

Построим линейные зависимости задержки начала эвакуации, воспользовавшись следующими соображениями. Согласно методике [13] максимальное время задержки для зданий (Ф4), где люди находятся в бодрствующем состоянии, не должна превышать 3 мин. Согласно таблице 3.1 для бодрствующей категории людей задержка (для звуковых СОУЭ) может достигать 4 мин. Разность между этим значением и тремя минутами можно интерпретировать как вероятную задержку по субъективным причинам, тогда вполне допустимо построить следующие семейства (рисунок 3.7).

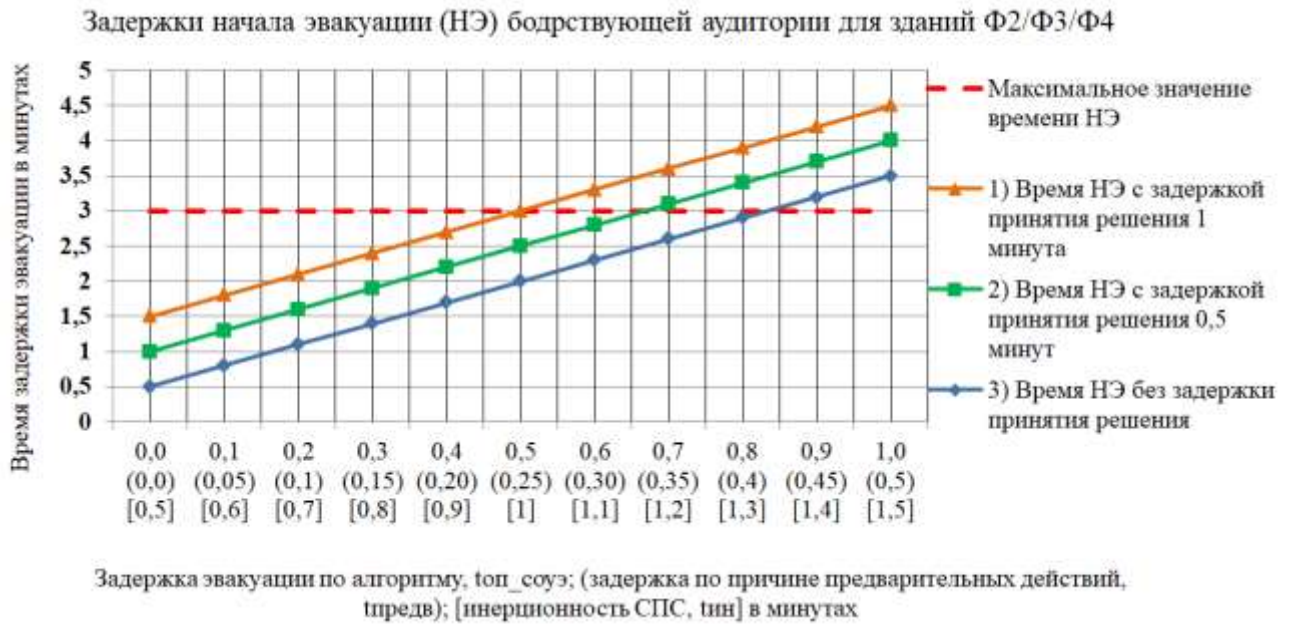


Рисунок 3.7 – Задержки начала эвакуации (НЭ) бодрствующей аудитории
для зданий Ф2/Ф3/Ф4

Данные зависимости построены при времени задержки по алгоритму $t_{\text{задерж}}^{\text{соуэ}}$ – от 0 до 1 мин; времени предварительных действий $t_{\text{предв}}$ – от 0 до 0,5 мин; времени инерционности СПС $t_{\text{ин}}$ – от 0,5 до 1,5 мин.

Из сказанного следует, что если формулу для расчета вероятности эвакуации дополнить субъективной задержкой, то результаты расчета величины ИПР могут существенно измениться.

Вероятность эвакуации людей – одна из наиглавнейших функций, характеризующая степень (вероятность) обеспечения безопасности людей при пожаре. Физический смысл данного параметра наглядно представлен в стандарте [10]: если местом возникновения пожара является зальное помещение, где пожар может быть обнаружен одновременно всеми находящимися в нем людьми, то время задержки начала эвакуации людей допускается принимать равным нулю. В этом случае действия СОУЭ могут быть направлены на минимизацию паники, а вероятность эвакуации людей $P_{\text{э}}$ определяется выполнением условия:

$$P_{\text{э}} = \begin{cases} 0,999, & \text{если } t_{\text{р}} \leq t_{\text{кр}} \\ 0,000, & \text{если } t_{\text{р}} > t_{\text{кр}} \end{cases}$$

Физический смысл данной формулы сводится к следующему. Эвакуация людей в случае явного обнаружения признаков ОФП максимально вероятна. Для случая, когда пожар замечен не всеми, вероятность эвакуации людей определяется следующим образом:

$$P_{эij} = \begin{cases} 0,999 \cdot \frac{0,8 \cdot t_{БЛi} - t_{pij}}{t_{нэij}}, & \text{если } t_{pij} < 0,8 \cdot t_{БЛ} < (t_{pij} + t_{нэij}) \text{ и } t_{скиj} \leq 6 \text{ мин.} \\ 0,999, & \text{если } t_{pij} + t_{нэij} \leq 0,8 \cdot t_{БЛi} \text{ и } t_{скиj} \leq 6 \text{ мин.} \\ 0,000, & \text{если } t_{pij} \geq 0,8 \cdot t_{БЛi} \text{ и } t_{скиj} > 6 \text{ мин.} \end{cases}, \quad (3.1.5)$$

где $t_{скиj}$ – время скопления j -й группы людей при реализации i -го сценария пожара, мин.

Интерпретация данной формулы очевидна. Если люди успевают эвакуироваться в безопасную зону раньше, чем ОФП достигнут предельного значения, эвакуация считается обеспеченной на 99,999 %. При $P_{э} = 0,998$ риск повышается в два раза, поэтому для адекватной оценки ИПР вероятность эвакуации необходимо определять как можно более точно. Можно сказать, что данный параметр является «очень чувствительным».

Несмотря на то, что значение задержки начала эвакуации $t_{нэ}$ согласно методики [13] ограничено, вероятность ее превышения не равна нулю, тогда применение формулы (3.1.3), может сместить границу расчета в область: $t_{pij} < 0,8 \cdot t_{БЛ} < (t_{pij} + t_{305эij})$ и $t_{скиj} \leq 6$ мин, в которой вероятность начинает резко уменьшаться. В работах [78, 132] были построены сравнительные зависимости вероятности эвакуации $P_{э}$ от дополнительной задержки начала эвакуации и показано, что при вероятности задержки по субъективным причинам от 15 с до одной минуты вероятность эвакуации начнет резко снижаться.

Резюмируем вышесказанное. Задержка начала эвакуации, в существенной мере определяющая вероятность эвакуации, обусловлена объективными и субъективными причинами. Задержка эвакуации, определяемая официальной методикой, не учитывает множества субъективных факторов, также определяющих задержку и повышающих величину ИПР. Искусственное ограничение задержки может оказаться препятствием для оценки реального

риска. Проблемным параметром был(о) и остается время осмысления, отличающееся для различных групп (людей) и зависящее от психологического состояния и внешних обстоятельств. Посетителю вначале нужно прослушать сообщение, затем осмыслить его и принять решение. Таким образом, время предварительных действий, как минимум, целесообразно увеличить на время прослушивания сообщения. Задержка по причине предварительных действий может быть дополнена тремя составляющими – временем передачи сообщения, временем осмысления и временем принятия решения посетителями. Поэтому, с учетом времени подготовки, 30-ти нормативных секунд для начала эвакуации недостаточно. При формировании алгоритма работы СОУЭ все эти задержки также должны учитываться. В этой связи необходимо напомнить, что в СОУЭ реализуется полуавтоматический режим [96], в котором оператор имеет возможность приостановить выполнение алгоритма с целью выяснения ситуации, для чего он может воспользоваться как индивидуальными средствами связи, так и техническими средствами обратной связи диспетчерского пункта с зонами оповещения и зоной персонала и после выяснения обстоятельств активировать (продолжить) текущий сценарий оповещения. На основании приведенного суждения можно предложить следующий алгоритм учета влияния субъективной задержки на вероятность эвакуации людей при расчете ИПР: а) если полученная в результате расчетов или исследований общая задержка начала эвакуации превышает 3 мин, проверяется основное условие обеспечения эвакуации с данной задержкой. Если: $t_{rij} + t_{304ij} \leq 0,8 \cdot t_{бли}$, $P_{эij} = 0,999$, эвакуация обеспечивается; б) если $t_{rij} + t_{304ij} > 0,8 \cdot t_{бли}$, то ситуация требует дополнительного исследования.

3.2. Основные методологические подходы к разработке алгоритма работы СОУЭ

На объектах защиты, в которых присутствуют посетители как слабозащищенный контингент, в том числе родители с детьми, старики, инвалиды и маломобильные граждане, при возникновении угрозы пожара необходима их немедленная эвакуация, эффективность которой обеспечивается комплексными организационно-техническими решениями. Посетители, пользующиеся лифтами, как правило, незнакомы с путями эвакуации, могут оказаться в затруднительной ситуации, в которой необходима помощь персонала. Недостаток в персонале компенсируют автоматическими техническими средствами пожарной автоматики (СПА), в том числе СОУЭ. Начиная с четвертого типа, СОУЭ для решения своей основной задачи должна реализовывать несколько вариантов эвакуации из каждой зоны пожарного оповещения, зависящих от места возникновения пожара, схемы распространения ОФП, объемно-планировочных и конструктивных решений здания. Очередность эвакуации из каждой зоны пожарного оповещения разрабатывается в соответствии с планами эвакуации, являющихся основой для разработки «алгоритма оповещения». Мы провели аналогию между возможностью реализацией множества сценариев и алгоритмом (оповещения) неслучайно. Понятие «алгоритм» в готовом виде отражает связи некоторого множества (в нашем случае сценариев) и устанавливает последовательности операций над ними. Применительно к СОУЭ основной смысл, вкладываемый в термин «алгоритм оповещения», сводится к возможности трансляции сообщений в различные зоны оповещения, с рассчитанной заранее или динамически регулируемой (в идеале) задержкой, определяемой для каждой зоны. Характер сообщений, их количество определяется в зависимости от алгоритма обнаружения и разрабатывается отдельно для каждой ситуации. Используя свод правил [6], можно сформулировать одно из возможных определений: **алгоритм оповещения СОУЭ** – последовательность сценариев с заранее рассчитанными и установленными задержками оповещения, разрабатываемых в зависимости от

места обнаружения, условий и динамики распространения пожара. Требование к описанию алгоритма работы можно найти в отечественных стандартах РД [44, 133]. В последнее время обращено пристальное внимание на необходимость обоснования принятых в проектной документации решений, что вполне актуально и закономерно. Так, в частности, постановление [134] указывает на необходимость содержания в текстовой части ПД не только описания и обоснования размещения оборудования, но и алгоритмы работы СПЗ, способы их взаимодействия с инженерными системами, другими техническими системами, работа которых направлена на обеспечение безопасной эвакуации людей, поэтому, согласно требованиям стандарта по проектированию, монтажу и эксплуатации СОУЭ [9], РД должна включать в себя **описание и обоснование алгоритма работы СОУЭ**.

Алгоритм работы должен разрабатываться в соответствии со всеми требованиями НД; содержать описание и обоснование; разрабатываться заранее; алгоритм должен быть изложен в РД; представлен в виде, удобном для выполнения настройки прибора управления в процессе пуско-наладки. Основные подходы к реализации данного требования представлены на рисунке 3.8.

Приведем основные способы реализации данных требований, среди которых выделим: цель создания алгоритма – алгоритм должен обеспечивать безопасную эвакуацию людей в случае пожара; условие выполнения алгоритма – время эвакуации при реализации алгоритма должно быть меньше времени при циркулярном оповещении. Применение алгоритма должно повысить вероятность эвакуации людей, что достижимо при раннем обнаружении ОФП средствами СПС; автоматическом включении СОУЭ (СПД); автоматизированном управлении (мониторинг, корректировка алгоритма, использование средств обратной связи); организационно-техническими мероприятиями (взаимодействием оператора управления с персоналом).



Рисунок 3.8 – Нормативные требования и способы реализации алгоритмов работы СОУЭ

Основные способы реализации нормативных требований Понятие «Алгоритм оповещения» тесно взаимосвязано с «Зональным делением». В рамках решения задачи своевременности и беспрепятственности грамотное зональное деление уменьшает время реакции посетителей, минимизирует плотности людских потоков, следовательно, вероятности столкновения. Грамотная разбивка на зоны оповещения должна в полной мере и во всех деталях учитывать специфику проектируемого здания, повышать гибкость управления во внештатных ситуациях и, тем самым, вероятность эвакуации людей. При увеличивающихся скоплениях людей, а также при повышенной этажности нарастают сложности зонального деления, и даже усилий персонала для обеспечения беспрепятственной эвакуации может оказаться недостаточно. Дополнительная разбивка зон оповещения на подзоны целесообразна в прикладных целях или при должном обосновании и принятии решения о

построении и применении сложного алгоритма оповещения. При решении данной задачи должно быть обеспечено четкое соответствие возможностей выбираемых технических средств объемно-планировочным решениям защищаемого объекта. Для повышения гибкости управления можно увеличить количество зон оповещения. При этом следует учитывать, что в цифро-аналоговых решениях это может привести к удорожанию ТС СОУЭ и стоимости ее обслуживания.

Отправной точкой для разработки алгоритма оповещения является взаимосвязь зон контроля пожарной сигнализации (ЗКПС) или зон обнаружения и зон оповещения. С зонами обнаружения структурно связана СПС. Минимальные данные для разработки алгоритма взаимодействия СПС и СОУЭ содержатся в своде правил [96], согласно которому активация речевой СОУЭ должна осуществляться в автоматическом режиме (по сигналу из любой ЗКПС) по зонам согласно алгоритму. Схема взаимодействия СПС и СОУЭ приведена на рисунке 3.9.



Рисунок 3.9 – Взаимосвязь ЗКПС с зонами оповещения

При обнаружении ОФП системой СПС на выходе прибора контроля и управления (ППКП (ПУ)) формируются выходные управляющие сигналы, которые по линиям связи поступают на вход СОУЭ. Выходные сигналы с номерами 1...m

формируются в соответствии с алгоритмом соответствия входной информации – сигналов из ЗКПС₁...ЗКПС_k, выходным сигналам ЛС₁...ЛС_m, при $k > m$. Способ функционирования СОУЭ в зависимости от входного воздействия также описывается в виде алгоритма. В СОУЭ кроме автоматического реализуется и полуавтоматический режим управления. При автоматическом выполнении алгоритма сценарии могут измениться, в этом случае допускается ручная или полуавтоматическая корректировка алгоритма (работы) посредством органов контроля и управления ППКП УП. Такой режим называется «режимом корректировки алгоритма оповещения» [135].

Примечание. Автоматизированный режим управления до вступления в силу Технического регламента считался основным и предполагал передачу речевых сообщений, трансляцию речевых инструкций при помощи как основных средств, так и активно использующихся систем обратной связи, что в свою очередь, предполагало обязательное присутствие на объекте защиты высококвалифицированного оператора управления СОУЭ. Отсюда и текущее определение СОУЭ в виде комплекса организационных мероприятий и только потом технических средств.

Основные подходы к разработке алгоритма оповещения. Основным критерием принятия решения о необходимости разработки алгоритма оповещения является следующее положение: алгоритм разрабатывается только в том случае, если его применение гарантирует наилучший результат по сравнению с его отсутствием, для чего должно быть выполнено следующее условие:

$$t_{\text{ЭВ_АЛГ}} < t_{\text{ЭВ_Ц}}, \quad (3.2.1)$$

где $t_{\text{ЭВ_АЛГ}}$ – время эвакуации людей при использовании алгоритма;

$t_{\text{ЭВ_Ц}}$ – время эвакуации людей при циркулярном оповещении (без применения алгоритма).

Тогда вводимая задержка оповещения t_{30i} для i -й зоны:

$$t_{30i} < 0,8t_{\text{БЛ}i} - t_{\text{ИН}i} - t_{\text{ЭВ}i} - t_{\text{предв}}. \quad (3.2.2)$$

Рассмотрим основные подходы к разработке алгоритма, для чего обратимся к методике [44], согласно которой помещения здания, где находится персонал, ответственный за эвакуацию, выделяются в самостоятельную зону оповещения. Персонал, весь или частично, оповещается в первую очередь. В (высотных) зданиях высотой более 9 этажей, при эвакуации из которых на лестницах образуются людские потоки плотностью 6 чел./м² и более, люди оповещаются в следующей последовательности: первоначально, без задержки оповещается зона пожара и верхний этаж; затем с задержкой $t_{30}=30-40$ с (или половины времени эвакуации с этажа, на котором возник пожар) два последних этажа; затем оставшиеся верхние этажи; затем нижние этажи. Данная последовательность реализуется для того, чтобы люди смогли покинуть этаж пожара до образования плотных людских потоков на лестницах. Примеры реализации данного и других алгоритмов приведены в таблице 3.2.

Таблица 3.2 – Варианты эвакуации из 10-этажного здания при пожаре на 6 этаже

ВАРИАНТЫ	АЛГ I	ЗАДЕРЖКА I	АЛГ II	АЛГ III	АЛГ IV
ЭТАЖ №10	2	$t_{30} = 0,5$ мин	2	2	3
ЭТАЖ №9	2	$t_{30} = 0,5$ мин	2	2	4
ЭТАЖ №8	2	$t_{30} = 0,5$ мин	2	3	5
ЭТАЖ №7	2	$t_{30} = 0,5$ мин	2	1	2
ЭТАЖ №6	1	$t_{30} = 0$ мин	1	1	1
ЭТАЖ №5	3	$t_{30} = 1$ мин	3	1	6
ЭТАЖ №4	3	$t_{30} = 1$ мин	3	4	7
ЭТАЖ №3	3	$t_{30} = 1$ мин	3	4	8
ЭТАЖ №2	3	$t_{30} = 1$ мин	3	4	9
ЭТАЖ №1	3	$t_{30} = 1$ мин	3	4	9

В первом столбце (АЛГ I) таблицы 3.2 приведен наиболее распространенный трехэтапный вариант эвакуации, многократно апробированный на практике. Во втором столбце приведены минимальные задержки оповещения для первого алгоритма из расчета – 0,5 мин на одну включаемую группу зон. Во третьем столбце (АЛГ II) приведен алгоритм, описанный выше. В четвертом столбце (АЛГ III) приведен вариант, в котором одновременно оповещаются этаж пожара, верхний и нижний этажи, используемый за рубежом. В пятом столбце (АЛГ IV) приведен еще один практический вариант. Алгоритм должен быть составлен для всех случаев (мест обнаружения пожара), для чего используются табличное представление или блок-схема. Представим алгоритм (АЛГ I) в виде блок-схемы (рисунок 3.10).

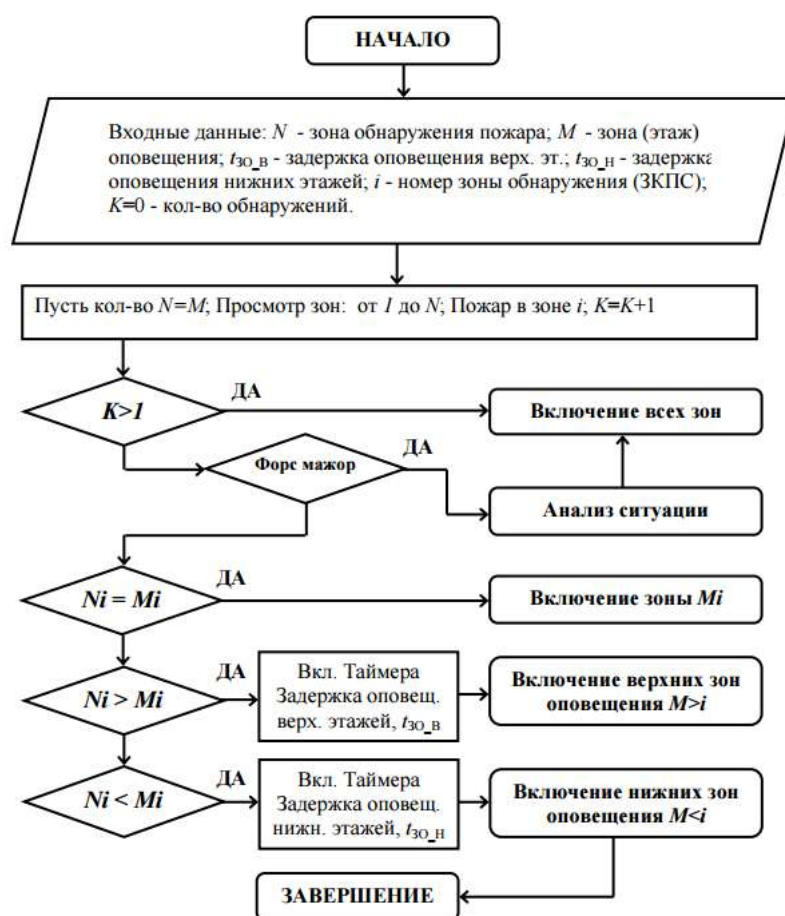


Рисунок 3.10 – Блок-схема трехэтапного алгоритма оповещения для многоэтажного здания

Предложенная блок-схема учитывает все варианты (соответствующие АЛГ I) включения оповещения в зависимости от этажа обнаружения ОФП. Все варианты обнаружения для реализации четырехэтапного алгоритма (АЛГ II) удобно представить в виде таблицы 3.3.

Таблица 3.3 – Последовательность четырехэтапного оповещения в зависимости от места обнаружения пожара на примере 10-этажного здания

ЭТАЖ/ЗКПС	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X
ЭТАЖ №10	2	2	2	2	2	2	2	2	2	1
ЭТАЖ №9	2	2	2	2	2	2	2	2	1	2
ЭТАЖ №8	3	3	3	3	3	3	2	1	3	2
ЭТАЖ №7	3	3	3	3	3	2	1	3	3	2
ЭТАЖ №6	3	3	3	3	2	1	3	3	3	2
ЭТАЖ №5	3	3	3	2	1	4	3	3	3	2
ЭТАЖ №4	3	3	2	1	4	4	3	3	3	2
ЭТАЖ №3	3	2	1	4	4	4	3	3	3	2
ЭТАЖ №2	2	1	4	4	4	4	3	3	3	2
ЭТАЖ №1	1	4	4	4	4	4	3	3	3	2

Более сложной задачей является реализация нескольких сценариев при эвакуации из одной и той же зоны оповещения. Данная задача возникает при наличии в одной зоне, например, на одном этаже, двух и более аварийных выходов, что сопровождается включением в данную зону оповещения минимум двух зон обнаружения ЗКПС. При этом вопрос о количестве зон оповещения становится нетривиальным. Например, при блокировании одного из эвакуационных путей потоки необходимо перенаправить по альтернативному пути. В случае, когда альтернативный путь не единственный, необходимо

выбрать наикратчайший. Если выбранный путь блокируется ОФП, то он уже не является кратчайшим (см. следующую главу).

Общий алгоритм принятия решения о необходимости введения задержек оповещения приведен на рисунке 3.11.

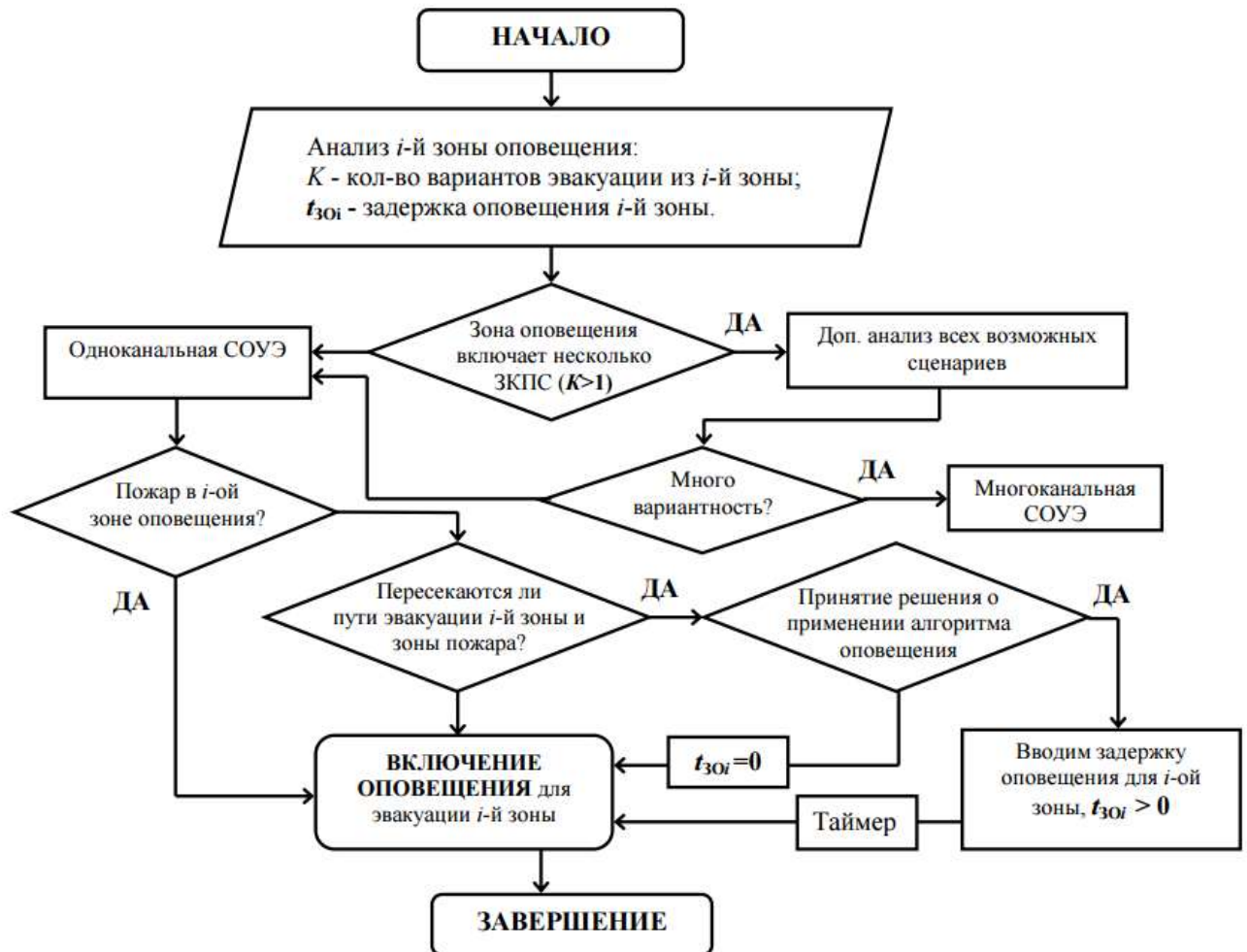


Рисунок 3.11 – Алгоритм принятия решения о необходимости введения задержки для отдельной зоны оповещения

На рисунке 3.11 представлена следующая последовательность: в процессе анализа объемно-планировочных решений объекта защиты осуществляется разбивка на ЗКПС и зоны оповещения (пусть их количество n), анализируется

каждая зона (от 1 до n) в отдельности. Рассмотрим i -ю зону. Если зона оповещения имеет более одного эвакуационного выхода, то такую ситуацию будем считать сложной и требующей дополнительного анализа (разработкой модели принятия решения и выбором между одноканальным или многоканальным решением и т.д.). При одном эвакуационном выходе ситуация упрощается, применяется одноканальная СОУЭ и реализуется следующий алгоритм. Если пожар произошел в рассматриваемой (i -ой) зоне оповещения, то оповещение немедленно включается. Если пожар произошел не в этой зоне, то ситуация разветвляется: если пути эвакуации i -й зоны не пересекаются (не преграждают) с путями эвакуации зоны пожара, то ничто не препятствует включению оповещения и немедленной эвакуации людей из этой зоны. Если эвакуация из данной зоны препятствует эвакуирующимся из зоны пожара, то необходим анализ ситуации на предмет возможности введения задержки оповещения. Если подтвердить эффективность введения задержки не удастся, то принимается решение о немедленном включении оповещения в i -й зоне.

Краткий анализ полученных результатов. Этапы разработки алгоритма работы СОУЭ должны включать аналитическую и практическую часть. В аналитической части исследуется объект защиты, принимается решение о разработке алгоритма работы (оповещения) СОУЭ, осуществляется выбор методологии, проводятся самостоятельные или автоматизированные расчеты на основании существующих методик или практик. Применение автоматизированных программных средств предполагает выполнение расчетно-подготовительных мероприятий, формирование входных данных. Во всех случаях рассматривается возможность разработки организационных мероприятий.

3.3. Основные подходы к возможности численного определения задержек оповещения, необходимых для повышения эффективности алгоритма функционирования СОУЭ

В предыдущей главе мы показали, что алгоритм работы СОУЭ, в общей сложности, включает алгоритм взаимодействия СОУЭ с СПС или СПТ и алгоритм функционирования как последовательности сценариев оповещения с определенными задержками (собственно, алгоритм оповещения). Главной целью разработки алгоритма является сокращение времени эвакуации людей из зоны пожара и, только после этого, сокращение общего времени эвакуации. Критерием для принятия решения о построении алгоритма как последовательной эвакуации в многоэтажном здании является наличие критического скопления людей при следующем условии:

$$\sum P \geq Q_{\text{пл}}, \quad (3.3.1)$$

где $\sum P$ – суммарная составляющая людского потока на i -ом лестничном марше; $Q_{\text{пл}}$ – пропускная способность лестничного марша.

Для проверки данного неравенства выполняются расчеты основных параметров эвакуации для наихудшего случая каждой i -й зоны: времени эвакуации, задержки начала эвакуации, времени скопления, определяющих вероятность эвакуации. Расчет времени эвакуации людей выполняется одним из способов, приведенных в методике [13]. В нашем исследовании используется упрощенная аналитическая модель, опирающаяся на следующие минимально-необходимые данные: размеры зон оповещения; параметры эвакуационных участков (путей); пропускную способность дверей и проемов; количество и состав людей, находящихся в каждой зоне. При возможном слиянии людских потоков рассчитывается время задержки начала эвакуации, время скопления, после чего определяется вероятность эвакуации. Общее время эвакуации определяется суммированием времени движения по каждому участку эвакуационного пути с

учетом всех возможных задержек, в том числе задержки оповещения по алгоритму. Основанием для введения дополнительной задержки эвакуации, обусловленной применением алгоритма, является сокращение времени эвакуации из анализируемой зоны оповещения.

Сформулируем **основные положения**, необходимые для разработки алгоритма оповещения. Согласно [37] реальный движущийся поток с учетом эмпирического факта уплотнения головной части представляется в виде «сигары». Для упрощения его можно представить в виде прямоугольника, длинную сторону l которого можно считать величиной растяжения (растекания) потока. Рассчитаем величину растекания $l_{\Pi ij}$ для самой высокой плотности $D=0,9$: $l_{\Pi} = \frac{N}{0,9 \cdot \delta}$, где N_{ij} – количество людей в движущемся потоке, чел.; δ – ширина прохода, м. Время запаздывания (отставания) тыльной части потока относительно фронта можно определить: $\Delta t_{zij} = \frac{l_{\Pi}}{V_{ДМГН}}$, где $V_{ДМГН}$ – скорость движения МГН. Тогда при растекании потока задержка эвакуации тыльной части t_T увеличится, что объясняется снижением свободы и беспрепятственности движения для тыльной части группы.

Примечание: данные рассуждения характерны для упрощенной модели, поэтому полученные данные необходимо воспринимать как оценочные.

Сформулируем условия недопущения слияния потоков.

Условие №1: тыльная часть эвакуирующегося потока должна подойти к месту слияния раньше, чем первый человек встречного потока (эвакуирующихся с верхнего этажа) достигнет данного места:

$$t_{Tij} \leq t_{Гij+1}, \quad (3.3.2)$$

где t_{Tij} – время достижения тыльной части эвакуирующихся с j -го этажа – места обнаружения ОФП, места слияния (i -го участка);

$t_{Гij+1}$ – время достижения головной части эвакуирующихся с верхнего ($j+1$ -го) этажа, места слияния.

Условие (3.3.2) можно назвать условием неслияния основного потока с верхними этажами. Таким же образом строится критерий неслияния основного потока с эвакуирующимися с нижних этажей. **Условие №2:** тыльная часть эвакуирующегося потока должна подойти к месту слияния (нижнему этажу) раньше, чем головная часть эвакуирующихся с нижнего этажа достигнет данного места:

$$t_{Ti+1j} \leq t_{Gi+1j-1}, \quad (3.3.3)$$

где t_{Ti+1j} – время достижения тыльной части эвакуирующихся с j -го этажа – места обнаружения ОФП, места следующего слияния ($i+1$ -го участка);

$t_{Gi+1j-1}$ – время достижения головной эвакуирующихся с нижнего ($j-1$) этажа места слияния.

Условие (3.3.3) можно назвать условием неслияния основного потока с нижними этажами. Время задержки верхних, $t_{3НЭВj}$ и нижних, $t_{3НЭНj-1}$ этажей можно определить:

$$t_{3НЭВj+1} = \sum_{i=1}^m t_{Tij}; \quad t_{3НЭНj-1} = \sum_{i=1}^n t_{Tij}, \quad (3.3.4)$$

где m – количество расчетных участков до места слияния основного эвакуирующегося потока с верхним этажом;

n – количество расчетных участков до места слияния основного эвакуирующегося потока с нижним этажом, $n > m$.

Выше мы показали, что если пути эвакуации рассматриваемой зоны не преграждают путей эвакуации зоны пожара, то ничто не препятствует немедленной эвакуации людей из этой зоны. Рассмотрим пример и определим условие, при выполнении которого допустима немедленная эвакуация, например, нижних этажей как зон с наибольшей задержкой эвакуации. Очевидно, что если люди с нижних этажей успеют эвакуироваться раньше, чем головная часть потока с этажа пожара достигнет возможного слияния, то основание для их задержки пропадает. Тогда условие введения задержки можно записать следующим образом:

$$t_{Tm} \leq \sum_{k=0}^{j-m-1} t_{\Gamma j-k}, m < j, \quad (3.3.5)$$

где t_{Tm} – время полной эвакуации тыльной части потока с этажа m ;

$\sum_{k=0}^{j-m-1} t_{\Gamma j-k}, m < j$ – время достижения головной части j -го этажа пожара участка слияния с головной частью нижнего этажа (m).

Последовательной проверкой условия (3.3.5) для этажей от первого до $j-2$ -го при $j > 3$ можно установить номера этажей, для которых задержка эвакуации нецелесообразна.

Общий алгоритм расчета времени задержки эвакуации с верхних ($j+1$) и нижних ($j-1$) этажей при обнаружении пожара на нижнем этаже (j) может быть представлен следующим образом:

1. Проведем анализ ПБ здания. Моделирование процесса эвакуации будем осуществлять по упрощенной методике (Приложение 6 методики [13]).

2. С целью определения вероятности эвакуации рассчитаем время эвакуации головного и тыльного потока (последнего человека) для каждой группы, для чего определим параметры – количество и состав эвакуируемого контингента для каждой зоны оповещения. Для удобства расчета данные для групп М0-6 и МГН занесем в таблицу 3.4.

Таблица 3.4 – Параметры людского потока для различного состава эвакуирующегося контингента

Горизонт путь			Проем			Лестница вниз			Ср. площ.
V_0	a	D_0	V_0	a	D_0	V_0	a	D_0	$S_{ср}$
Группа М0-6 – Люди трудоспособного возраста и активные люди пожилого возраста									
69,6	0,385	0,71	72,1	0,318	0,41	61,7	0,394	0,75	0,127
МГН – Люди трудоспособного возраста с поражением опорно-двигательного аппарата)									
44	0,14	0,77	38	0,345	0,57	24	0,422	0,96	0,3

Опираясь на результаты, изложенные в методике [13], рассчитаем среднюю площадь горизонтальной проекции одного человека для неоднородного состава групп М06, МГН (группы М2, М3, М4) применительно к торгово-офисному зданию для i -го участка пути, j -й зоны:

$$f_{CPij} = 0,97f_{M0ij} + 0,03(0,25f_{M2ij} + 0,6f_{M3ij} + 0,15f_{M4ij}), \quad (3.3.6)$$

где f_{M0} , f_{M2} , f_{M3} , f_{M4} – средняя площадь горизонтальной проекции человека из группы М06, М2, М3, М4 соответственно.

С учетом зимнего периода данные площади увеличим на 25 %, тогда: $f_{M0} = 0,16$; $f_{M2} = 0,25$; $f_{M3} = 0,375$; $f_{M4} = 0,5$, $f_{CP19} = 0,17$, $D_{1ij} = 1,08$ чел./м².

3. Рассчитаем интенсивности движений по каждому участку пути для исследуемых зон или этажей.

4. Условие, определяющее необходимость введения задержек, можно записать следующим образом:

$$\sum_{k=j-1}^{k=j+1} q_{i,k} < Q_{Hi}, \quad (3.3.7)$$

где $q_{i,k}$ – интенсивность людского потока на $j-1, j, j+1$ этажах;

Q_{Hi} – максимально-допустимое значение интенсивности движения людей по i -му виду пути.

5. При выполнении условия (3.3.7) задержки эвакуации верхних и нижних этажей не вводятся, выполняется одновременное оповещение всех этажей. Если условие не выполняется, вычисляются задержки оповещения (3.3.4), применяется алгоритм последовательного оповещения. Оформить полученный алгоритм удобнее всего в табличном виде (таблица 3.5).

Таблица 3.5 – Пример оформления алгоритма оповещения 10-этажного здания

НОМЕРА РЕЧЕВЫХ СООБЩЕНИЙ										
ВРЕМЯ ЗАДЕРЖКИ НАЧАЛА ОПОВЕЩЕНИЯ										
ПОСЛЕДОВАТЕЛЬНОСТЬ ВКЛЮЧЕНИЯ ОПОВЕЩЕНИЯ										
ЭТАЖ \ ЗКПС	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X
ЭТАЖ №10	2	2	2	2	2	2	2	2	2	1
ЭТАЖ №9	2	2	2	2	2	2	2	2	1	2
ЭТАЖ №8	2	2	2	2	2	2	2	1	3	2
ЭТАЖ №7	2	2	2	2	2	2	1	3	3	2
ЭТАЖ №6	2	2	2	2	2	1	3	3	3	2
ЭТАЖ №5	2	2	2	2	1	3	3	3	3	2
ЭТАЖ №4	2	2	2	1	3	3	3	3	3	2
ЭТАЖ №3	2	2	1	3	3	3	3	3	3	2
ЭТАЖ №2	2	1	3	3	3	3	3	3	3	2
ЭТАЖ №1	1	3	3	3	3	3	3	3	3	2
ЭТАЖ \ ЗКПС	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X
ЭТАЖ №10	t3HЭВ	t3HЭВ	t3HЭВ	t3HЭВ	t3HЭВ	t3HЭВ	t3HЭВ	t3HЭВ	t3HЭВ	0
ЭТАЖ №9	t3HЭВ	t3HЭВ	t3HЭВ	t3HЭВ	t3HЭВ	t3HЭВ	t3HЭВ	t3HЭВ	0	t3HЭН
ЭТАЖ №8	t3HЭВ	t3HЭВ	t3HЭВ	t3HЭВ	t3HЭВ	t3HЭВ	t3HЭВ	0	t3HЭН	t3HЭН
ЭТАЖ №7	t3HЭВ	t3HЭВ	t3HЭВ	t3HЭВ	t3HЭВ	t3HЭВ	0	t3HЭН	t3HЭН	t3HЭН
ЭТАЖ №6	t3HЭВ	t3HЭВ	t3HЭВ	t3HЭВ	t3HЭВ	0	t3HЭН	t3HЭН	t3HЭН	t3HЭН
ЭТАЖ №5	t3HЭВ	t3HЭВ	t3HЭВ	t3HЭВ	0	t3HЭН	t3HЭН	t3HЭН	t3HЭН	t3HЭН
ЭТАЖ №4	t3HЭВ	t3HЭВ	t3HЭВ	0	t3HЭН	t3HЭН	t3HЭН	t3HЭН	t3HЭН	t3HЭН
ЭТАЖ №3	t3HЭВ	t3HЭВ	0	t3HЭН	t3HЭН	t3HЭН	t3HЭН	t3HЭН	t3HЭН	t3HЭН
ЭТАЖ №2	t3HЭВ	0	t3HЭН	t3HЭН	t3HЭН	t3HЭН	t3HЭН	t3HЭН	t3HЭН	t3HЭН
ЭТАЖ №1	0	t3HЭН	t3HЭН	t3HЭН	t3HЭН	t3HЭН	t3HЭН	t3HЭН	t3HЭН	t3HЭН

Таблица 3.5 наглядна и удобна для анализа, выбора технических средств, программирования алгоритма на стадии пусконаладки. Данную таблицу можно дополнить таблицей соответствия номеров зон обнаружения и оповещения с номерами файлов (заранее записанных или синтезированных речевых текстов).

Приведем пример построения текста для последующей генерации, для чего рассмотрим строчную запись: «внимание, на & i & этаже здания обнаружен пожар», где & – амперсанд, операция склеивания текстовых переменных, i – текст сообщения, при $i = 1$, «первом», при $i = j$ (когда номер ЗКПС равен номеру зоны оповещения), $i =$ «вашем». Расширение таблицы на этом не заканчивается и может быть продолжено соответствием зон обнаружения и выходными управляющими сигналами, алгоритмом включения систем СПДУ, АУПТ и т.д. Данную структуру, формируемую на всех стадиях жизненного цикла СПЗ, можно достраивать. Такая структура (представление), широко используемая в международной практике, получила название «Пожарная матрица» (Fire Matrix) или причинно-следственная матрица [102–104, 136].

Алгоритм Дейкстры. Выбор оптимального, наикратчайшего пути достаточно эффективно решается применением «Алгоритма Дейкстры», алгоритма на взвешенных графах [137]. Взвешенным называется граф с множеством вершин s и узлов S , расстояние до которых было определено. Рассмотрение графа начинается с вершины s , рассмотренные пути добавляются в очередь с приоритетами в зависимости от расстояния. Алгоритм находит кратчайшие пути от одной из вершин s взвешенного графа до всех остальных, для чего создается три массива $a[i]$, $b[i]$, $c[i]$. Массив вершин $a[i]$ первоначально заполняется нулями, $a[i]=0$. В массив $b[i]$ заносятся расстояния (вес пути) от рассматриваемой вершины до вершины с индексом i . В массиве $c[i]$ накапливаются кратчайшие пути. После записи в массив $c[i]$ кратчайшего пути вершина $a[i]=1$ считается рассмотренной, после чего она удаляется из очереди, а следующему узлу присваивается накопленный вес. Данная процедура, называемая ослаблением ребра, продолжается до завершения, пока не будут рассмотрены все вершины и очередь не станет пустой. Оптимальным является наикратчайший путь. Применительно к нашей задаче все пути эвакуации из здания представляем в виде ребер графа. Место возникновения пожара – начальная вершина. Эвакуационные выходы – конечные вершины. Пути эвакуации проходят через вершины (узлы, соединяющие ребра). Вес каждого ребра можно определить

временем эвакуации, однако вес ребра может резко возрасти при блокировании данного пути ОФП. Тогда вес ребра необходимо определять не только временем движения, но и степенью риска. Оптимальным является маршрут с наименьшим суммарным временем движения. При блокировании пути ОФП ему можно присвоить бесконечно большой вес, но такой подход не учитывает варианта, когда все пути окажутся блокированными. Поэтому каждому ребру или отрезку эвакуационного пути можно назначить вес, определяемый временем движения и вероятностью эвакуации:

$$W_{ij} = \frac{1}{P_{\text{Э}ij}} \cdot \sum_{i=1}^m t_{\text{Э}Tij}, \quad (3.3.8)$$

где $\sum_{i=1}^m t_{\text{Э}Tij}$ – суммарное время движения по каждому (от 1 до m) участков пути, мин.

Оптимальным является маршрут с наименьшим весом $\min(W_{ij})$. На рисунке 3.12 представлены примеры маршрутов эвакуации из 10-этажного здания с двумя эвакуационными выходами (Выходы «А» и «Б») при пожаре на 4, 6, 8 этажах.

На рисунке 3.12 представлены следующие варианты: а – пожар в зоне «А» 6-го этажа; б – блокирование лестницы «А» 6-го этажа; в – блокирование лестницы «А» 6-го и лестницы «Б» 7-го этажа; г – пожар в зоне «Б» 8-го этажа, блокирование лестницы «А» 6-го, лестницы «Б» 4-го этажа. Направления эвакуации из каждой зоны обозначены стрелками. Желтым цветом выделены маршруты эвакуации с 10-го этажа. В наиболее сложной ситуации (рисунок 3.12 г) эвакуация из зон «А» и «Б» может осуществляться разными маршрутами, наилучший из которых как раз определяет «Алгоритм Дейкстры».

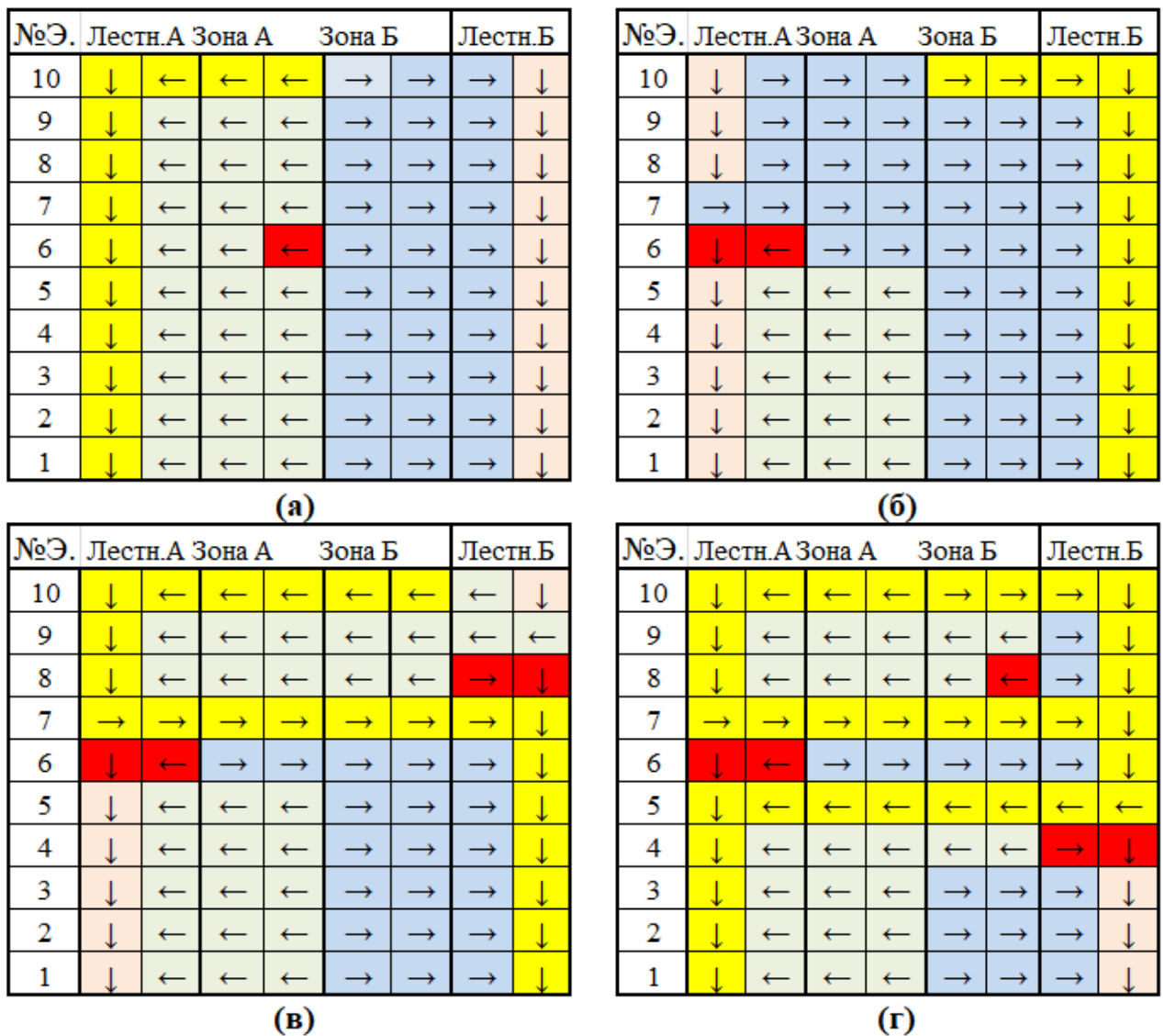


Рисунок 3.12 – Варианты эвакуации

Анализ полученных результатов.

1. Хотелось бы обратить внимание, что современная тенденция полной автоматизации зданий и сооружений требует взвешенного, комбинированного подхода, с одной стороны грамотных и непротиворечивых решений, с другой – дублирования средств автоматики человеческим ресурсом. До настоящего времени сомнение в необходимости оператора управления носит дискурсивный характер, при этом, неэффективность оператора управления не доказана, что в принципе и невозможно, так как здоровье человека не имеет материального эквивалента. Обратный пример можно найти в зарубежных стандартах и в

отечественных исследованиях, согласно которым наиболее эффективное управление СОУЭ достигается комбинированием автоматического и автоматизированного режимов управления.

2. Требование к необходимости разработки и обоснованию алгоритма работы СОУЭ является вполне своевременным и актуальным. Со времени разработки первых методических пособий по проектированию СОУЭ существенного прорыва замечено не было, в то время как область информатики активно развивается/совершенствуется. Для повышения эффективности взаимодействия СПС и СОУЭ на различных этапах жизненного цикла – проектирования, монтажа и пусконаладки – необходима консолидация усилий [138], выработка единых подходов и терминологии. Наиболее перспективным представляется разработка общей единой структуры, называемой «Пожарная матрица», позволяющей абстрагироваться от технологических особенностей, привязки к конкретному оборудованию и производителю. На разных стадиях жизненного цикла СПЗ пожарная матрица может использоваться по своему назначению, дополняться и корректироваться. На стадии проекта вносится общая информация, на стадии составления РД информация детализируется, этап пусконаладки вносит коррективы. На стадии монтажа пожарная матрица может использоваться для составления технологических карт, на стадии эксплуатации – для ведения эксплуатационного журнала, в процессе комплексной проверки работоспособности – для оперативного обнаружения неисправностей и т.д. Примеры можно продолжить, но удобство очевидно: «пожарная матрица» может выступить в роли наглядного и компактного путеводителя по проекту.

3. При относительной простоте реализации алгоритма Дейкстры его ручная реализация весьма затруднительна и потребует автоматизированных (алгоритмизированных) расчетов. При этом даже простое решение упирается в техническую реализацию, в возможности выбираемой системы. В полной мере с данной задачей справится цифровая многоканальная система с маршрутизатором, использующим адресные РО.

3.4. Выводы по третьей главе

1. Реализация нормативных требований ПБ к разработке алгоритма работы СОУЭ направлена на обеспечение беспрепятственности эвакуации людей при пожаре. В официальной методике расчета величины ИПР присутствует параметр – время задержки начала эвакуации людей в результате применения СОУЭ, который должен быть рассчитан и обоснован. В настоящем исследовании предложены и теоретически обоснованы алгоритмы поэтапной эвакуации, а так же метод расчета временных задержек. Основным критерием применения алгоритма как последовательной эвакуации людей при возникновении пожара в многоэтажном здании является наличие критического скопления людей, образующегося при слиянии потоков и позволяющее вычислить численные значения задержек эвакуации, требуемые официальной методикой расчета ИПР.

2. Алгоритм работы СОУЭ предложено рассматривать в виде комбинации алгоритма взаимодействия СПС и СОУЭ, изложенном в СП 484.1311500.2020, с алгоритмом функционирования, который может быть построен на основании рекомендаций, изложенных в СНиП 2.08.02-89. Результат данного комбинирования позволяет построить структуру соответствия входных параметров – информации, поступающей из ЗКПС, выходному результату как последовательности включения и оповещения всех зон.

3. Критерием эффективности алгоритма оповещения как последовательности реализации различных сценариев может служить условие, согласно которому время эвакуации людей из зоны обнаружения пожара в случае применения алгоритма меньше времени эвакуации людей из этой же зоны при одновременном оповещении.

4. В качестве метода для поиска наилучшего маршрута предложен алгоритм Дейкстры как наиболее простой и хорошо адаптируемый к предложенной таблично-матричной структуре данных.

5. Показано, что предложенный результат может быть интегрирован в глобальную структуру данных под общепринятым названием «Пожарная матрица», адаптирован для работы с любыми программными продуктами моделирования процессов движения людей, расчетов пожарных рисков с целью оптимизации принимаемых решений.

ГЛАВА 4. ОСНОВНЫЕ ПОДХОДЫ К ОЦЕНКЕ НАДЕЖНОСТИ И ТЕХНИЧЕСКОЙ ЭФФЕКТИВНОСТИ РЕЧЕВЫХ СОУЭ

4.1. Построение методики оценки технической эффективности СОУЭ

Основой безопасности людей, находящихся в зданиях и сооружениях, является возможность их своевременной и безопасной эвакуации, на обеспечение которой направлены все основные требования Технического регламента по пожарной безопасности [3], согласно которым защита людей и имущества от воздействия ОФП обеспечивается комплексом мероприятий, применением систем противопожарной защиты (СПЗ), в том числе СОУЭ. Для выполнения своих функций СПЗ и СОУЭ должны обладать **надежностью** и устойчивостью к воздействию ОФП в течение времени, необходимого для достижения целей обеспечения ПБ. Основная задача СОУЭ – передача достоверной информации, направленной на обеспечение беспрепятственной эвакуации людей, которая может быть гарантированно выполнена, лишь, надежной (работоспособной и эффективной) системой. Надежность, в совокупности с достоверностью передаваемой информации как раз и определяют работоспособность СОУЭ [9]. К сожалению, НД не предъявляет требований к численным значениям основных надежностных параметров СОУЭ, что затрудняет задачу построения методики расчета ее надежности [139].

Для подтверждения соответствия объекта защиты требованиям ПБ проводится расчет величины индивидуального пожарного риска (ИПР). Численное значение величины ИПР определяется с учетом соответствие систем пожаротушения (СПТ), пожарной сигнализации (СПС), дымоудаления (СПД), систем оповещения (СОУЭ) требованиям НД. Основные мероприятия, способствующие снижению величины ИПР, приведены на рисунке 4.1 [140].



Рисунок 4.1 – Основные мероприятия, способствующие снижению ИПР

Коэффициент соответствия системы пожарной автоматики в методике расчета ИПР [13] представлен в виде параллельного включения систем СПТ и СПЗ, что не является догмой. Коэффициент соответствия СПЗ требованиям НД рассчитывается по определенной (конкретной) формуле, предполагающей детерминированное (конкретное) структурное построение – схему соединения СПС, СПД и СОУЭ, не всегда применяющуюся на практике [141]. Кроме того, каждая из подсистем, в том числе СОУЭ, характеризуется коэффициентом соответствия, принимающим два значения: 80 % при соответствии и 0 % при несоответствии. Значение коэффициента соответствия СОУЭ принимается равным $K_{\text{СОУЭ}} = 0,8$ в следующих случаях: здание оборудовано СОУЭ; оборудование здания системой СОУЭ не требуется в соответствии с требованиями НД; эффективность СОУЭ подтверждена результатами исследований, расчетов или испытаний. В остальных случаях $K_{\text{СОУЭ}} = 0$. Таким образом, нормативные требования и методика [13] допускают возможность самостоятельной оценки эффективности СОУЭ.

Работоспособность и эффективность СОУЭ определяются с учетом всех этапов жизненного цикла системы [9]. Работоспособность является надежностной характеристикой. Согласно [60] вероятность безотказной работы (ВБР) – состояние технических средств, при котором она способна выполнять заданную функцию с параметрами, установленными требованиями технической документации. Таким образом, надежность СОУЭ должна быть определена. В стандарте [7] приведены лишь требования к сроку службы и времени восстановления. Требование к средней наработке на отказ установлено только для РО [8]. К сожалению, данных требований недостаточно для возможности численной оценки основных надежностных параметров, таких как ВБР, коэффициент оперативной готовности. В рамках межведомственной кооперации можно принять во внимание требования к системам оповещения о ЧС [27–30], для которых средняя наработка на отказ составляет 30000 ч; средний срок службы до списания – не менее 12 лет.

Примечание: нормативные требования, базовые принципы и возможные подходы к расчету надежности СОУЭ приведены в Приложении 4 настоящего исследования.

Для оценки качества функционирования сложной многофункциональной, многоуровневой организационно-технической структуры наиболее эффективным является системный подход [144–146]. Эффективность сложных систем определяется и описывается большим числом параметров, из которых методом декомпозиции строятся простые модели надежности. Оценка отдельных качеств происходит в предположении, что другие качества идеальны. В системном подходе с целью принятия оптимальных решений определяют целевые функции (в нашем случае – минимизация ИПР), строят модель, в которой выделяют подуровни, оценивают их эффективности, вычисляют значения обобщенной эффективности, после чего анализируются результаты и принимаются решения. В системных исследованиях принято выделять следующие составляющие: оптимальное проектирование, техническую эффективность, оптимизацию функционально-технического построения, организационные мероприятия.

Примечательно, что общие задачи и принципы системного подхода совпадают с целями и задачами, поставленными стандартом по проектированию, монтажу и эксплуатации СОУЭ [9] (рисунок 4.2).



Рисунок 4.2 – Общесистемный подход к поиску оптимального решения

Основными качествами СОУЭ как сложной системы являются: помехоустойчивость, надежность, сложность, информационность, управление. Сложные системы характеризуются несколькими свойствами: взаимодействие с окружающей средой, стохастичностью поведения, иерархичностью структуры, изменчивостью во времени. Пример иерархичности для СОУЭ – элементы, блоки, техническая система, организационно-техническая структура; пример стохастичности – речевой сигнал, окружающий шум, являющиеся случайными процессами. Оценка эффективности зачастую связана с задачей сравнения существующих систем и выбору лучшей из них по соотношению цена/технические параметры, но такой подход оптимален только для небольшого количества сравниваемых параметров. Для полноценной оценки работоспособности в виде качества функционирования и эффективности сложной

системы как возможности создания выходного эффекта актуально получение численной оценки, полностью характеризующей систему.

Примечание: Точность оценки эффективности технического решения без отдельных параметров недостижима.

Для возможности построения модели оценки технической эффективности СОУЭ выделим следующие подгруппы [145]: информационно-техническую; технико-экономическую; технико-эксплуатационную и технико-организационную (рисунок 4.3).



Рисунок 4.3 – Основные организационно-технические мероприятия, необходимые для поиска оптимального решения применительно к СОУЭ

Каждая группа должна достаточно полно характеризовать систему. Исследование группы информационно-технических параметров связано с задачей оптимального проектирования. Данная группа характеризует возможности СОУЭ как системы передачи информации. Исследование группы технико-экономических параметров связано с оптимизацией функционально-технического решения. Данная группа отражает массогабаритные, энергетические и стоимостные показатели системы. Исследование группы технико-эксплуатационных параметров связано с оптимизацией конструктивного и структурного решения. Данная группа отражает возможность сохранения работоспособности (надежности, устойчивости, долговечности) системы на всем периоде эксплуатации. Исследование организационно-технических (конструктивно-технологических) параметров связано с учетом человеческого фактора, аспекта взаимодействия технических средств с человеком. Конструктивно-технологические параметры отражают перспективность, гибкость, унификацию, эргономику системы. Первые три показателя охватывают внешние параметры и характеризуют систему с точки зрения потребителя (заказчика, эксплуатирующей организации). Четвертая группа характеризует систему с точки зрения обеспеченности внутренних параметров и представляет интересы производителя (проектировщика, продавца). Достаточно простую модель оценки эффективности можно построить путем декомпозиции системы на подсистемы по различным качествам: надежности, функциональности, управляемости и т.д. При декомпозиции необходимо учитывать взаимодействие систем на различных уровнях [59]. Поэтому стандарт [9] вполне обосновано связывает эффективность СОУЭ с этапами жизненного цикла. Взаимосвязь основных групп параметров СОУЭ с соответствующими организационно-техническими решениями представлена на рисунке 4.4.



Рисунок 4.4 – Построение оценки технической эффективности СОУЭ с учетом этапов жизненного цикла

Общий критерий для построения технической эффективности СОУЭ с учетом многостадийности можно сконструировать, привлекая теорию полезности, согласно которой каждому решению может быть поставлено в соответствие некоторое число, характеризующее полезность выполненного действия или принятого решения. Совокупность таких чисел образует функцию полезности, которая тем больше, чем эффективнее решение или действие. Коэффициент эффективности желательно построить таким образом, чтобы он охватил все основные параметры. В этом как раз и состоит суть системного подхода.

Функцию оповещения можно представить в виде результата перемещения информации на определенное расстояние или доставки строго определенного количества информации в определенную точку. Оценка эффективности СОУЭ может быть построена путем композиции целевых функций отдельных функциональных задач с учетом их вклада p_i в общую эффективность:

$$E = \sum_{i=1}^N p_i \cdot F_i(\alpha_{i1}, \dots, \alpha_{ij}), \quad (4.1.1)$$

где F_i – оценка эффективности выполнения i -й функциональной задачи;

p_i – вероятность выполнения i -й функциональной задачи;

α_{ij} – группа параметров, оказывающая влияние на выполнение i -й задачи.

Построение необходимых функциональных зависимостей в общем виде – трудная задача, поэтому на практике используется упрощенное представление (4.1.1) в виде:

$$E_i = \sum_{j=1}^N \omega_j \cdot \alpha_{ij}, \quad (4.1.2)$$

где α_{ij} – безразмерные показатели эффективности i -й системы по j -й группе;

ω_j – коэффициенты важности исследуемого показателя эффективности, определяемые с условием нормировки: $\sum_{j=1}^m \omega_j = 1$.

Показатели α_{ij} можно представить линейными функциями от нормированных безразмерных параметров, тогда лучшей считается система, имеющая более высокий результат по всем показателям.

Основания для построения математической модели технической эффективности содержатся в методике [59], использующей вероятностный программно-целевой подход с применением нормативных показателей надежности элементов, составляющих СОУЭ, функциональный подход и принцип модульной декомпозиции. Согласно [59] вероятность безотказной работы СОУЭ по целевой функции вычисляют по формуле:

$$P(t) = R_{ч0} \cdot \sum_{i=1}^m \beta_i P_{Mi}(t), \quad (4.1.3)$$

где P_{Mi} – вероятность безотказной работы i -го модуля в системе в течение времени эвакуации t ;

β_i – коэффициент важности i -го модуля, определяемый количеством выполняемых операций в их общей совокупности;

$R_{\text{ЧО}}$ – показатель надежности действий ЧО (в предварительных расчетах принимается $R_{\text{ЧО}} = 0,9$).

В общем виде, без учета степени согласованности различных подсистем, техническую эффективность автоматической системы можно представить [58]:

$$P_{\text{ТЭ}}(t) = k \cdot \int_0^T K_{\text{ОГ}}(t) \cdot \varphi(t) dt, \quad (4.1.4)$$

где k – коэффициент, характеризующий степень снижения качества функционирования системы;

$K_{\text{ОГ}}(t)$ – коэффициент оперативной готовности системы;

$\varphi(t)$ – функция плотности распределения времени наступления потребности в автоматической системе на всем периоде эксплуатации (T).

Примечание: способы определения коэффициента оперативной готовности приведены в Приложении 4 настоящего исследования.

С учетом коэффициента согласованности элементов системы техническую эффективность СОУЭ как вероятность выполнения системой своей целевой задачи, с учетом снижения качества функционирования на каждом из этапов жизненного цикла системы, можно представить:

$$P_{\text{ТЭ}}(t) = P_{\text{ОБН}}(t_{\text{ОБН}}) \cdot P_{\text{ОГ}}(t) \cdot R_{\text{П}} \cdot R_{\text{М}} \cdot R_{\text{ЧО}}, \quad (4.1.5)$$

где $P_{\text{ОБН}}(t_{\text{ОБН}})$ – вероятность обнаружения пожара за время работы СПС до момента обнаружения, $t_{\text{ОБН}}$ (далее примем, $P_{\text{ОБН}}(t_{\text{ОБН}}) = 1$);

$R_{\text{П}}$ – надежность проектирования; $R_{\text{М}}$ – надежность монтажа.

Под качеством проектирования будем понимать вероятность выполнения системой поставленной задачи. Для численной оценки можно использовать коэффициент, учитывающий точность электроакустических расчетов, качество функционирования (с учетом выполнения алгоритма). Под качеством монтажа будем понимать коэффициент, учитывающий степень согласованности отдельных элементов системы.

Примечание: согласно [58] отказы, возникающие за счет некачественного монтажа (крепления в клеммниках, пайки, сращивания), могут достигать 15 %, тогда: $R_M = 0,85$.

При оценке надежности СОУЭ необходимо учитывать не только технические, но и функциональные и конструктивные особенности технических средств, обусловленные различными этапами. Функциональное построение определяет сложность, а значит и надежность системы. Функциональную надежность системы представляют в виде:

$$P_{\Phi}(t) = P_{\text{АП}}(t) \cdot K_{\text{Ж}}, \quad (4.1.6)$$

где $P_{\text{АП}}(t)$ – аппаратная надежность системы в течение срока эксплуатации;

$K_{\text{Ж}}$ – коэффициент живучести системы, $K_{\text{Ж}} < 1$.

В качестве коэффициента живучести стандарт [60] рекомендует использовать коэффициент сохранения эффективности: $K_{\text{Ж}} = K_{\text{СЭФ}} = \frac{E}{E_0}$, где E – показатель эффективности использования системы по назначению за определенную продолжительность эксплуатации; E_0 – номинальное значение показателя эффективности системы, вычисленное при условии, что отказы в системе в течение продолжительной эксплуатации не возникают. Учитывая способ определения коэффициентов соответствия, используемый в методике расчета ИПР, показатель функциональной эффективности необходимо ограничить и при $0,8 \leq K_{\text{Ж}} < 1$. Другими словами, работоспособность системы не должна снизиться ниже 80 % на всем периоде эксплуатации: $P_{\Phi}(t) \geq \frac{80}{K_{\text{Ж}}} \%$.

Если надежности $R_{\text{П}}$, $R_{\text{ЧО}}$, $R_{\text{М}}$ интерпретировать как коэффициенты снижения эффективности СОУЭ, то это дает нам право ввести еще два параметра, заменив $R_{\text{ЧО}}$ на $K_{\text{У}}$ – параметр, оценивающий качество управления, а $K_{\text{Ж}}$ на $K_{\text{Э}}$ – параметр, оценивающий качество эксплуатации. Тогда коэффициент технической эффективности СОУЭ (при замене вероятностных параметров в формуле (4.1.5) безусловными коэффициентами) можно представить:

$$P_{ТЭ}(t) = P_{ОГ}(t) \cdot K_{П} \cdot K_{М} \cdot K_{У} \cdot K_{Э}, \quad (4.1.7)$$

где $K_{П}$ – коэффициент, учитывающий качество проектирования;

$K_{М}$ – коэффициент, учитывающий качество монтажа;

$K_{У}$ – коэффициент, учитывающий качество управления;

$K_{Э}$ – коэффициент, учитывающий качество эксплуатации.

Таким образом, техническая эффективность приобретает физический смысл в виде коэффициента сохранения работоспособности на всем протяжении срока службы. С учетом неравнозначности влияния каждого из этапов на качество функционирования (на снижение эффективности) необходимо ввести весовые коэффициенты. Тогда, техническую эффективность СОУЭ можно представить в виде обобщенного полинома (позинома), достаточно полно отвечающего предложенной концепции:

$$P_{ТЭ}(t) = P_{ОГ}(t) \cdot \prod_{i=1}^n ((1 - r_i)^{\omega_i})^w, \quad (4.1.8)$$

где n – количество используемых показателей;

r_i – коэффициенты снижения технической эффективности системы на различных этапах жизненного цикла, от i -го воздействия (фактора);

ω_i – коэффициенты, характеризующие вес (важность, значимость) этапа жизненного цикла, $\sum_{i=1}^N \omega_i = 1$;

w – нормирующий коэффициент: $w = \max(\omega_i)$.

С учетом (4.1.7) формулу (4.1.8) можно записать в следующем виде:

$$P_{ТЭ} = P_{ОГ}(t) \cdot (K_{П}^{\omega_{П}} \cdot K_{М}^{\omega_{М}} \cdot K_{У}^{\omega_{У}} \cdot K_{Э}^{\omega_{Э}})^w, \quad (4.1.9)$$

где $\omega_{П}$ – коэффициент значимости этапа проектирования;

$\omega_{М}$ – коэффициент значимости этапа монтажа;

$\omega_{У}$ – коэффициент значимости этапа управления;

$\omega_{Э}$ – коэффициент значимости этапа эксплуатации.

С учетом назначения речевой СОУЭ как системы передачи достоверной информации коэффициент, определяющий (обобщающий) качество проектирования, можно представить в виде произведения безразмерного коэффициента топологической эффективности (определен во второй главе настоящего исследования) $K_{ЭТ_Р0}$ и вероятности эвакуации, $P_Э$:

$$K_{\Pi} = K_{ЭТ_Р0} \cdot P_Э. \quad (4.1.10)$$

Примечание: следует учесть, что при использовании формулы (4.1.9) в качестве безразмерного коэффициента, характеризующего работоспособность СОУЭ при расчете величины ИПР, вероятность эвакуации в формуле (4.1.10) не учитывается: $P_Э = 1$.

Весовые коэффициенты ω_i зависят от множества факторов и устанавливаются с позиций значимости как заказчика, так и проектировщика; могут быть определены методами математической статистики или методом экспертных оценок, используемого для подтверждения показателей надежности. Сбор информации осуществляется на основании данных эксплуатации как объектов исследования, так и аналогичных объектов. Статистический подход является единственным способом получения первоначальной оценки показателей безотказности и называется «принципом подобия» [61], однако этот подход часто затруднителен в связи с недоступностью данных. К недостатку предложенного подхода для любой оценки эффективности следует отнести долю субъективизма, исключить который полностью не представляется возможным, однако можно потребовать свести его к минимуму. Одним из способов минимизации субъективности является метод коллективного экспертного опроса, основанный на мнении достаточного большого числа компетентных экспертов. Результаты экспертного опроса приведены в 5 главе настоящего исследования.

Анализ полученных результатов. Для обеспечения требований НД к обеспечению надежности и устойчивости СОУЭ предлагается использовать методику РНД-70-16-90, позволяющую определить вероятность безотказной работы за определенный интервал времени, в предположении экспоненциального

распределения отказов. Для определения коэффициента оперативной готовности СОУЭ как восстанавливаемой системы предложено использовать марковские модели и учитывать реальные значения времени восстановления и времени обслуживания СОУЭ. Расчет основных надежностных параметров позволяет перейти к оценке технической эффективности, в качестве которой предложено использовать оперативную готовность системы с учетом согласованности всех входящих в нее компонентов и вероятности выполнения системой своей основной задачи. Оценить качество выполнения основной задачи для СОУЭ предлагается с использованием коэффициента эффективности топологии РО. Техническая эффективность в полной мере раскрывает понятие работоспособности. Как техническая, так и функциональная эффективность зависят от надежности системы. Комбинирование технической эффективности, определяемой оперативной готовностью, с коэффициентом связности, коэффициентом сохранения эффективности и коэффициентом, характеризующим качество проектирования в общую функциональную характеристику, открывает широкие перспективы для дальнейшего исследования.

4.2. Оценка эффективности систем противопожарной защиты при расчете величины индивидуального пожарного риска в зданиях и сооружениях

На сегодняшний день в качестве основополагающего принципа применяется «риск-ориентированный подход», направленный на снижение пожарного риска. При расчете величины ИПР в общественных зданиях учитывается ряд параметров, в том числе коэффициент соответствия СПЗ, СОУЭ требованиям НД, однако ни один из этих безусловных, формально определяемых коэффициентов не рассчитывается, предполагая всего два значения: соответствует (80 %) и не соответствует (0 %). Такой подход не вполне правомерен. Такое огрубление обесценивает высокоточные расчеты времени блокировки и эвакуации. Еще одним недостатком методики является некорректный учет структурного построения СПЗ. Каждая из приведенных неточностей и не

корректностей приводит к накоплению ошибки в расчетах величины ИПР. В предыдущей главе был приведен альтернативный способ расчета коэффициента соответствия для СОУЭ. В этой главе будут рассмотрены основные подходы к определению структурной надежности СПТ и СПЗ.

Статистические данные о работоспособности СОУЭ. В ежегодных статистических сборниках [14–22] приведен анализ работоспособности СПЗ. К сожалению, в сборнике за 2022 г. [23] такой статистики уже нет, поэтому мы воспользуемся ценной информацией, предоставленной за период с 2013 по 2021 г. и позволяющей оценить работоспособность и эффективность каждой из подсистем СПЗ – систем пожарной сигнализации (СПС); систем дымоудаления (СПД) и СОУЭ (таблица 4.1).

Таблица 4.1 – Статистика работоспособности СПЗ в период 2013–2021 гг.

СПЗ	Событие/Задача	СЗВ	СЗН	НСР	НВКЛ	ВСЕГО
С	Количество пожаров	9685,0	0,0	1452,0	502,0	11639,0
П	Погибло	272,0	0,0	110,0	30,0	412,0
С	Травмировано	781,0	0,0	196,0	30,0	1007,0
	Надежность		1,00	0,88	0,96	0,83
С	Кол-во пожаров	1329,0	43,0	362,0	89,0	1823,0
П	Погибло	92,0	1,0	33,0	7,0	133,0
Д	Травмировано	214,0	10,0	63,0	4,0	291,0
	Надежность		0,98	0,80	0,95	0,73
С	Кол-во пожаров	1785,0	27,0	182,0	69,0	2063,0
О	Погибло	71,0	4,0	6,0	2,0	83,0
У	Травмировано	129,0	19,0	8,0	1,0	157,0
Э	Надежность		0,99	0,91	0,97	0,87

Сокращения в таблице 4.1: СЗВ – система сработала и задачу выполнила; СЗН – система сработала, но задачу не выполнила; НСР – система не сработала и задачу не выполнила; НВКЛ – система не была включена.

Работоспособность (надежность) СПЗ в таблице 4.1 определена статистически как отношение всех работоспособных состояний к общему количеству всех зафиксированных случаев (рисунок 4.5).

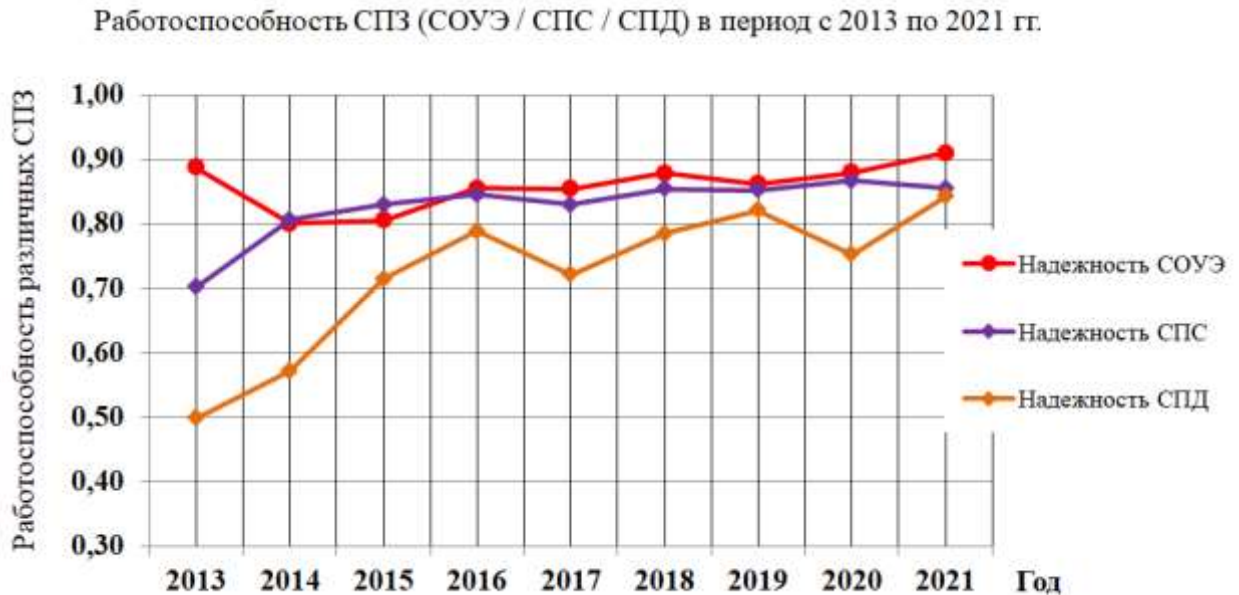


Рисунок 4.5 – Надежность СПЗ в период с 2013 по 2020 г.

Из графика видно, что при некоторой тенденции к повышению надежность СПЗ остается на недостаточном уровне.

Коэффициент соответствия СПЗ требованиям НД по ПБ, используемый в методике [13], на сегодняшний день не получил однозначной интерпретации. Более содержательным аналогом данного коэффициента является параметр, используемый в методике расчета пожарного риска на производственных объектах [12], в котором определяется условная **вероятность** поражения человека при его нахождении в i -ом помещении при реализации j -го сценария пожара: $Q = (1 - P_{\text{э}}) \cdot (1 - R)$, где $P_{\text{э}}$ – вероятность эвакуации людей, находящихся в помещении; R – **вероятность** эффективной работы ТС по обеспечению безопасности людей в данном помещении. Согласно этой же методике вероятность одновременной работы нескольких систем определяется эффективностью каждого технического решения: $R = 1 - \prod_{i=1}^n (1 - R_i)$, где n – число технических решений противопожарной защиты в здании;

R_i – вероятность эффективного срабатывания i -го технического решения. В надежностном смысле данная формула представляет собой параллельное соединение технических решений. Согласно методике [13] риск снижается применением систем пожаротушения (СПТ) и СПЗ. Коэффициент соответствия СПЗ требованиям НД по ПБ определяется по формуле:

$$K_{СПЗ} = 1 - (1 - K_{СПС} \cdot K_{СОУЭ}) \cdot (1 - K_{СПС} \cdot K_{СПД}), \quad (4.2.1)$$

где $K_{СПС}, K_{СПД}, K_{СОУЭ}$ – коэффициенты соответствия систем СПС, СПД, СОУЭ требованиям НД по ПБ.

Значение параметров $K_{СПС}, K_{СПД}, K_{СОУЭ}$ принимается равным 0,8 в случае, если выполняется хотя бы одно из следующих условий: здание оборудовано системой, соответствующей требованиям НД по ПБ; здание не требует применения данного оборудования, что подтверждено требованиями НД; эффективность систем подтверждена результатами исследований, расчетов или испытаний, подтверждающих обеспечение ПБ объекта защиты. В остальных случаях коэффициенты соответствия принимаются равными нулю. Выше был поставлен вопрос о правомерности применения именно этих формул. Дело в том, что на практике используются различные структурные построения, при этом структура, которой соответствует формула (4.2.1), практически не применяется. Рассмотрим некоторые структурные схемы, применяемые на практике (рисунок 4.6).

На рисунке 4.6 а изображена структурная схема взаимодействия системы СПТ с СПЗ, предлагаемая методикой №1140 (соответствующая формуле (4.2.1)). Наиболее распространенное решение, применяемое на практике и полностью соответствующее своду правил [96], приведено на рисунке 4.6 б, в котором СОУЭ и СПД активируются как от СПС, так и СПТ. Возможны и более сложные схемы срабатывания систем [141]. Схеме (рисунок 4.6 б) может соответствовать ситуация, когда, например, спринклерная СПТ срабатывает самостоятельно, а СПД и СОУЭ запускаются (срабатывают) по сигналу от СПС. Достаточно

распространенной является схема (рисунок 4.6 в), в которой СПС запускает сразу три системы – СПТ, СПД и СОУЭ. На практике встречаются и более сложные ситуации, в которых срабатывание отдельных подсистем может быть как самостоятельным, так и комбинированным, сигнал о пожаре может поступить как от СПС при возникновении задымления в помещении, так и от СПТ при повышении температуры и срабатывании спринклера.

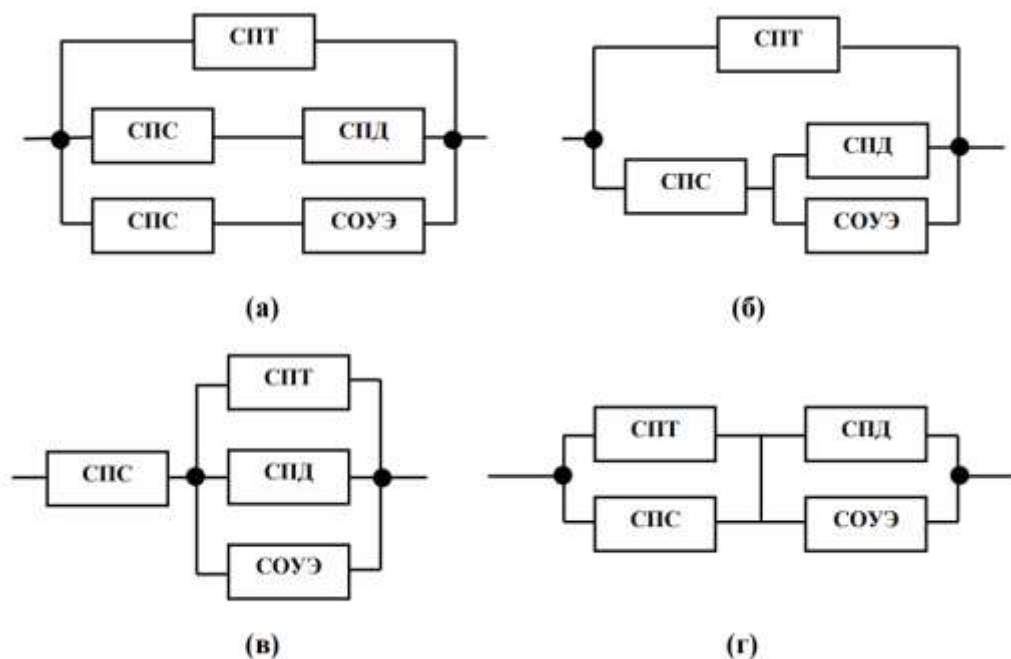


Рисунок 4.6 – Примеры упрощенных структурных схем взаимодействия систем СПТ и СПЗ

Приведем формулы для расчета структурной надежности для схем (рисунок 4.6 а, рисунок 4.6 б, рисунок 4.6 в):

$$P_A = 1 - (1 - K_{СПТ}) \cdot [1 - (1 - K_{СПС} \cdot K_{СОУЭ}) \cdot (1 - K_{СПС} \cdot K_{СПД})]; \quad (4.2.2)$$

$$P_B = 1 - (1 - K_{СПТ}) \cdot [1 - K_{СПС} \cdot (1 - (1 - K_{СПД}) \cdot (1 - K_{СОУЭ}))]; \quad (4.2.3)$$

$$P_B = K_{СПС} \cdot [1 - (1 - K_{СПТ}) \cdot (1 - K_{СПД}) \cdot (1 - K_{СОУЭ})]. \quad (4.2.4)$$

Для расчета надежности схемы (рисунок 4.6 г) перейдем к вероятностной трактовке коэффициентов соответствия и построим логико-вероятностную модель, в которой отметим все работоспособные (P) и неработоспособные ($Q=1-P$) состояния системы (таблица 4.2).

Таблица 4.2 – Логико-вероятностная модель для различных структурных построений СПЗ

СПТ	СПС	СПД	СОУЭ
P_1	P_2	P_3	P_4
1	1	1	1
1	1	1	0
1	1	0	1
1	0	1	1
1	0	1	0
1	0	0	1
0	1	1	1
0	1	1	0
0	1	0	1

В таблице 4.2 для удобства восприятия применены следующие обозначения: P_1 – вероятность эффективного срабатывания СПТ; P_2 – вероятность эффективного срабатывания СПС; P_3 – вероятность эффективного срабатывания СПД; P_4 – вероятность эффективного СОУЭ. Операцией последовательного перемножения строк и сложения столбцов получим итоговую надежность СПЗ:

$$P_{\Gamma} = P_1 P_2 P_3 P_4 + P_1 P_2 P_3 Q_4 + P_1 P_2 Q_3 P_4 + P_1 Q_2 P_3 P_4 + P_1 Q_2 P_3 Q_4 + P_1 Q_2 Q_3 P_4 + Q_1 P_2 P_3 P_4 + Q_1 P_2 P_3 Q_4 + Q_1 P_2 Q_3 P_4. \quad (4.2.5)$$

Используя статистические данные ВНИИПО для рассматриваемых систем (рисунок 4.6), построим зависимости работоспособности для предложенных структурных построений (рисунок 4.7).



Рисунок 4.7 – Работоспособность различных структурных построений СПЗ в соответствии со статистическими данными в период с 2013 по 2020 г.

Примечание: данные зависимости построены с учетом нормативного значения коэффициента соответствия СПТ: $P_1 = P_{СПТ} = 0,9$.

Из графика (рисунок 4.7) видно, что значения надежности структурного построения (рисунок 4.6 а) и наиболее распространенного построения (рисунок 4.6 б) практически совпадают. Это легко объяснимо двумя причинами – высокой надежностью (и одновременно) структурной значимостью СПТ. Наихудший показатель имеет схема (рисунок 4.5 в), но следует заметить, что при других соотношениях надежностей подсистем, например, высокой надежности СПС и низкой надежности СПТ, ситуация может измениться, из чего следует необходимость учета не только структурного построения СПЗ, но и структурной значимости отдельной подсистемы.

Структурную значимость подсистемы можно определить как результат дифференцирования выражения аналитической зависимости вероятности безотказной работы подсистемы [57]: $B_c \left(\frac{i}{P} \right) = \frac{\partial P_{СПЗ}}{\partial P_i}$, где P_i – работоспособность i -ой подсистемы. Сравнивая структурную значимость СОУЭ в представленных схемах, можно заметить, что она определяется не собственной надежностью,

а надежностью взаимодействующей с ней подсистемы. Проведем сравнение эффективности предложенных структурных построений по целевой функции, для чего рассчитаем величину ИПР (4.2.2). Расчет проведем для следующих фиксированных показателей: вероятность возникновения пожара, $Q_{\text{п}} = 0,0293$; вероятность эвакуации (для двух значений), $P_{\text{э}} = 0,999/0,998$; вероятность присутствия людей (высокую), $P_{\text{пр}} = 18/24 = 0,75$; коэффициент соответствия (вероятность эффективного срабатывания СПТ), $K_{\text{СПТ}} = 0,9$; коэффициент соответствия (вероятность эффективного срабатывания СПС, СПД, СОУЭ), $K_{\text{СПС}} = K_{\text{СПД}} = K_{\text{СОУЭ}} = 0,8$ (рисунок 4.8).



Рисунок 4.8 – Расчетная величина ИПР ($Q \times 10^{-6}$)

в зависимости от работоспособности СПЗ по статистическим данным за период с 2013 по 2021 г.

Из графика (рисунок 4.8) следует, что для одних и тех же параметров надежности подсистем, но различных структурных построений риск может либо обеспечиваться, либо нет, из чего явственно следует необходимость учета реального, а не номинального структурного построения СПЗ. При возможности изменения (повышения) работоспособности СОУЭ можно управлять

эффективностью всей системы СПЗ. Нетрудно построить граничное условие для работоспособности СПЗ, обеспечивающей нормативное требование, $Q < 10^{-6}$. Из формулы для расчета ИПР (3.1.1) при $K_{СПТ} = 0,9$:

$$K_{СПЗ} > 1 - \frac{10^{-5}}{Q_{П} \cdot P_{ПР} \cdot (1 - P_{Э})}. \quad (4.2.6)$$

Данное неравенство актуально при $Q_{П} \cdot P_{ПР} \cdot (1 - P_{Э}) > 10^{-5}$.

Приведем пример: при $Q_{П} = 0,04, P_{ПР} = 0,8, P_{Э} = 0,999, K_{СПТ} = 0,9, R = 3,2 \cdot 10^{-6}$ ИПР превышает нормативное значение, поэтому требуется применение СПЗ с надежностью не менее 70 %. Информация о структурном построении позволяет оптимизировать работоспособность всей СПЗ работоспособностью отдельной подсистемы. Запишем критерий для определения работоспособности СОУЭ для структурного построения (рисунок 4.6 А, рисунок 4.6 Б, рисунок 4.6 В):

$$K_{СОУЭ_А} > \frac{1 - \frac{10^{-5}}{Q_{П} \cdot P_{ПР} \cdot (1 - P_{Э})} - K_{СПС} \cdot K_{СПД}}{K_{СПС} \cdot (1 - K_{СПС} \cdot K_{СПД})}; \quad (4.2.7)$$

$$K_{СОУЭ_Б} > \frac{1 - \frac{10^{-5}}{Q_{П} \cdot P_{ПР} \cdot (1 - P_{Э})} - K_{СПС} \cdot K_{СПД}}{K_{СПС} \cdot (1 - K_{СПД})}; \quad (4.2.8)$$

$$K_{СОУЭ_В} > \frac{1 - \frac{10^{-6}}{Q_{П} \cdot P_{ПР} \cdot (1 - P_{Э})} - K_{СПС} \cdot (K_{СПД} + K_{СПТ} - K_{СПД} \cdot K_{СПТ})}{K_{СПС} \cdot (2 - K_{СПД} - K_{СПТ} + K_{СПД} \cdot K_{СПТ})}. \quad (4.2.9)$$

Построим зависимости коэффициентов соответствия СОУЭ от вероятности эвакуации (при $P_{Э} < 0,999$), при которых риск остается в допустимых границах (рисунок 4.9).

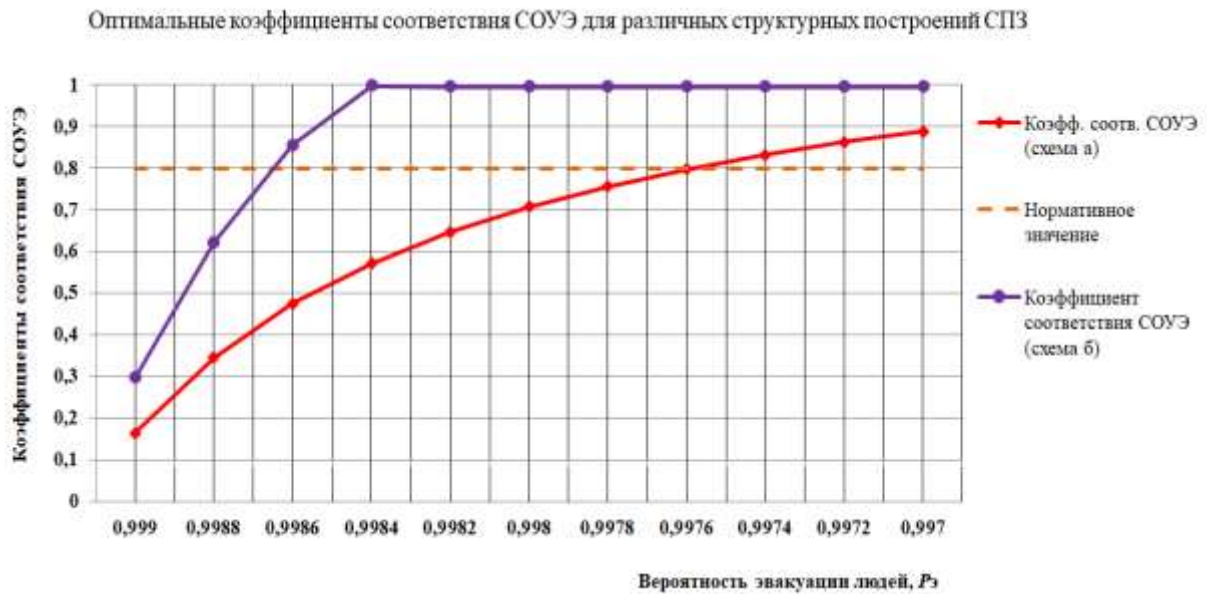


Рисунок 4.9 – Сравнение оптимальных эффективностей СОУЭ для различных структурных построений СПЗ

Из схемы (рисунок 4.9) следует, что при структурном построении СПЗ, приведенном на рисунке 4.6 а, вероятность эвакуации может гарантированно снизиться до $P_{\text{э}}=0,9976$ (т.е. в 2,4 раза ниже нормативного значения), в то время как при использовании реальной схемы (рисунок 4.6 б) вероятность эвакуации может снизиться только до $P_{\text{э}}=0,99875$ (т.е. в 1,2 раза ниже нормативного значения), что повышает достоверность результата минимум в два раза.

Обобщение полученных результатов. В работе показано, что величина ИПР может регулироваться (оптимизироваться) сразу несколькими параметрами: временем реакции на речевое оповещение о пожаре; временем движения людей, определяющих вероятность эвакуации, коэффициентом соответствия СПЗ, определяемой реальным структурным построением системы, коэффициентом соответствия СОУЭ требованиям нормативной и технической документации, ТЗ. Для более точной оценки величины ИПР предлагается четырехэтапный алгоритм (рисунок 4.10) расчета ИПР.

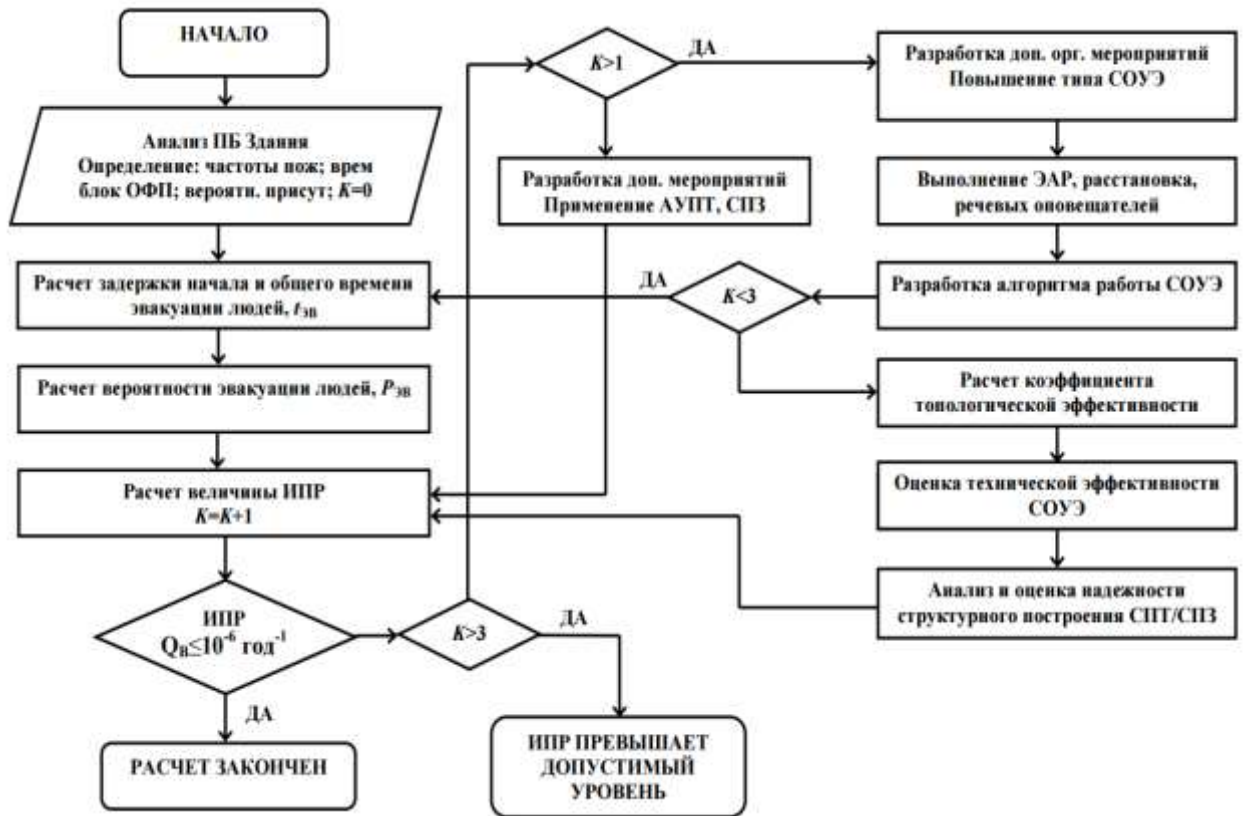


Рисунок 4.10 – Алгоритм расчета величины ИПР с учетом оптимизации основных функциональных параметров СОУЭ и структурного построения СПЗ

Приведем последовательность (алгоритм) расчета: 1. Выполняется первоначальный расчет величины ИПР (включается счетчик $K = 1$). 2. Выполняется следующая проверка. Если величина ИПР выше нормативной, разрабатываются компенсирующие мероприятия, применяются СПЗ, минимизирующие ИПР ($K = 2$). 3. Выполняется повторный расчет ИПР. Если величина риска все еще выше нормативной, применяется ряд дополнительных, в том числе расчетных мероприятий ($K = 3$). 4. Выполняется окончательный расчет и, в зависимости от результата, принимается решение.

Анализ полученного результата: Четырехэтапный алгоритм, приведенный на рисунке 4.10, позволяет: 1. при наличии основных функциональных параметров СОУЭ и сведений о структурном построении СПЗ более точно определить и, при необходимости, оптимизировать величину ИПР. 2. При

превышении ИПР нормативных значений, сформировать ряд рекомендаций, относительно состава, структуры СПЗ, минимально-необходимых функциональных параметров СОУЭ.

4.3. Выводы по четвертой главе

1. В процессе анализа нормативных оснований по ПБ обращено внимание на недостаточность требований в части надежности и работоспособности СПЗ. В стандарте по проектированию, монтажу и техническому обслуживанию СОУЭ подчеркнута необходимость обеспечения работоспособности и эффективности СОУЭ, но критериев и способов для их оценки не указано. В работе показано, что при учете надежности системы следует выделять несколько ее аспектов – надежность элементов, определяемую на этапе производства; структурную надежность, определяемую на этапе проектирования; эксплуатационную надежность, определяемую по статистическим данным на этапе обслуживания.

2. В настоящем исследовании приведены способы оценки надежности различных структурных построений, для расчета которых предложено использовать метод модульной декомпозиции, логико-вероятностный подход и другие эффективные методы. На примере статистических данных показано, каких реальных значений может достигать риск, например, в гипермаркете, при среднестатистической надежности СПЗ. Проведенный анализ показал, что структурное построение СПЗ определяет величину ИПР, поэтому использование в расчетах надежности реального структурного построения СПЗ в существенной мере повышает точность оценки ИПР.

3. Из анализа статистических данных следует, что даже при полной исправности система своей задачи может не выполнить, поэтому работоспособность СОУЭ предложено оценивать не только надежностью, но и коэффициентом снижения работоспособности системы на всех этапах жизненного цикла. Показано, что обобщением надежности и коэффициента снижения качества функционирования является техническая эффективность СОУЭ,

характеризующая надежность и эффективность системы на всех этапах жизненного цикла. Коэффициент технической эффективности как вероятность выполнения СОУЭ своих задач с учетом снижения качества функционирования по различным причинам полностью соответствует физическому смыслу коэффициента соответствия, используемого при расчете ИПР. В качестве коэффициента снижения качества функционирования СОУЭ на этапе проектирования предложено использовать коэффициент эффективности топологии речевых оповещателей, методика расчета которого приведена во второй главе настоящего исследования.

4. В работе показано, что коэффициент соответствия СПЗ нормативным требованиям является чрезмерным упрощением. Формула для расчета коэффициента соответствия СПЗ является лишь частным случаем и при несоответствии применяемого решения завышает результат расчета ИПР. В качестве альтернативы коэффициента соответствия СПЗ предложено использовать вероятность эффективной работы системы, рассчитанной с учетом реального структурного построения СПЗ.

ГЛАВА 5. РЕЗУЛЬТАТЫ ТЕОРЕТИЧЕСКИХ И ПРАКТИЧЕСКИХ ИССЛЕДОВАНИЙ ОСНОВНЫХ ФУНКЦИОНАЛЬНЫХ ПАРАМЕТРОВ СОУЭ В ТОРГОВО-ОФИСНОМ ЗДАНИИ

5.1. Краткая характеристика исследуемого объекта защиты, результаты практических измерений и акустических расчетов

Предложенные в предыдущих главах настоящего исследования методики расчета коэффициентов и способов обоснования работоспособности и эффективности СОУЭ актуальны для зданий различных классов функциональной пожарной опасности, производственных объектов, объектов специального назначения, культурно-спортивных сооружений и др. Для актуализации полученных результатов был выбран торгово-офисный центр, включающий наиболее **распространенные** классы функциональной опасности: Ф3.1 (здания торговли) Ф4.3 (офисы), Ф5.2 (автостоянки).

Краткая экспликация **объекта исследования** – 14-этажное торгово-офисное здание с подземной автостоянкой, расположенный по адресу: 115280, г. Москва, ул. Автозаводская, д. 23А, корпус. 2. Исследуемый многофункциональный объект защиты, введенный в эксплуатацию в 2021 г., имеет высокий нормативный показатель (здание 4 типа СОУЭ с автоматической СПЗ, речевой многозонной СОУЭ, системой обратной связи), широкий защищаемый контингент людей – персонал, офисные сотрудники, посетители, в том числе МГН. Дополнительные характеристики исследуемого объекта, а также фотоматериалы, скриншоты программ и документов вынесены в Приложение настоящего исследования.

В процессе исследования правильности акустического расчета были выполнены:

1. Проверка правильности размещения РО и ЭАР в офисных помещениях, коридорах и лифтовом холле 9-го и минус первого этажа здания.
2. Расчеты коэффициента топологической эффективности для 9-го этажа.
3. Акустические расчеты и расчеты разборчивости в двух офисных помещениях.

1. Результаты исследования эффективности размещения РО и ЭАР.

Для озвучивания исследуемого объекта защиты использовались следующие модели РО: модель MP-30T – для озвучивания парковки; WP-06T – для озвучивания офисных помещений; WS-06T – для озвучивания фойе и коридоров. Характеристики РО приведены в Приложении 5.

Акустические измерения и испытания громкоговорителей В 2019 г. в акустической заглушенной камере Московского института акустики АО «АКИН» были проведены испытания громкоговорителей ROXTON. Протокол совместных испытаний приведен в Приложении 6 настоящего исследования. В таблицах 5.1, 5.2 приведены характеристики (результаты практических измерений), полученные в лаборатории для исследуемой группы РО.

Таблица 5.1 – Чувствительность РО ROXTON, для 5-октавных частот

№	Модель	Наименование \ АЧХ	250	500	1000	2000	4000	Макс. неравномер. АЧХ
1	MP-30T	Широкополосный рупорный громкоговоритель 30/15/7,5 Вт	101,4	109,6	110,9	110,5	104,0	9,5
2	WP-06T	Настенный громкоговоритель 6/3/1,5 Вт, широкополосный	91,4	100,4	101,3	92,4	99,9	9,9
3	WS-06T	Настенный громкоговоритель 6/3/1,5 Вт, вандалозащищенный	91,3	96,7	98,9	94,0	96,7	7,6

Примечание: из таблицы 5.1 видно, что неравномерность АЧХ исследуемых РО не превышает 10 дБ, что полностью соответствует требованиям НД.

Таблица 5.2 – Характеристики направленности РО ROXTON для частот 1, 4 кГц

№	Частоты, кГц/Углы откл., град	0	5	10	15	30	45	60	75	90
1	1 кГц	110,9	109,5	109,0	108,0	106,0	103,0	102,0	99,0	97,0
	4 кГц	104,0	104,0	103,5	103,0	99,0	95,0	92,0	89,0	88,0
2	1 кГц	101,3	101,0	101,0	100,5	100,0	99,0	97,0	96,0	95,0
	4 кГц	99,9	99,0	99,0	98,5	96,0	94,0	91,0	89,0	87,0
3	1 кГц	98,9	92,0	98,0	97,0	96,0	95,0	94,0	94,0	92,0
	4 кГц	96,7	95,0	95,0	94,0	93,0	91,0	89,0	86,0	85,0

Результаты сравнения измеренных значений уровня звукового давления РО на расстоянии 1 м со значениями, рассчитанными по данным совместных испытаний (таблица 5.1), приведены в таблице 5.3.

Таблица 5.3 – Сравнение теоретически рассчитанных эквивалентных уровней с результатами практических измерений

№	Модель РО	Наименование РО	Эквивалент - ный уровень, дБА	Измерен- ное значение	Погреш- ность расчета, %
1	MP-30T	Широкополосный рупорный громкоговоритель 30/15/7,5 Вт	115,12	117,00	1,60
2	WP-06T	Настенный громкоговоритель 6/3/1,5 Вт, широкополосный	105,01	107,00	1,86
3	WS-06T	Настенный громкоговоритель 6/3/1,5 Вт, вандалозащищенный	102,68	104,00	1,27

Примечание: из таблицы 5.3 видно, что погрешность определения звукового давления РО не превышает 2 %.

Сопоставление теоретически рассчитанных значений характеристик направленности РО и практических измерений (таблица 5.2), приведены в таблице 5.4.

Таблица 5.4 – Сравнение эквивалентных теоретически рассчитанных уровней с практическими измерениями

№	Частоты, кГц/ Углы откл., град	0	5	10	15	30	45	60	75	90
1	1 кГц	110,90	110,77	110,39	109,78	106,87	103,26	99,98	97,77	97,00
	4 кГц	104,00	103,84	103,38	102,65	99,20	95,00	91,30	88,85	88,00
2	1 кГц	101,30	101,25	101,09	100,84	99,61	98,00	96,46	95,39	95,00
	4 кГц	99,90	99,78	99,42	98,85	96,15	92,78	89,75	87,71	87,00
3	1 кГц	98,90	98,84	98,67	98,39	97,03	95,26	93,59	92,42	92,00
	4 кГц	96,70	96,59	96,27	95,76	93,33	90,29	87,52	85,65	85,00

Примечание: среднеквадратическое отклонение теоретических расчетов от практических данных составляет $\sigma \sim 1,57\%$.

2. Расчет топологической эффективности. На рисунке 5.1 приведен примерный план 9-го этажа (2 корпуса) здания и схема размещения настенных РО, модели WP-06Т, WS-06Т в офисных помещениях с известными площадями, S1–S13 м², коридорах и лифтовом холле.

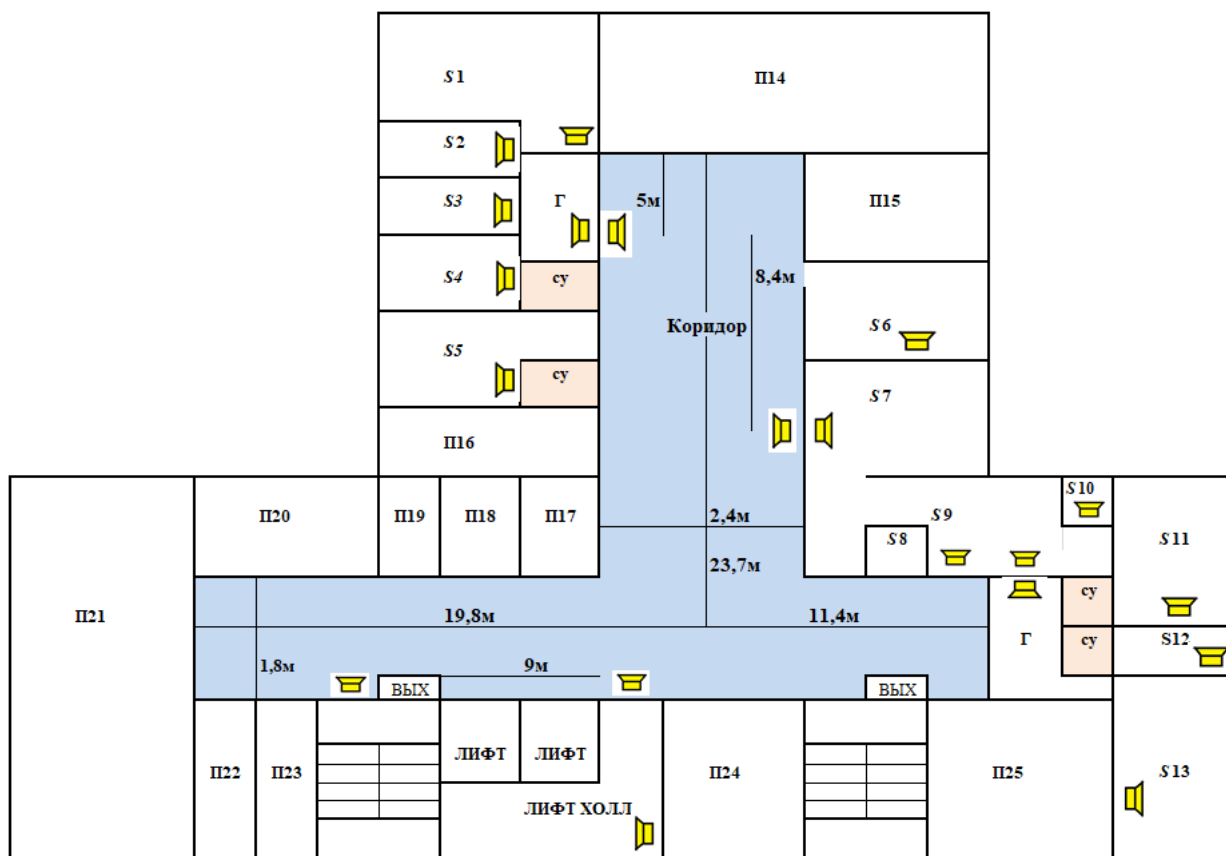


Рисунок 5.1 – План размещения РО на 9 этаже

Обозначения на плане: S1–S13 – площади исследуемых помещений, м²; П14-П25– прочие помещения на этаже (без предоставления доступа).

Примечание: высота установки РО – 2,5 м. Места размещения каждого РО на рисунке 5.1 указаны приблизительно (из-за геометрических соотношений), что никак не отражается на точности расчета.

Результаты соответствия параметров помещений и рассчитанных площадей приведены в таблице 5.5.

Таблица 5.5 – Основные параметры исследуемых помещений, необходимые для расчета топологической эффективности

№	Обозн.	Помещение	Площ., $S_{\text{п}}, \text{м}^2$	Тип РО	Кол-во РО	N_i , чел	$S_{\text{эф}}, \text{м}^2$	$K_{\text{ЭТ}}$
1	S1	Офис 1	48,5	1	1	5	1122,0	1,00
2	S2	Офис 2	18,2	1	1	1	1122,0	1,00
3	S3	Офис 3	21,2	1	1	3	1122,0	1,00
4	Г	Гардероб	9,1	2	1	1	948,5	1,00
5	су	Санузел	4,0	-	0	0	0,0	1,00
6	S4	Офис 4	25,2	1	1	4	1122,0	1,00
7	S5	Столовая	27,2	1	1	10	1122,0	1,00
8	су	Санузел	4,0	-	0	0	0,0	1,00
9	S6	Офис 6	20,4	1	1	3	1122,0	1,00
10	S7	Офис 7	24,2	2	1	4	948,5	1,00
11	S8	Офис 8	13,5	-	0	1	0,0	0,00
12	S9	Ресепшн	40,6	2	2	2	1214,0	1,00
13	S10	Офис 10	13,9	1	1	2	1122,0	1,00
14	S11	Офис 11	36,7	1	1	5	1122,0	1,00
15	Г	Гардероб	5,7	2	1	1	948,5	1,00
16	S12	Комн. отд.	10,2	2	1	1	948,5	1,00
17	су	Санузел	8,0	-	0	0	0,0	1,00
18	S13	Офис 13	42,3	1	1	2	1122,0	1,00

Для расчета эффективных площадей использовалась программа для ЭВМ «Расчеты, выполняемые при проектировании речевых и проводных СОУЭ». Скриншот программы приведен в Приложении 5, свидетельство об официальной регистрации программы для ЭВМ в Приложении 8 настоящего исследования.

Согласно данным таблицы 5.5 эффективность топологии РО для каждого отдельного помещения 100 %. При этом коэффициент суммарной обобщенной эффективности топологии РО составил $K_{\text{ЭТ}_\text{РО}} = 0,978$. Причина снижения эффективности – в отсутствии РО в офисе S8, что при наличии в нем сотрудника не допустимо. Отдельным сложным и не исследованным вопросом является необходимость оповещения санузлов (по сути), относящихся к помещениям с временным пребыванием людей (до 2-х часов непрерывного пребывания или

до 6 часов в течение суток). Находящиеся в них люди речевое объявление не услышат по причине наличия двух дверей с суммарным звукопоглощением порядка 50 дБ. При необходимости оповещении санузлов эффективность топологии РО снизится до $K_{ЭТ_Р0} = 0,917$. Уже из элементарных оценок видно, что значения эффективных площадей $S_{ЭФ}$ существенно превосходят озвучиваемые площади. Для модели WP-06T при $P_0 = 92$ дБА, $P_{ВТ} = 6$ Вт, УШ = 55 дБА, эффективная дальность составляет $D = 18$ м, что для длины свободного пробега (в офисном помещении $S4 l_{ср} = 4 \text{ V/S} \sim 3$ м) довольно много. Одна из причин данной избыточности объясняется тем, что РО включены на полную мощность.

Для оценки правильности расстановки РО в коридорах воспользуемся онлайн-калькулятором «Программа для электроакустического расчета, выполняемого при проектировании СОУЭ». Скриншот результатов расчета приведен на рисунке П5.4, Приложения 5, свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ № 2024611103 находится в Приложении 9 настоящего исследования. Из полученного результата видно, что допустимый шаг расстановки настенных РО вдоль коридоров с учетом отражений составил $Ш = 9,6$ м. Это означает, что шаг расстановки РО в коридорах выбран правильно.

Исследуем наиболее удаленный участок 9-го этажа, офисное помещение S4. Рассчитаем оптимальную электрическую мощность РО WP-06T, необходимую для обеспечения нормативных требований. Расчет выполним по упрощенной формуле (см. Приложение 2 настоящего исследования): $P_{ВТ} = 10^{0,1(20Lg(r)+УШ+15-P_0)}$. При $P_0 = 92$ дБА, УШ = 55 дБА, $r = 6$ м, минимально допустимая мощность РО составит $P_{мин} = 0,23$ Вт. Для корректировки полученного результата рассчитаем потери по напряжению при следующих данных: длина линии оповещения $L_{ЛО9} \sim 220$ м; нагрузка ЛО $P_{Н9} = 28 \cdot 6 = 168$ Вт; сечение выбранного провода $S_{ЛО} = 1,5 \text{ мм}^2$. Коэффициент распределения нагрузки можно рассчитать по упрощенной формуле (вся нагрузка сосредоточена на 9 этаже): $K_{р9} \sim 0,9$. Коэффициент потерь по напряжению: $K_{П} = \frac{15000}{0,04 \cdot K_{р9} \cdot L_{ЛО} \cdot 168} = 11,36$. Потери по напряжению на конце ЛО: $П_{Н} = 100 / (K_{П} + 1) = 8,8 \%$. Потери по мощности

составят $K_M = 0,83$, тогда минимально необходимая электрическая мощность составит $P_{\min} = 0,23/0,83 = 0,27$ Вт. На РО WP-06Т имеется градация включения $P_{\text{вт}} = 1,5$ Вт, которую и следовало использовать в проектном решении. Так как все РО на данном объекте включены на полную мощность, то можно констатировать, что мощность включения исследуемого РО завышена в 4 раза (избыточна).

3. Приведем результат **расчета речевой разборчивости** в офисном помещении S4 и столовой S5. Для экспресс-оценки разборчивости из таблицы П2.3 Приложения 2 настоящего исследования найдем средний уровень шума $УШ_{\text{ср}} = 49$ дБ. Для каждого октавного уровня рассчитаем средний (скорректированный) уровень звукового давления в РТ $L_{\text{ср}} = 68,3$ дБ. Тогда уровень помех составит $УП = L_{\text{ср}} - УШ_{\text{ср}} = 19,3$ дБ, что по таблице П3.1 (Приложения 3 настоящего исследования) близко к оценке «Хорошо». Для расчета коэффициента словесной и слоговой разборчивости по формантной теории составим таблицу основных звукопоглощений для исследуемых помещений (таблица 5.6).

Таблица 5.6 – Коэффициенты основных звукопоглощающих поверхностей исследуемых помещений

Объект	Коэффициенты звукопоглощения одним человеком, α_{2i}				
	250 Гц	500 Гц	1000 Гц	2000 Гц	4000 Гц
Поглощение – коэффициенты звукопоглощения					
Бетон окрашенный	0,014	0,011	0,011	0,02	0,02
Предметы деревянной мебели	0,02	0,03	0,035	0,038	0,038
Ламинат	0,04	0,07	0,07	0,07	0,07
Стул с мягким сиденьем и спинкой	0,12	0,14	0,16	0,15	0,16
Стены, на поверхности которых установлено оборудование (СПиП 23-03-2003)	0,3	0,4	0,4	0,4	0,4
Слушатель (один человек)	0,43	0,47	0,44	0,49	0,49

Средний коэффициент звукопоглощения для офисного помещения S4 с технологическим оборудованием на потолках составил $\hat{a}_{\text{эКВ}} \sim 0,1$, словесная разборчивость (ПЗ.7) Приложения 3 настоящего исследования составила $K_{W4} = 0,978$, слоговая разборчивость (ПЗ.8) составила $K_{S4} = 0,774$, что является хорошим показателем. Для столовой S5 с гладкими отражающими поверхностями $\hat{a}_{\text{эКВ}} \sim 0,06$, словесная разборчивость $K_{W5} = 0,936$, коэффициент слоговой разборчивости оказался невысоким, $K_{S5} = 0,567$, что объясняется высокой сухостью помещения со временем реверберации $T_r > 2$ с, тогда как время стандартной реверберации для помещений составляет $T_r \sim 0,86\text{--}1,05$ с, время реверберации в комнате с мебелью составляет около 0,5 с.

Анализ полученных результатов. 1. Электроакустические расчеты в помещениях показали, что для парковки минус первого этажа и для коридоров 9-го этажа все требования НД обеспечены. Обобщенный коэффициент эффективности топологии РО, рассчитанный для офисных помещений, не достигает 100 %, что указывает на недостаточность защитных мероприятий по обеспечению уровня ПБ для 9-го этажа. Результаты акустического расчета в офисных помещениях 9-го этажа указывают на избыточность звуковой мощности. При расчете разборчивости в отдельном офисном помещении и столовой избыточность звукового давления подтверждена как расчетным, так и субъективным способом (прослушиванием сообщения при проверке работоспособности СОУЭ). Избыточность может привести к нежелательным последствиям, например, к испугу и дискомфорту, отразиться не только на экономической составляющей, но и на надежности технических средств.

В качестве **рекомендации**: для исследуемого объекта необходимо снизить электрическую мощность, подводимую к РО, **в 4 раза**; дополнить речевое сообщение сигналом привлечения внимания с постепенно нарастающим уровнем.

4. Экспресс-оценка речевой разборчивости, выполняемая сравнением средних значений, очень эффективна, так как в полной мере характеризует качество передаваемой речевой информации. Применение и сравнение двух методов – формантного и экспресс-оценки – позволили подтвердить результаты

субъективного наблюдения о недостаточной разборчивости. При учете помехи как дополнительного препятствующего восприятию фактора полученный коэффициент разборчивости в офисном помещении оказался лишь удовлетворительным, а в столовой плохим. Невысокая разборчивость в столовой подтверждена расчетом, экспресс-оценкой и практическим наблюдением. Даже при обыкновенном разговоре в данном помещении наблюдается повышенная гулкость, для снижения которой необходимы дополнительные акустические мероприятия.

5.2. Проверка эффективности применяемого алгоритма работы СОУЭ в исследуемом здании

При исследовании объекта было установлено, что при обнаружении ОФП и включении СОУЭ оповещение всех этажей осуществляется одновременно. Проверим допустимость применения данного алгоритма моделированием процесса эвакуации 9-го этажа.

1. Рассчитаем начальную плотность людей на этаже. Суммарная площадь офисных помещений, $S_{\Pi} = 1700 \text{ м}^2$. Из расчета 6 чел. на м^2 , количество людей $N = 283$ чел. На один эвакуационный выход приходится: $N_1 = 142$ чел.

2. Следуя упрощенной модели эвакуации, поместим полученную плотность в наиболее удаленную часть широкого коридора длиной $l = 27 \text{ м}$ и шириной $\delta = 2,4 \text{ м}$. Площадь эвакуационного маршрута согласно плану $S_{\delta} = 86,4 \text{ м}^2$. Тогда, при средней площади одного человека $f_{\text{ср}} = 0,16$: плотность людей составит $D_1 = 0,27$. Так как $D_1 < 0,71$, скорость движения составит $V_1 = 69,6 \text{ м/мин}$.

3. Рассчитаем плотность потока: $q_1 = D_1 * V_1 = 18,9 \text{ м/мин}$. Так как это значение превышает максимально возможное, то ограничим плотность: $q_1 = D_1 * V_1 = 16,5 \text{ м/мин}$. При выходе на лестницу плотность потока составит $q_{\text{л}} = \delta_{\Pi} * q_1 / \delta_{\text{л}} = 26,1 \text{ м/мин}$. Полученное значение превышает максимально допустимое, поэтому дополнительное слияние с эвакуирующимся потоком нежелательно.

4. Для определения максимального времени скопления определим количество людей, задержанных из-за недостаточной пропускной способности участка пути: $N_{D09} = 52$ чел. Для времени скопления $t_{СК} = 0,86$ мин, время задержки составит $t_3 = 0,62$ мин.

5. Превышение результирующей интенсивности пропускной способности прохода предполагает введение задержки оповещения. На основании результатов, изложенных в третьей главе настоящего исследования, предложим трехэтапный алгоритм эвакуации, для чего рассчитаем время задержки верхних и нижних этажей, определяемых временем движения тыльной части потока. Для длины пути до лестницы (А) $l_1 = 39$ м, время движения тыльной части потока, соответствующее времени задержки верхних этажей, составит $t_{3НЭВ} = 0,89$ мин.

6. Для расчета времени задержки нижних этажей рассчитаем время движения тыльной части по лестнице вниз. Проход до лестницы и часть межлестничного пролета отнесем к длине лестницы, тогда $l_{л} = 14$ м. Время движения тыльной части по межэтажной лестнице составит $t_{Т2} = 0,58$ мин. Общее время движения тыльной части по прямому пути и по лестнице, соответствующее времени задержки нижних этажей, составит, $t_{3НЭН} = 1,47$ мин.

Рассчитаем максимальное время движения с 14-го этажа: $t_{ДВ14} = t_{3НЭВ} + 13t_{Т2} = 8,46$ мин. Рассчитаем максимальное время движения с 13-го этажа с учетом задержки начала эвакуации: $t_{ДВ13} = t_{3НЭН} + t_{3НЭВ} + 12t_{Т2} = 9,35$ мин.

За период с февраля 2022 г. по сентябрь 2023 г. проходили две анонсированных (плановых) эвакуации и две неанонсированные (неплановые) эвакуации. Анонсированные эвакуации проводились в период летних отпусков, кроме того, многие люди не приняли участие в тренировках, поэтому результаты замеров времени эвакуации не представляют ценности. Две неанонсированные эвакуации (по причине ложных срабатываний) проходили весной 2022 г. В двух случаях удалось провести замеры времени выхода людей из здания и подсчитать количество эвакуирующихся. Частотная табуляция полученных данных, начиная с пятой минуты, приведена в таблице 5.7.

Таблица 5.7 – Результаты практических замеров времени эвакуации людей в исследуемом здании при неанонсированном оповещении

Номер интервала	Интервал измерения	Середина интервала, t_i , мин	Кол-во людей чел.	Накопл. кол-во, чел.	Относит частота (P_i)	Накопл. частота
1	6-7 мин	6,5	3	3	0,01	0,01
2	8-9 мин	8,5	95	98	0,32	0,33
3	10-11 мин	10,5	100	198	0,33	0,66
4	12-13 мин	12,5	80	278	0,27	0,93
5	14-15 мин	14,5	20	298	0,07	0,99
6	16-17 мин	16,5	2	300	0,01	1

Для данного полученного распределения математическое ожидание среднего времени эвакуации составило: $M_{\xi} = \sum_{i=1}^6 t_i \cdot P_i = 10,66$ мин, с дисперсией: $D_{\xi} = \sum_{i=1}^6 (t_i - M_{\xi})^2 \cdot P_i = 3,77$ мин.

Для возможности оптимизации с целью повышения эффективности управления составим граф состояний для эвакуации с 14-го этажа с учетом полученных результатов (рисунок 5.2).

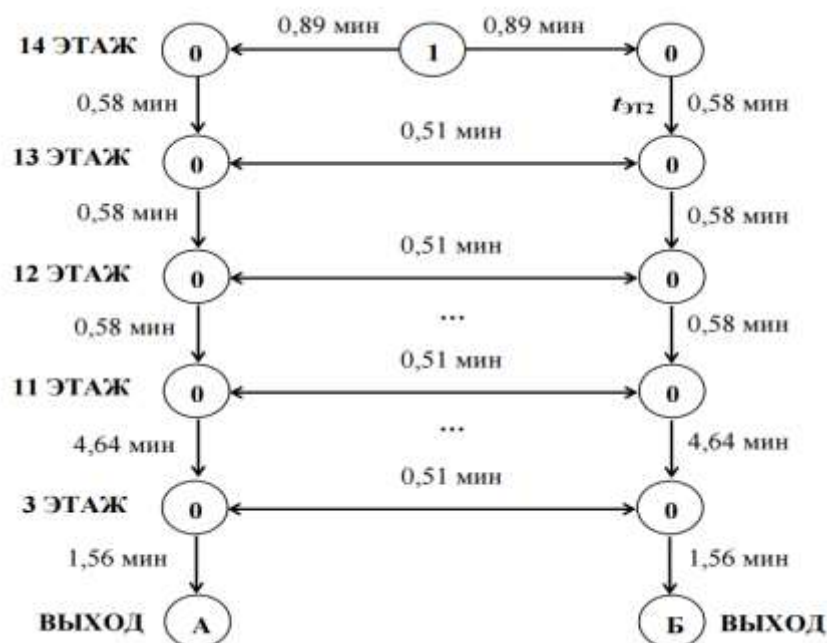


Рисунок 5.2 – Взвешенный граф состояний процесса эвакуации людей из исследуемого здания

При составлении данного графа вероятность эвакуации принята максимальной $P_{\text{э}} = 0,999$. Вес ребра для 13-го и нижних этажей получен из учета времени движения (МГН) и длины прохода (22,8 м). Из графа состояний (рисунок 5.2) следует, что при блокировании нижнего этажа и использовании альтернативного пути (с весом 0,51 мин), максимальное расчетное время эвакуации увеличится до 9,88 мин.

Анализ полученных результатов.

1. В третьей главе настоящего исследования было показано, что на общее время эвакуации людей при пожаре существенное влияние оказывает задержка начала эвакуации, вызванная субъективными причинами. Для проверки и подтверждения данного положения был выполнен оценочный расчет времени эвакуации людей из максимально удаленной точки 14-го этажа и проведен ряд замеров времени эвакуации при неанонсированном оповещении. Среднее значение практического времени эвакуации, (с учетом нормативной задержки начала эвакуации) оказалось на 1 мин выше теоретически рассчитанного значения. Полученную разницу можно интерпретировать как субъективное время задержки эвакуации, которую и предлагается учитывать при расчете времени эвакуации людей.

2. На исследуемом объекте защиты применено циркулярное (одновременное) оповещения. При увеличении количества людей, может понадобиться поэтапная эвакуация, которая может быть легко реализована применением программных или микропроцессорных технологий.

5.3. Расчет надежности и технической эффективности применяемой СОУЭ, надежности СПЗ с целью оценки величины ИПР в исследуемом здании

Расчет надежности системы СОУЭ выполним в следующей последовательности: 1. Рассчитаем надежность отдельного multifunctional блока (РА-8236). 2. Рассчитаем надежность всей системы оповещения, включающую надежность блоков и надежность линий оповещения

(ЛО), нагруженной речевыми оповещателями (РО). Надежность блоков рассчитаем для наихудшего случая, используя методику РНД [59]. 3. Рассчитаем техническую эффективность СОУЭ. 4. Оценим надежность применяемой СПЗ. 5. Проанализируем полученный результат, оценив возможный риск.

Примечание: спецификация на оборудование и схема построения СОУЭ, применяемая на исследуемом объекте защиты, приведены в Приложении 5 настоящего исследования.

1. Надежность многофункциональной трансляционной системы RA-8236 рассчитаем по схеме замещения (рисунок 5.3), составленной на основе данных, предоставленных производителем [95], а также результатов поэлементного расчета при помощи программы на ЭВМ № 2024611103.

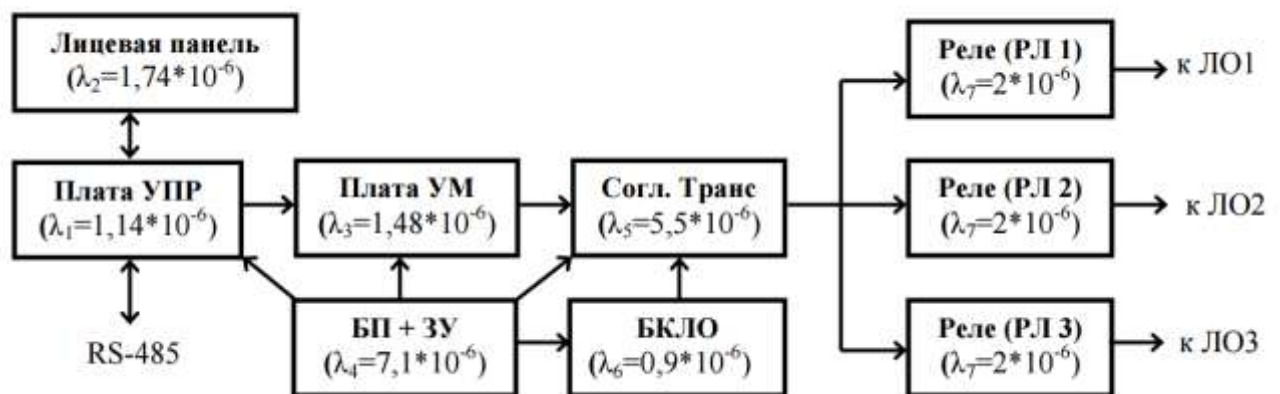


Рисунок 5.3 – Упрощенная схема замещения для расчета надежности трансляционного усилителя RA-8236

Обозначения на схеме: УПР – функция контроля и управления; УМ – усилитель мощности; БП – блок (плата) питания; ЗУ – зарядное устройство; БКЛО – блок контроля линий оповещения. В схему включены интенсивности отказов, рассчитанные с использованием программы на ЭВМ (рисунок П5.6 Приложения 5 настоящего исследования) и данные из работы [147]. Результирующую надежность схемы, рассчитаем с использованием метода

модульной декомпозиции с учетом коэффициента важности каждого модуля по формуле: $\lambda_i = K_{\Sigma} \cdot \sum_{j=1}^n \omega_i \cdot \lambda_j$, где λ_j – интенсивность отказа j -го элемента; K_{Σ} – обобщенный эксплуатационный коэффициент [148], обусловленный электрическим режимом и условиями эксплуатации (для стационарных отапливаемых помещений $K_{\Sigma} = 1,07$); ω_i – показатель важности i -го модуля (платы элемента). С учетом количества операций, выполняемых каждой из функциональных плат, результирующую интенсивность отказов можно записать:

$$\lambda_{RA} = \frac{1,07}{9} \cdot (7(\lambda_1 + \lambda_3 + \lambda_4 + \lambda_5 + 3\lambda_7) + 2(\lambda_2 + \lambda_6)) = 1,83 \cdot 10^{-5},$$

где $\lambda_1 - \lambda_7$ – интенсивности отказов, указанные на рисунке 5.3.

Средняя наработка на отказ для данной интенсивности составит: $T_{RA} = 1/\lambda_{RA} = 54682,2$ ч. Полученный результат может не противоречить практическим наблюдениям, согласно которым в период с сентября 2021 г. по март 2024 г. на исследуемом объекте защиты отказов в системе не обнаружено. Из расчета общего количества часов и наличия 4-х блоков интенсивность отказов: $\lambda(t) = \frac{n(t)}{(N-n(t))\Delta t}$, где $n(t)$ – число изделий, отказавших при испытании в течение времени Δt , $\lambda_{RA}(t) = \frac{1}{4 \cdot 2,5 \cdot 8760} = 1,14 \cdot 10^{-5}$. Для данной интенсивности средняя наработка на отказ составит: $T_{RA} = 87600$ час, что вполне согласуется с данными, предоставляемыми другими производителями [108].

2. Расчет надежности системы. Общую надежность системы, построенной на базе блоков системы ROXTON 8000, рассчитаем по схеме замещения (рисунок 5.4), составленной по структурной схеме (рисунок П5.5 Приложения 5 настоящего исследования).

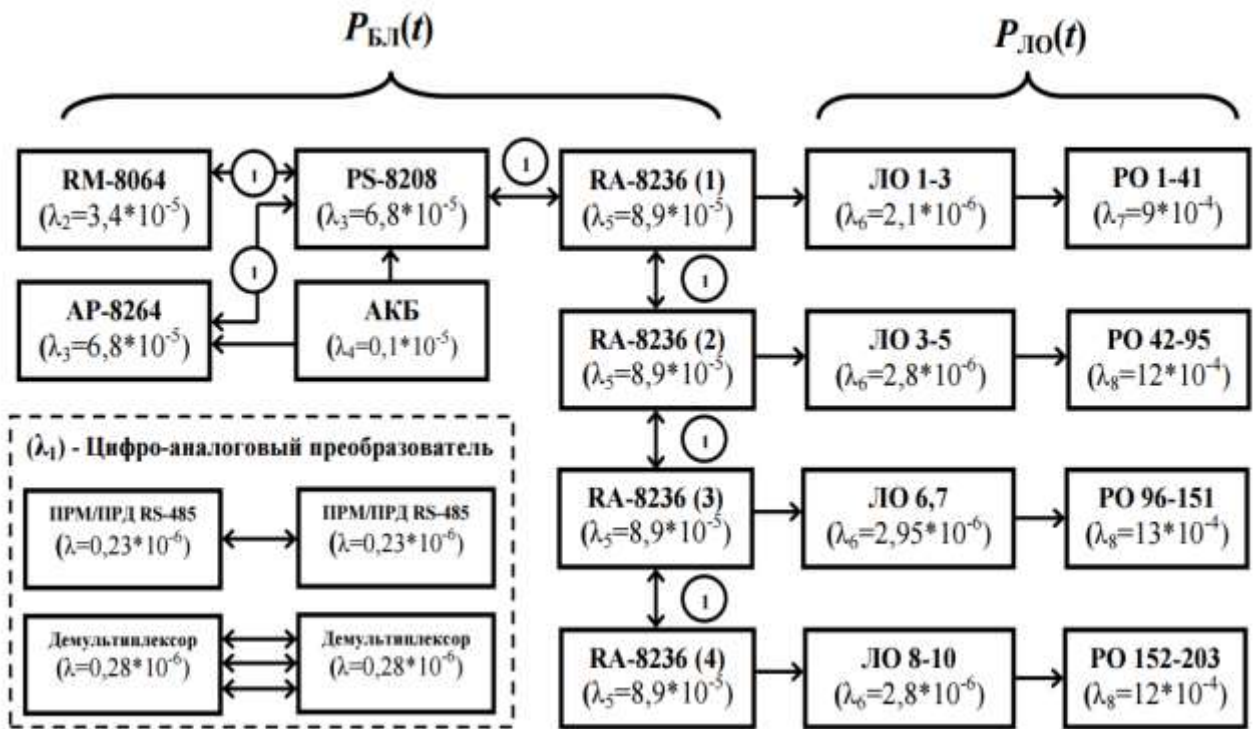


Рисунок 5.4 – Схема замещения для расчета надежности ТС СОУЭ, построенных на базе системы ROXTON 8000

Обозначения на схеме: «ПРМ» – Приемник; «ПРД» – Передатчик; «ЛО» – Линия оповещения; «РО» – Речевой оповещатель; «АКБ» – Аккумуляторная батарея.

Интенсивность отказов интерфейса RS-485 согласно рисунку 5.4: $\lambda_1 = 1,02 \cdot 10^{-5}$. Интенсивность отказов блоков RM-8064, AP-8264, PS-8208 принята из условия, что их функционал практически повторяет функционал блока RA-8236, кроме УМ, тогда: $\lambda_2 = 1,7 \cdot 10^{-5}$. Интенсивность отказов ЛО рассчитана с учетом интенсивности отказов самой линии и количества разъемных соединений, выбранных на основании таблицы П5.3 (Приложения 5 настоящего исследования) при условии: 6 контактов на один РО. Интенсивность отказов одного РО выбрана на основании нормативного требования [12] к наработке на отказ $T_{РО} = 43500$ ч и практических испытаний.

Примечание: речевые оповещатели ROXTON проходили неоднократное испытание на надежность, в том числе, в области транспортной сертификации и ГОЧС. Сертификат соответствия приведен в Приложении 9 настоящего исследования.

Для наглядности интенсивность отказов всей системы представим в виде суммы интенсивностей отказов блоков системы и линий оповещения, нагруженных речевыми оповещателями: $\lambda_{\text{СОУЭ}} = \lambda_{\text{БЛ}} + \lambda_{\text{РО}}$, где:

$$\lambda_{\text{БЛ}} = 1,07(6(6\lambda_1 + 3\lambda_2 + 4\lambda_4) + \lambda_3)/7 = 2,5 \cdot 10^{-4}, 1/\text{ч};$$

$$\lambda_{\text{РО}} = 2(\lambda_6 + \lambda_9) + \lambda_5 + \lambda_7 + \lambda_8 + \lambda_{10} = 14,3 \cdot 10^{-4}, 1/\text{ч}.$$

Общая (максимальная) интенсивность отказов системы: $\lambda_{\text{СОУЭ}} = 16,85 \cdot 10^{-4}, 1/\text{ч}$. Результирующую надежность системы (при условии экспоненциального распределения отказов) запишем в следующем виде:

$$P_{\text{БЛ}}(t) = \text{EXP}(-t(\lambda_{\text{БЛ}} + \lambda_{\text{РО}})) = \text{EXP}\left(-\frac{16,85}{10000}t\right).$$

Коэффициент готовности вычислим для времени восстановления, $T_{\text{В}}=24$ ч:
 $\mu_{\text{В}} = \frac{1}{24} = 0,0417$; $K_{\text{Г}} = \frac{\mu_{\text{В}}}{\lambda_{\text{СОУЭ}} + \mu_{\text{В}}} = \frac{0,0417}{0,0017 + 0,0417} = 0,96$.

Коэффициент оперативной готовности, характеризующий работоспособность СОУЭ для времени $t=1000$ ч [58] соответствующему периоду проверки работоспособности:

$$P_{\text{ОГ}}(t) \rightarrow K_{\text{ОГ}}: P_{\text{ОГ}}(1000) = 0,96 + 0,04e^{-1000/0,96 \cdot 24} \sim 0,96.$$

Вывод: полученный результат обеспечивает требования РНД [7], согласно которому $P_{\text{ОГ}}(t) \geq 0,95$.

3. Расчет технической эффективности Для возможности расчета технической эффективности СОУЭ мы обратились к результатам экспертного опроса, проведенного в 2023 г. В опросе приняли участие 16 специалистов, имеющих достаточно большой опыт в проектировании и применении СОУЭ.

На рисунке 5.5 представлен уровень их квалификации (среднее значение составило 61,25%).



Рисунок 5.5 – Квалификация экспертов, участвующих в статистическом опросе об эффективности СОУЭ

Цель экспертного опроса заключалась в получении уровня значимости (важности) каждого из этапов постпроизводственного цикла по сравнению с другими. Методы проведения и результаты экспертного опроса изложены в статьях [149, 150]. Обработанные результаты приведены в таблице 5.8.

Таблица 5.8 – Обработанные результаты экспертного опроса

Группы параметров	Расчетные параметры			
	Коэффициент важности, β_i	Ср. кв. отклонение, σ_i	Коэффициент вариации, ν_i	Степень согласованности
1. Важность этапа проектирования	0,284	0,025	0,087	91,3
2. Важность этапа монтажа	0,243	0,014	0,057	94,3
3. Важность этапа эксплуатации	0,243	0,013	0,052	94,8
4. Важность этапа управления	0,230	0,015	0,067	93,3

Из таблицы 5.8 видно, что степень согласованности мнений по каждой группе параметров достаточно высока. Наибольшая согласованность мнений экспертов наблюдалась по важности этапа эксплуатации. Чтобы исключить случайность согласованности мнений экспертов, была проведена количественная оценка случайности в виде коэффициента конкордации, или степени общей согласованности мнений экспертов по всем параметрам (по критерию Пирсона), который составил 80 % с уровнем значимости или доверия 85%. Таким образом, полученные коэффициенты (рисунок 5.6), могут с высокой степенью доверия использоваться на практике.

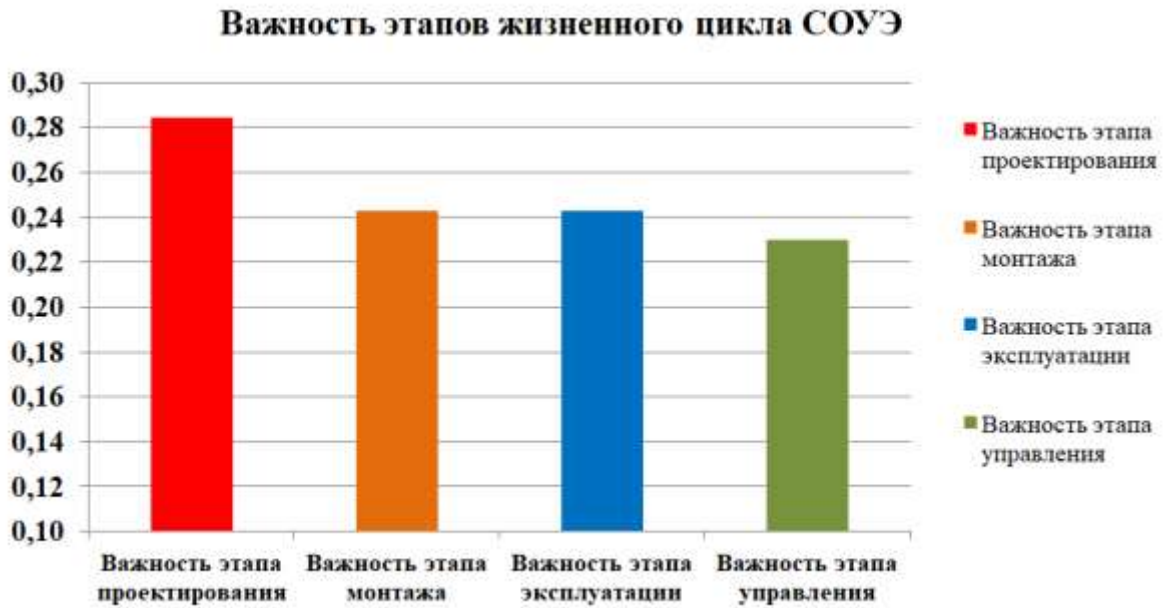


Рисунок 5.6 – Важность этапов жизненного цикла СОУЭ

Из гистограммы (рисунок 5.6) следует, что эксперты наиболее значимым полагают этап проектирования. Техническую эффективность с учетом ошибок на этапе проектирования (с учетом топологической эффективности) рассчитаем в предположении, что на других этапах ошибок нет: $K_M = K_Э = K_Y = 1$. Тогда при $K_{П} = K_{ЭТ_РО}$ формула (4.3.9) примет линейную форму: $P_{ТЭ} = P_{ОГ}(t_P) \cdot K_{ЭТ_РО} = 0,96 \cdot 0,917 = 0,88$. Полученный результат превышает численное значение коэффициента соответствия СОУЭ, используемого в методике расчета ИПР ($K_{СОУЭ}=0,8$), с другой стороны, полностью подтверждается статистическими данными, что указывает на целесообразность его учета.

4. Расчет надежности системы противопожарной защиты Система противопожарной защиты, используемая на исследуем объекте, соответствует схеме, изображенной на рисунке 4.6 в. Надежность системы для данной схемы рассчитаем с учетом полученной (выше) технической эффективности. Для СПС и СПД воспользуемся статистическими данными ВНИИПО (таблица 4.1). Коэффициент соответствия для СПТ примем равным нормативному значению, $K_{СПТ} = 0,9$. Согласно формуле (4.1.6):

$$K_{СПЗ+СПТ} = 0,83 \cdot [1 - 0,1 \cdot (1 - 0,73) \cdot (1 - 0,88)] = 0,8273.$$

5. **Проанализируем** величину пожарного риска для полученных данных: время эвакуации с 14-го этажа без учета задержки начала эвакуации $t_{ЭВ} \sim 10,66$ мин; вероятность присутствия людей примем за $P_{ПР} = \frac{8}{24} = 0,33$; частота возникновения пожара в течение года $q = 0,0203$. Величину ИПР рассчитаем для случая $t_{ЭВ} < 0,8 \cdot t_{БЛ} < (t_{ЭВ} + t_{НЭ})$. Время задержки эвакуации рассчитаем при инерционности СПС, $t_{ИН} = 1,5$ мин, $t_{предв} = 0,5$ мин. Величину ИПР построим для времени блокировки $t_{БЛ} = 15,82$ мин, для различных значений надежности СОУЭ и СПС (рисунок 5.7).

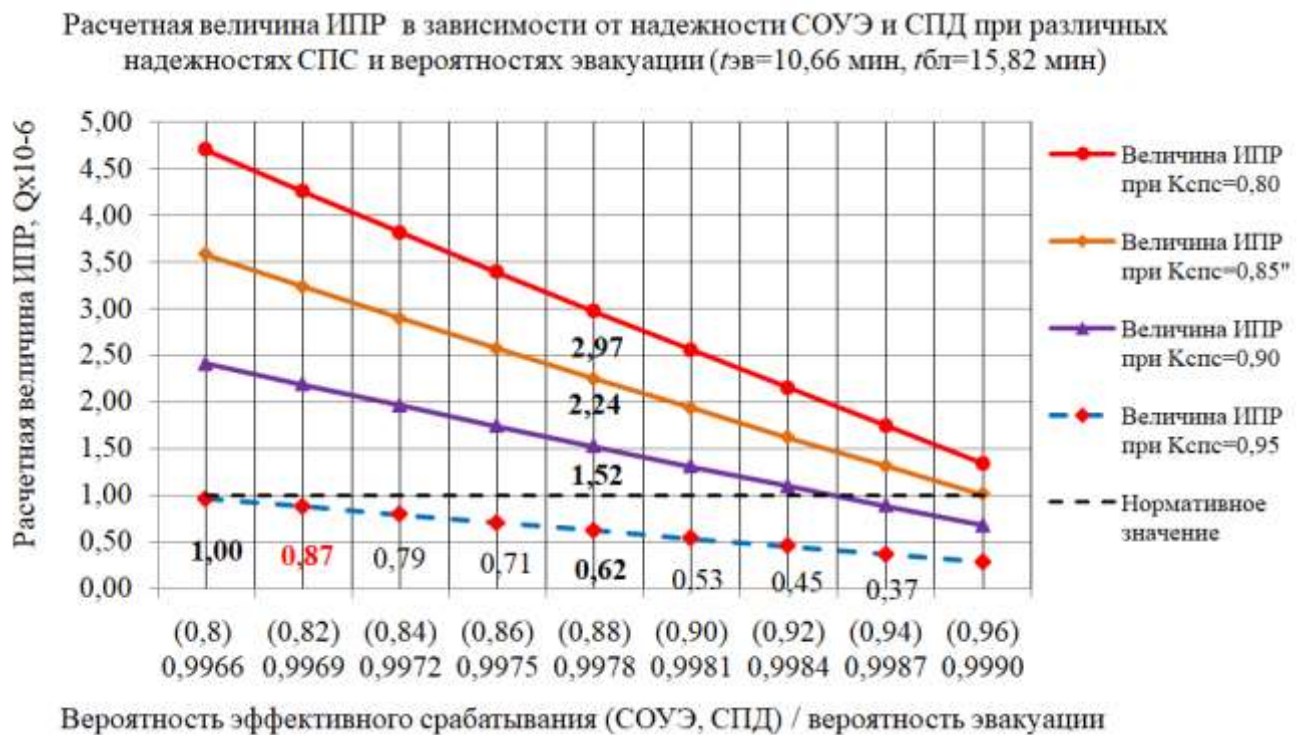


Рисунок 5.7 – Расчетная величина ИПР в зависимости от надежности СОУЭ и СПД при различных надежности СПС

Анализ полученных результатов. 1. Из графика следует: 1. При нормативных значениях коэффициентов соответствия (надежности или вероятности эффективного срабатывания) СОУЭ, СПС, СПД равных 80%,

СПТ (90%), расчетное значение ИПР превышает минимально-необходимое в 4,7 раз. 2. При надежности СПС (80%), СОУЭ, СПД (88%), расчетное значение ИПР превышает минимально-необходимое в 2,97 раз. 3. Для применяемой СПЗ пожарный риск может достичь нормативного уровня при надежности СПС (85%) и надежности СОУЭ, СПД (96%), при надежности СПС (95%) надежность СОУЭ, СПТ не должна снижаться ниже 80%. Надежность СПС, $K_{СПС} = 0,95$, вполне достижима (реальна) при периодическом обслуживании и своевременном устранении неисправностей. 4. К сожалению, в используемом структурном построении величина надежности СОУЭ не оказывает существенного влияния на величину ИПР вследствие ее низкой структурной значимости. В других структурных построениях СПЗ результат может оказаться совершенно иным.

5.4. Выводы по пятой главе

1. В результате проверки правильности размещения РО и ЭАР в офисных помещениях, коридорах и лифтовом холле 9-го и минус первого этажа здания было установлено: общий электроакустический расчет на предмет соответствия требованиям НД по ПБ выполнен корректно. Расчет коэффициента топологической эффективности для 9-го этажа позволил выявить ряд нарушений, снизивших эффективность озвучивания на 9 %. Акустические расчеты в двух офисных помещениях позволили выявить места избыточной громкости (мощность исследуемого РО завышена в 4 раза), результатом которой может быть как недостаточная речевая разборчивость, так и испуг. Для наиболее реверберируемого помещения (столовой) коэффициент слоговой разборчивости оказался невысоким (56,7%).

2. В результате проверки эффективности применяемого алгоритма работы СОУЭ было установлено, что при количестве людей на этаже менее нормативного значения, применяемый циркулярный алгоритм оповещения вполне обоснован. При увеличении количества людей может понадобиться более сложный сценарий эвакуации, для которого были рассчитаны ориентировочные значения задержек

оповещения верхних и нижних этажей, построены возможные маршруты эвакуации. Теоретические расчеты времени эвакуации подтверждены практическими измерениями с точностью не менее 94 %.

3. Расчет надежности (основного блока) комбинированной системы RA-8236, используемой в составе СОУЭ в виде средней наработки на отказ (54682 часа), полностью подтвержден эксплуатационными данными. Расчет надежности применяемой СОУЭ показал, что при своевременном обслуживании общая надежность СОУЭ не превышает нормативного значения, предлагаемого РНД 70-16-90 (95%). Теоретически рассчитанное значение оперативной готовности СОУЭ составило 96%. Расчет технической эффективности СОУЭ позволил оценить реальное значение работоспособности СОУЭ. Рассчитанное значение коэффициента технической эффективности - 88%, вполне соответствует статистическим данным ВНИИПО.

4. Проведенное исследование реального объекта защиты (торгово-офисного центра) позволило определить структуру применяемой СПЗ и установить высокую структурную значимости СПС. Значение коэффициента соответствия СПЗ, рассчитанного на исследуемом объекте защиты, составило 79,6 %, в то время как коэффициент соответствия, рассчитанный согласно нормативной методике, составляет 98,7%. Теоретическая оценка коэффициента соответствия СПЗ в совокупности с расчетом величины ИПР позволили получить следующее заключение: для применяемой СПЗ пожарный риск может достичь нормативного уровня при надежности СПС (не ниже 85%), надежности СОУЭ и СПД (не ниже 96 %), а при надежности СПС (95%) надежность СОУЭ и СПД не должна снижаться ниже 80 %.

6. ВЫВОДЫ ПО РАБОТЕ

1. Предложены научно обоснованные методики электроакустических расчётов, расчета надежности и технической эффективности, а также методики построения и обоснования алгоритма функционирования СОУЭ, позволяющие повысить качество проектных решений и точность расчета величины ИПР.

2. Разработана методика расчёта коэффициента топологической эффективности и оценки речевой разборчивости, позволяющая обеспечить и оценить качество озвучивания защищаемых помещений; подобрать параметры и оптимизировать места размещения речевых оповещателей, сформировать оптимальный состав технических средств СОУЭ; разработать дополнительные акустические мероприятия, повышающие разборчивость речевых команд и инструкций персоналу, достоверность информации о путях эвакуации посетителям общественных и жилых зданий с целью сокращения времени задержки начала эвакуации. Экспериментально установлено, что данные, рассчитанные согласно вышеуказанной методике, соответствуют практическим измерениям. Степень отклонения расчетных уровней звукового давления от измеренных в исследуемом торгово-офисном центре не превосходит полутора процентов (1,5 %), что позволяет рекомендовать разработанную методику для практического использования.

3. Предложен и экспериментально подтвержден способ расчёта времени задержки начала эвакуации, использующийся в нормативной методике расчёта величины ИПР. Результаты теоретических расчётов согласно упрощенной модели движения людей в совокупности с предложенным способом расчета задержки начала эвакуации для трехэтапного алгоритма эвакуации соответствуют практическим измерениям с точностью не менее 94 %. Таблично-информационное представление входных параметров в виде зон обнаружения пожара и выходных данных в виде последовательности и задержек включения зон оповещения предложено интегрировать в общую структуру ПБ объекта защиты – «Пожарная матрица». Разработанные алгоритмы поэтапной эвакуации и способы

их обоснования позволят избежать скоплений и столкновений, сократить общее время эвакуации людей при пожаре.

4. Разработана и теоретически обоснована методика расчета обобщенного коэффициента технической эффективности СОУЭ, учитывающего надёжность и снижение работоспособности системы на всех этапах постпроизводственного цикла. Предложенный коэффициент как альтернатива безусловного коэффициента, используемого в нормативной методике со значением 80 %, позволяет более точно оценить величину ИПР. Значение коэффициента технической эффективности, рассчитанное для речевой СОУЭ IV типа, эксплуатируемой в исследуемом торгово-офисном центре, составило 88 %, что соответствует усредненным статистическим данным по работоспособности СОУЭ за период с 2013 по 2021 г.

5. Установлено, что для повышения точности расчёта величины ИПР необходимо учитывать не теоретическую, а практическую структуру пожарной автоматики. В качестве одного из эффективных способов расчета надежности СПЗ предложено использовать логико-вероятностный подход, позволяющий быстро и эффективно рассчитать величину надежности для любого структурного построения системы пожарной автоматики.

6. Показано, что использование функциональных параметров СОУЭ, рассчитанных по предложенным методикам, по сравнению с параметрами, используемыми в традиционных подходах, позволят повысить точность расчета величины ИПР более чем в два раза. Предлагаемые теоретически значимые исследования будут востребованы для практического использования инженерами-проектировщиками СОУЭ, расчетчиками ИПР, монтажными и эксплуатирующими организациями при проверке работоспособности СОУЭ, сотрудниками надзорных органов при аудите объекта защиты, в научных и учебных целях.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. О техническом регулировании: Федеральный закон от 27 декабря 2002 г. №184-ФЗ: [Принят Государственной Думой 15.12.2002. Одобрен Советом Федерации 18.12.2002] – ред. от 02.07.2021, с изм. и доп., вступ. в силу с 23.12.2002.
3. Технический регламент о требованиях пожарной безопасности: Федеральный закон от 22 июля 2007 г. №123-ФЗ.
4. О требованиях к средствам обеспечения пожарной безопасности и пожаротушения: Технический регламент Евразийского экономического союза (ТР ЕАЭС 043/2017), принятый Решением Совета Евразийской экономической комиссии от 23 июня 2017 г. № 40.
5. Об утверждении Правил противопожарного режима в Российской Федерации: Постановление Правительства Российской Федерации от 16 сентября 2020 г. № 1479.
6. СП 3.13130.2009. Системы противопожарной защиты. Система оповещения и управления эвакуацией людей при пожаре. Требования пожарной безопасности. М.: ФГУ ВНИИПО МЧС России, 2009.
7. ГОСТ Р 53325–2009. Технические средства пожарной автоматики. Общие технические требования. Методы испытаний. М.: Стандартинформ, 2009.
8. ГОСТ 34699-2020. Технические средства оповещения и управления эвакуацией пожарные. Общие технические требования. Методы испытаний. М.: Российский институт стандартизации, 2021.
9. ГОСТ Р 59639-2021. Системы оповещения и управления эвакуацией людей при пожаре. Руководство по проектированию, монтажу, техническому обслуживанию и ремонту. Методы испытаний на работоспособность [дата введения 15.09.2021].
10. ГОСТ 12.1.004–91. Система стандартов безопасности труда. Пожарная безопасность. Общие требования. М.: Издательство стандартов, 1991.

11. Методика определения расчетных величин пожарного риска в зданиях, сооружениях и строениях различных классов функциональной пожарной опасности: приложение к Приказу МЧС России от 30.06.2009 № 382; зарег. в Минюсте РФ 06.08.2009 г., рег. № 14486. URL: <http://www.mchs.gov.ru>.

12. Об утверждении методики определения расчетных величин пожарного риска на производственных объектах (с изменениями и дополнениями): Приказ МЧС РФ от 10.07.2009 № 404.

13. Об утверждении методики определения расчетных величин пожарного риска в зданиях, сооружениях и строениях различных классов функциональной пожарной опасности: Приказ МЧС России от 14.11.2022 №1140; зарег. в Минюсте России 20 марта 2023 г. № 72633.

14. Пожары и пожарная безопасность в 2013 году: статистический сборник / под общ. ред. В.И. Климкина. М.: ВНИИПО, 2014. 140 с.

15. Пожары и пожарная безопасность в 2014 году: статистический сборник / под общ. ред. А. В. Матюшина. М.: ВНИИПО, 2015. 124 с.

16. Пожары и пожарная безопасность в 2015 году: статистический сборник / под общ. ред. Д.М. Гордиенко. М.: ВНИИПО, 2016. 137 с.

17. Пожары и пожарная безопасность в 2016 году: статистический сборник / под общ. ред. В.И. Климкина. М.: ВНИИПО, 2017. 137 с.

18. Пожары и пожарная безопасность в 2017 году: статистический сборник / под общ. ред. А. В. Матюшина. М.: ВНИИПО, 2018. 124 с.

19. Пожары и пожарная безопасность в 2018 году: статистический сборник / под общ. ред. Д.М. Гордиенко. М.: ВНИИПО, 2019. 125 с.

20. Пожары и пожарная безопасность в 2019 году: статистический сборник / под общ. ред. Д.М. Гордиенко. М.: ВНИИПО, 2020. 80 с.

21. Пожары и пожарная безопасность в 2020 году: статистический сборник / под общ. ред. Д.М. Гордиенко. М.: ВНИИПО, 2021. 112 с.

22. Пожары и пожарная безопасность в 2021 году. Статистика пожаров и их последствия: статистический сборник / В.С. Гончаренко, Т.А. Чечетина, В.И. Сибирко, С.И. Мартемьянов, О.В. Надточий (ФГБУ ВНИИПО МЧС России);

П.В. Полехин, А.А. Козлов, М.А. Чебуханов (ДНПР МЧС России). М.: ВНИИПО, 2022. 114 с.

23. Пожары и пожарная безопасность в 2022 году. Статистика пожаров и их последствия: информационно-аналитический сборник / В.С. Гончаренко, Т.А. Чечетина, В.И. Сибирко, О.В. Надточий (ФГБУ ВНИИПО МЧС России); рец. д-р техн. наук, проф. С.В. Соколов (Академия ГПС МЧС России). М., 2023. 80 с.

24. Мировая пожарная статистика / Н.Н. Брушлинский [и др.]. М.: Академия ГПС МЧС России, 2011. 52 с.

25. Пожарная безопасность. Энциклопедия / научно-редакционный совет: С.К. Шойгу (председатель), М.М. Верзилин, Г.Н. Кириллов, Н.П. Копылов, Ю.П. Ненашев, М.И. Фалеев, А.П. Чуприян. М.: ФБГУ ВНИИПО МЧС России, 2007. 416 с.

26. Свидетельство о регистрации базы данных RU 2022620068. Результаты исследования систем противопожарной защиты АПС, СОУЭ, дымоудаления и др. на объектах, расположенных на территории Свердловской области, в период с 2011 по 2021 годы. Заявка № 2021623271 от 22.12.2021; дата публ. 12.01.2022, объем 2627 МБ / Д.В. Бессонов, Н.О. Девяткин, А.Ю. Акулов, О.Ю. Демченко, О.Ю. Щеткин, А.С. Криворогова, Д.В. Горло, П.А. Евстигнеев; правообладатель: ФГБОУ ВО «Уральский институт ГПС МЧС России».

27. ГОСТ Р 55201-2012. Безопасность в чрезвычайных ситуациях. Порядок разработки перечня мероприятий по гражданской обороне, мероприятий по предупреждению чрезвычайных ситуаций природного и техногенного характера при проектировании объектов капитального строительства [дата введения 1 июля 2013 года].

28. ГОСТ Р 53195.1-2008. Безопасность функциональная связанных с безопасностью зданий и сооружений систем. Часть I [дата введения 2010-01-01]. М.: Стандартиформ, 2009.

29. ГОСТ Р 42.3.01-2021. Гражданская оборона. Технические средства оповещения населения. Классификация. Общие технические требования. М: Стандартиформ, 2021.

30. Об утверждении Положения о системах оповещения населения: Приказ МЧС России и Министерства цифрового развития, связи и массовых коммуникаций РФ от 31.07.2020 № 578/365.

31. Об организации оповещения населения города Москвы о чрезвычайных ситуациях: Постановление правительства РФ от 01.12.2015 № 795-ПП.

23. Об утверждении требований к функциональным свойствам технических средств обеспечения транспортной безопасности и Правил обязательной сертификации технических средств обеспечения транспортной безопасности: Постановление Правительства РФ от 26.09.2016 № 969.

33. Руководство по проектированию систем звукового обеспечения на строящихся и реконструируемых объектах г. Москвы. М., 2000.

34. ГОСТ Р 55199-2012. Гражданская оборона. Оценка эффективности топологии оконечных устройств оповещения населения. М.: Стандартинформ, 2014.

35. Холщевников В.В., Никонов С.А. Проблемы обеспечения безопасности людей при пожарах на стадии проектирования зданий и сооружений // Проблемы обеспечения пожарной безопасности зданий и сооружений: материалы семинара. М.: Знание, 1989.

36. Дутов В.И., Чурсин И.Г. Психофизиологические и гигиенические аспекты деятельности человека при пожаре. М., 1993. 299 с.

37. Холщевников В.В., Самошин Д.А. Эвакуация и поведение людей при пожарах: учеб. пособие. М.: Академия ГПС МЧС России, 2009. 212 с.

38. Парадоксы нормирования обеспечения безопасности людей при эвакуации из зданий и пути их устранения / В.В. Холщевников [и др.] // Пожаровзрывобезопасность. 2011. Т. 20. № 3. С. 41–51.

39. Холщевников В.В., Серков Б.Б. Значимость автоматических систем противопожарной защиты для обеспечения безопасности людей в высотных зданиях // Пожаровзрывобезопасность. 2017. Т. 26. № 9. С. 44–53.

40. Холщевников В.В., Сёмин А.А., Тактаев И.А. Исследование значений времени начала эвакуации в зданиях лечебных учреждений // Вестник Томского

государственного архитектурно-строительного университета. 2021. Т. 23. № 1. С. 105–115.

41. Исследование времени начала эвакуации людей в жилых многоквартирных зданиях без систем оповещения о пожаре / Д.А. Самошин [и др.] // Пожаровзрывобезопасность. 2022. Т. 31. № 4. С. 38–55.

42. СНиП 23–03–2003. Защита от шума. М.: ФГУП ЦПП, 2004. 32 с.

43. Sound Acoustic Design JBL, JBL Professional U.S.A, 1999. URL: [www/jblpro.com](http://www.jblpro.com) (дата обращения 14.01.2024).

44. Проектирование систем оповещения и управления эвакуацией людей при пожарах в общественных зданиях: пособие к СНиП 2.08.02-89 / Б.А. Мешалкин, С.А. Никонов, С.В. Тадеуш (ВНИИПО МВД РФ), Г.Д. Брусельцева (АПКИ «Спецавтоматика», г. Новосибирск). М.: Ассоциация «Пожарная информатика и техника», 1992. 35 с.

45. Храпский С.Ф., Бедрина Е.А. Расчетное обоснование алгоритмов оповещения и эвакуации людей при пожаре в соответствии с вариантами местоположения его очага и динамики развития горения // Динамика систем, механизмов и машин. 2021. Т. 9. № 3. С. 46–50.

46. Pathfinder. Agent Based Evacuation Simulation. URL: <http://www.thunderheadeng.com/pathfinder>.

47. Thunderhead engineering Pathfinder Technical Reference Manual. Version: 2023-2. URL: <https://teci.imgix.net/support/documents/pathfinder-technical-reference-manual-2023-2.pdf>.

48. Информационные технологии в области численного моделирования развития пожаров и эвакуации в зданиях в Красноярске / К.Ю. Литвинцев [и др.] // Проблемы информатизации региона: материалы XIII Всероссийской научно-практической конференции, Красноярск, 19–20 ноября 2013 г. Красноярск, 2013. С. 198–205.

49. Margrethe Kobes, Ira Helsloot, Bauke de Vries, Jos G. Post Building safety and human behaviour in fire: A literature review Conference: International Symposium

for Smarts and Sustainable Cities I3SC'18, 01-02 juillet, 2018, ESC, TIPAZA, Algérie At: ESC, TIPAZA, Algérie July 2018.

50. Особенности разработки и применения систем оповещения и речевой трансляции для обеспечения пожарной безопасности объектов защиты / М.А. Колбашов [и др.] // Актуальные вопросы совершенствования инженерных систем обеспечения пожарной безопасности объектов: сборник материалов IX Всероссийской научно-практической конференции, посвященной 90-летию образования гражданской обороны. Иваново: Ивановская пожарно-спасательная академия ГПС МЧС России, 2022. С. 155–162.

51. Wood P. G. The Behaviour People in Fires. British Note 933, November, 1972.

52. Bryan, J. (1983), Implications for Codes and Behavior Models From the Analysis of Behavior Response Patterns in Fire Situations as Selected From the Project People and Project People II Study Programs. Final Report., National Institute of Standards and Technology, Gaithersburg, MD (Accessed March 14, 2024).

53. Human Behaviour in Fire. Proceedings of the First International Symposium, Belfast, UK, University of Ulster, 1998.

54. Парфёненко А.П. Методология моделирования людских потоков и практика программирования их движения при эвакуации // Пожаровзрывобезопасность. 2014. Т. 23. № 12. С. 46–55.

55. Алексеев А.В. Диагностика и надежность автоматизированных систем: электрон. образоват. контент в системе дистанц. обучения Moodle / М-во образования и науки Рос. Федерации, Самар. гос. аэрокосм. ун-т им. С.П. Королева (нац. исслед. ун-т) (СГАУ); [авт.-сост. А.В. Алексеев]. Самара, 2013. URL: <http://repo.ssau.ru>.

56. Неплохов И.Г. Расчет пожарного риска и теория вероятности // Системы безопасности. 2012. № 4. С.66–70.

57. Шаровар Ф.И. Пожаропредупредительная автоматика. Теория и практика предотвращения пожаров от маломощных загораний: монография. М.: Специнформатика-СИ, 2013. 556 с.

58. Арутюнян Д.М. Новые технологии гарантированного предотвращения пожаров: монография. М.: Специнформатика-СИ, 2014. 232 с.
59. РНД 73-16-90. Методика по расчету показателей надежности системы оповещения о пожаре и управления эвакуацией при пожаре. Новосибирск: ГПКИ «Спецавтоматика», 1990 [дата введения 01.09.1990].
60. ГОСТ 27.002-2015. Надежность в технике. Термины и определения [дата введения 2017-03-01]. М.: Стандартиформ, 2016.
61. ГОСТ Р 27.013-2019 (МЭК 62308:2006). Надежность в технике. Методы оценки показателей безотказности [дата введения 2020-07-01]. М.: Стандартиформ, 2019.
62. ГОСТ Р 27.010-2019 (МЭК 61703:2016). Надежность в технике. Математические выражения для показателей безотказности, готовности, ремонтпригодности. М.: Стандартиформ, 2019.
63. Мироненко Я. Вероятность эффективной работы технических средств обеспечения пожарной безопасности // Алгоритм безопасности. 2014. № 6. С. 68–71.
64. Теория надежности радиоэлектронных систем в примерах и задачах: учеб. пособие для студентов радиотехн. специальностей вузов / Г.В. Дружинин [и др.]; под ред. Г.В. Дружинина. М.: Энергия, 1976. 448 с.
65. Дружинин Г.В. Надежность автоматизированных производственных систем. Изд. 3-е, перераб. и доп. М.: Энергия, 1977. 536 с.
66. Брагин М.А. Разработка рекомендаций по повышению эффективности функционирования технических систем противопожарной защиты в зданиях повышенной этажности: дис. ... канд. техн. наук: 05.26.01. М., 1984. 246 с.
67. Бубырь Н.Ф., Бабуров В.П., Потапов В.А. Производственная и пожарная автоматика. Часть II. Пожарная автоматика. М.: ВИПТШ, 1986. 296 с.
68. Производственная и пожарная автоматика. Ч. 1. Производственная автоматика для предупреждения пожаров и взрывов. Пожарная сигнализация: учебник / А.А. Навацкий [и др.]; научн. ред. канд. техн. наук, доц. А.А. Навацкий. М.: Академия ГПС МЧС России, 2005. 335 с.

69. Бабурин В.В. Производственная и пожарная автоматика. Часть II. Пожарная автоматика. Методические указания по выполнению курсового проекта для слушателей факультета заочного обучения / Фомин В. И. [и др.]. М.: Академия ГПС МЧС России, 2005. – 43 с.
70. Производственная и пожарная автоматика. Ч. 2. Автоматические установки пожаротушения: учебник / В.П. Бабуров [и др.]. М.: Академия ГПС МЧС России, 2007. 298 с.
71. Шаровар Ф.И. Принципы построения устройства и систем автоматической пожарной сигнализации. М.: Стройиздат, 1983. 334 с.
72. Шаровар Ф.И. Методы раннего обнаружения загораний. М.: Стройиздат, 1988. 336 с.
73. Кононенко В.Н. Надежность и живучесть систем связи и оповещения // Технологии гражданской безопасности. 2008. № 5. С. 81–96.
74. Белов Н.А., Черненькая Л.В. Анализ надежности распределенной системы оповещения // Наука и бизнес: пути развития. 2020. № 12 (114). С. 82–85.
76. СП 1.13130-2020. Системы противопожарной защиты. Эвакуационные пути и выходы. М.: Стандартинформ, 2020.
77. ГОСТ Р 42.3.01-2014. Гражданская оборона. Технические средства оповещения населения. Классификация. Общие технические требования. М: Стандартинформ, 2014.
78. Кочнов О.В. Роль системы оповещения в задаче эвакуации людей // Алгоритм безопасности. 2019. № 6. С. 78–82.
79. ГОСТ Р 56936-2016. Технические системы безопасности. Производственные услуги. Этапы жизненного цикла систем. Общие требования. М.: Стандартинформ, 2016.
80. Якунькин Д.В. Техническое проектирование систем оповещения и управления эвакуацией людей при пожаре // Алгоритм безопасности. 2006. № 4. С. 64–68.
81. Альшевский М., Пинаев А. СОУЭ Общие требования и параметры // Алгоритм безопасности. 2008. № 2. С. 46–49.

82. Шакирова, А.Ф. Особенности проектирования систем оповещения и управления эвакуацией для торгово-развлекательных комплексов // Технологии техносферной безопасности: интернет-журнал. 2009. № 3. С. 1–5. URL: <http://www.ipb.mos.ru/ttb>.

83. Гильченко О.Л., Петриченко И.П., Чистякова М.А. Анализ этапа разработки структуры и расчета основных параметров при проектировании современных автоматизированных систем оповещения и управления эвакуацией // Промышленные АСУ и контроллеры. 2010. № 4. С. 17–19.

84. Чепрасов С.А. Обоснование применения систем оповещения и управления эвакуацией (СОУЭ) людей при пожарах в зданиях и сооружениях // Вестник Воронежского института ГПС МЧС России. 2015. № 2 (15). С. 25–31.

85. Кадяев М.А., Кривобородов А.С., Мальцев А.С. Актуальность установки СОУЭ на объектах защиты // Пожарная безопасность: проблемы и перспективы. 2018. Т. 1. № 9. С. 305–307.

86. Кутузов В.В., Талировский К.С., Хамаза Д.С. Эффективность применения СОУЭ на объектах с массовым пребыванием людей, проблемы и пути их решения // Достижения науки и образования. 2018. № 15 (37). С. 9–13.

87. Еремин Д.В. Значимость выбора СОУЭ для зданий с массовым пребыванием людей // Интернаука. 2023. № 30-1(300). С. 46–49.

88. Адамов Д.С., Зенкова И.Ф., Шарапов М.А. Анализ практики применения национального стандарта ГОСТ Р 59639-2021 (СОУЭ) // Актуальные вопросы совершенствования инженерных систем обеспечения пожарной безопасности объектов: сборник материалов X Всероссийской научно-практической конференции. Иваново: Ивановская пожарно-спасательная академия ГПС МЧС России, 2023. С. 19–23.

89. Епифанов Е.Н. Разработка методологических основ акустического проектирования системы речевого оповещения при пожаре в зданиях с массовым пребыванием людей: дис. ...канд. техн. наук: 01.04.06 – Акустика. СПб.: Балтийский государственный технический университет «ВОЕНМЕХ» им. Д.Ф. Устинова, 2019. 224 с.

90. Методика электроакустического расчета «Тромбон». URL: https://www.trombon.org/files/2015/trombon_metodika_%202__2015.pdf.
91. Семенова Е.В., Бойков Е.А. Реализация методики электроакустического расчета СОУЭ // Вестник Воронежского института высоких технологий. 2020. № 4 (35). С. 11–14.
92. ГОСТ Р 52742-2007. Каналы и тракты звукового вещания. Типовые структуры. Основные параметры качества. Методы измерений. М: Стандартинформ, 2014.
93. Системы оповещения и проводной связи: учеб. пособие / А.С. Мальцев [и др.]. М.: Академия ГПС МЧС России, 2021. 118 с.
94. Официальный сайт компании «Нанософт». URL: <https://www.nanocad.ru/> (дата обращения 07.02.2024).
95. Официальный сайт компании ООО «Рокстон Системы» [Сайт]. URL: <https://www.roxton.ru/> (дата обращения 21.01.2024).
96. СП 484.1311500.2020. Системы противопожарной защиты. Системы пожарной сигнализации и автоматизация систем противопожарной защиты. Нормы и правила проектирования. М.: Стандартинформ, 2020.
97. ГОСТ Р 59638-2021. Системы пожарной сигнализации. Руководство по проектированию, монтажу, техническому обслуживанию и ремонту. Методы испытаний на работоспособность [дата введения 15.09.2021]. М.: Стандартинформ, 2021.
98. Свод правил СП 6.13130.2021. Системы противопожарной защиты. Электроустановки низковольтные. Требования пожарной безопасности. М.: Стандартинформ, 2021.
99. NFPA 72. National Fire Alarm Code.
100. NFPA 72-2019 «National Fire Alarm and Signaling Code».
101. IEC 60849. Sound systems for emergency purposes.
102. SIST EN 54-16:2008 --Fire detection and fire alarm systems – Part 16: Voice alarm control and indicating equipment.

103. SIST EN 54-24:2008 – Fire detection and fire alarm systems – Part 24: Components of voice alarm systems – Loudspeakers.
104. IEC 62881-2018 «Cause and effect matrix».
105. Кочнов О.В. Специфика проектирования систем проводного речевого оповещения: монография. Казань: Издательство «БУК», 2023. 312 с.
106. ГОСТ Р 53575-2009 (МЭК 60268-5:2003). Громкоговорители. Методы электроакустических испытаний. М: Стандартинформ 2011.
107. ГОСТ Р 53033-2008. Громкоговорители рупорные. Общие технические условия. М.: Стандартинформ, 2009.
108. Официальный сайт НВП «Болид» [Сайт]. URL: <https://bolid.ru/> (дата обращения 14.01.2024).
109. Сапожков М.А. Электроакустика. М.: Издательство Связь, 1978. 272 с.
110. Акустика: учебник для вузов / Ш.Я. Вахитов [и др.]; под ред. Ю.А. Ковалгина. М.: Горячая линия-Телеком, 2009. 660 с.
111. Кочнов О.В. Акустический расчет в защищаемом помещении // Интеграция науки и практики как механизм развития современного общества: материалы XVII научно-практической конференции, Москва, 8–9 октября 2015 г. М.: Научно-информационный издательский центр «Институт стратегических исследований», 2015. С. 34–47.
112. Кочнов О.В. Методика расчета индекса направленности громкоговорителей // Вестник научных конференций. 2017. № 6–1 (22). С. 51–60.
113. Результаты испытаний рупорных громкоговорителей ROXTON / О.В. Кочнов [и др.] // Вестник Воронежского института ГПС МЧС России (Современные проблемы гражданской защиты). 2018. № 3 (28). С. 27–32.
114. ГОСТ Р ИСО 3744–2013. Акустика. Определение уровней звуковой мощности и звуковой энергии источников шума по звуковому давлению. Технический метод в существенно свободном звуковом поле над звукоотражающей плоскостью ISO 3744:2010 Acoustics – Determination of sound power levels and sound energy levels of noise sources using sound pressure —

Engineering methods for an essentially free field over a reflecting plane. М: Стандартиформ, 2014.

115. СП 51.13330.2011. Защита от шума. М.: Минрегион России, 2011.

116. ГОСТ Р ИСО 3382-1-2013. Акустика. Измерение акустических параметров помещений. Часть 1. Зрительные залы ISO 3382-1:2009 Acoustics — Measurement of room acoustic parameters – Part 1: Performance spaces (IDT) Издание официальное. М.: Стандартиформ, 2014.

117. Кочнов О.В. Расчет сечения жилы провода в распределенных системах оповещения и звуковой трансляции // Интеграция науки и практики как механизм эффективного развития современного общества: материалы VIII научно-практической конференции, 15–16 октября 2014. М.: Научно-информационный издательский центр «Институт стратегических исследований», 2014. С. 36–48.

118. ГОСТ 16600-72. Передача речи по трактам радиотелефонной связи. Требования к разборчивости речи и методы артикуляционных измерений. М., 1973.

119. Крендалл И.Б. Акустика; пер. с англ.; изд. 4-е. М.: Книжный дом Либерком, 2009. 168 с.

120. Кнудсен В.О. Архитектурная акустика; пер. с англ. / под ред. Я.А. Копиловича, Л.Д. Брызжева; изд. 5-е. М.: Издательство ЛКИ, 2010. 520 с.

121. Железняк В.К. Защита информации от утечки по техническим каналам: учебное пособие. СПб., 2006. 188 с.

122. Железняк В.К., Макаров Ю.К., Хорев А.А. Некоторые методические подходы к оценке эффективности защиты речевой информации // Специальная техника. 2000. № 4. С. 39.

123. ГОСТ Р ИСО 9921-2013. Эргономика. Оценка речевой связи. М.: Стандартиформ, 2014.

124. Сапожков М.А. Звукофикация помещений: проектирование и расчет. М.: Связь, 1979. 144 с.

125. Акустика / А.П. Ефимов [и др.]; под ред. М.А. Сапожкова. 2-е изд., перераб. и доп. М.: Радио и связь, 1989. 336 с.

126. Макриненко Л.И. Акустика помещений общественных зданий. М.: Стройиздат, 1986. 173 с.
127. Ефимов А.П. Три взгляда на акустику помещений // Install-pro. 2000. №№ 3–7. URL: <http://www.install-pro.ru>.
128. Продеус А.Н. О некоторых особенностях развития объективных методов измерений разборчивости речи // Электроника и связь. Тематический выпуск «Электроника и нанотехнологии». 2010. № 2. С. 217–223.
129. Надежность и эффективность в технике: справочник. В 10 т. Т. 3: Эффективность технических систем / В.У. Торбин [и др.]; под ред. В.Ф. Уткина, Ю.В. Крючкова. М., 1988. 328 с.
130. Методические рекомендации по созданию и реконструкции систем оповещения населения. Утв. МЧС России 19 февраля 2021 г. № 1.
131. Кочнов О.В. Электроакустический расчет, выполняемый при проектировании СОУЭ // Интеграция науки и практики как механизм развития современного общества: материалы XV научно-практической конференции, Москва, 8–9 апреля 2015 г. М.: Научно-информационный издательский центр «Институт стратегических исследований», 2015. С. 25–55.
132. Кочнов О.В., Кочегаров А.В., Куприенко П.С. Специфика расчета вероятности эвакуации людей при оценке величины индивидуального пожарного риска // Гражданская оборона и природно-технические системы: сборник статей по материалам XVIII Международной научно-практической конференции. Воронеж, 2022. С. 356–361.
133. РД 50-34.698-90. Методические указания. Информационная технология. Комплекс стандартов и руководящих документов на автоматизированные системы. Автоматизированные системы. Требования к содержанию документов. М.: ИПК издательство стандартов, 2002.
134. О составе разделов проектной документации и требованиях к их содержанию: Постановление Правительства РФ от 16.02.2008 № 87.

135. Специфика проектирования систем оповещения / О.В. Кочнов [и др.] // Вестник Воронежского института ГПС МЧС России (Современные проблемы гражданской защиты). 2018. № 1 (26). С. 64–70.
136. Ерёмин Н.Н. Описание алгоритма «Пожарная матрица» // Алгоритм безопасности. 2019. № 1. С. 60–63.
137. Спрингер В. Гид по Computer Science для каждого программиста. СПб.: Питер, 2020. 192 с.
138. Автоматизация контроля и испытаний систем управления противопожарной защитой объектов топливно-энергетического комплекса: монография / А.В. Федоров [и др.]. М., 2019. 184 с.
139. Кочнов О.В., Никифоров А.Л. Основные подходы к построению обобщенной оценки эффективности систем оповещения и управления эвакуацией людей при пожаре // Пожарная и аварийная безопасность: сборник материалов XVIII Международной научно-практической конференции, Иваново, 23 ноября 2023 г. Иваново: Ивановская пожарно-спасательная академия ГПС МЧС России, 2023. 1204 с.
140. Кочнов О.В. Роль системы оповещения и управления эвакуацией людей при пожаре в вопросе минимизации индивидуального пожарного риска // Современные проблемы гражданской защиты. 2023. № 4 (49). С. 136–143.
141. О расчете вероятности эффективной работы технических средств по обеспечению пожарной безопасности при определении величин пожарного риска на производственных объектах / П.И. Зыков [и др.] // Техносферная безопасность. 2021. № 4 (33). С. 66–71.
142. Острейковский В.А. Теория надежности: учеб. для вузов. М: Высшая школа, 2003. 463 с.
143. Натес В.А. Коэффициент сохранения эффективности и его стандартизация // Надежность. 2021. Т. 21. № 2. С. 3–8.
144. Воздвиженский Ю.М. Количественная оценка эффективности систем связи на основе использования позиномов // Труды учебных институтов связи. 1974. № 69. С. 68–75.

145. Окунев Ю.Б., Плотников В.Г. Системы связи. Принципы системного подхода к проектированию в технике связи. М.: Издательство «Связь», 1976. 184 с.

146. Викторова В.С., Степанянц А.С. Анализ надежности и эффективности многоуровневых технических систем. М.: ЛЕНДАТ, 2020. 168 с.

147. Анализ и расчет надежности систем оповещения и эвакуации людей при пожаре для различных структурных построений / О.В. Кочнов [и др.] // Современные проблемы гражданской защиты. 2023. № 4 (49). С. 144–153.

148. Боровиков С.М. Теоретические основы конструирования, технологии и надежности. Минск, 1998. 335 с.

149. Кочнов О.В., Никифоров А.Л., Новожилова К.А. Аспекты определения эффективности систем оповещения и управления эвакуацией людей при пожаре // Современные проблемы гражданской защиты. 2024. № 2 (51). С. 33–38.

150. Кочнов О.В., Никифоров А.Л., Новожилова К.А. Оценка коэффициентов значимости этапов жизненного цикла СОУЭ на основании результатов экспертного опроса // Современные проблемы гражданской защиты. 2024. № 2 (51). С. 39–46.

Приложение 1

Анализ основных зарубежных требований к проектированию систем оповещения

Рассмотрим **основные подходы к проектированию систем оповещения в зарубежной практике** [99–104]. Европейские стандарты EN 54-16, EN 54-24, американские NFPA 72 содержат рекомендации по применению пожарной сигнализации, систем голосового оповещения и громкоговорителей, активно используемых для совершенствования отечественной нормативной базы. Европейский стандарт указывает, что основная причина использования речевой системы – сокращение времени реакции людей на экстренные сообщения, которые должны быть разработаны заранее, носить характер четких инструкций о дальнейших действиях. В стандартах EN 54-16 системы оповещения о пожаре, называются «оборудованием управления и индикации речевого оповещения» (англ. VACIE – voice alarm control and indicating equipment) (рисунок П1.1).

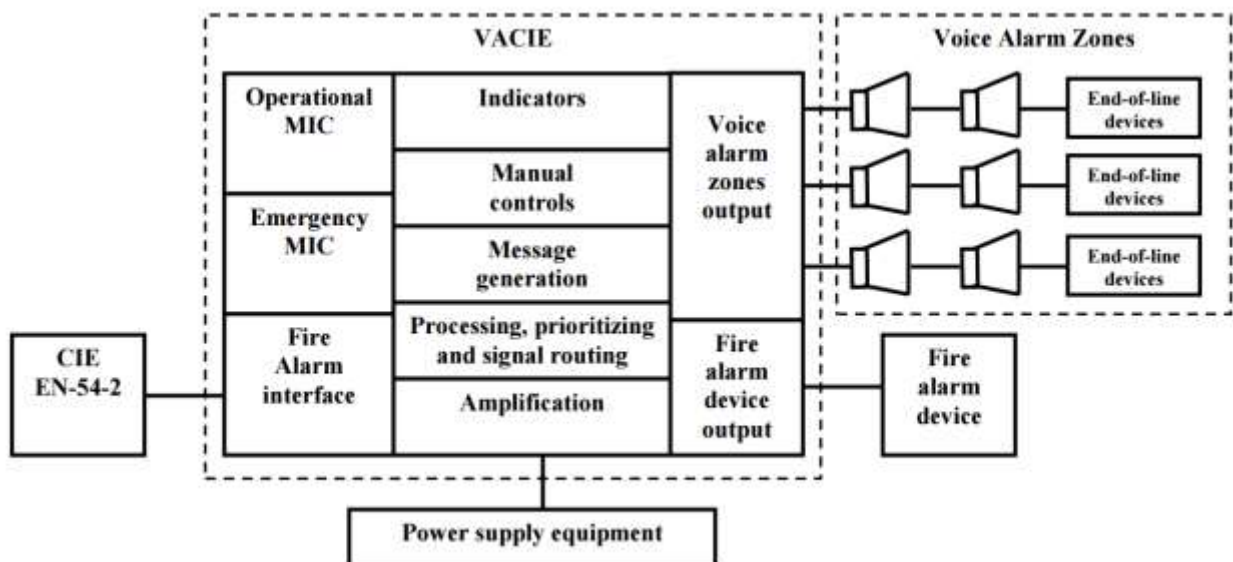


Рисунок П1.1 – Упрощенная схема функционирования аварийной системы
оповещения о пожаре VACIE
(schematic diagram of a simple fire alarm voice alarm system)

Представленная система включает следующие компоненты: operational MIC – рабочий микрофон; emergency MIC – аварийный микрофон; fire alarm interface – интерфейс пожарной сигнализации; manual controls – интерфейс ручного управления; indicators – индикационная панель; message generation – блок (генератор) сообщений; processing, prioritizing and signal routing – блок приоритетов, маршрутизатор сообщений; amplification – система звукоусиления; power supply equipment – источники бесперебойного питания; voice alarm zones output – система управления линиями оповещения, с коммутацией голосовых сообщений; end-of-line devices – терминирующие устройства; fire alarm devices – устройства извещения о пожаре.

Приведем некоторые требования. При поступлении сигнала о пожаре VACIE должна быть автоматически активирована не более чем за 3 с с момента обнаружения пожара. Система должна контролировать: любое короткое замыкание или обрыв линии связи (ЛС) между всеми частями системы, выступающими за пределы одного корпуса, а также между тех средствами и ЛС с громкоговорителями; КЗ или обрыв ЛС аварийного микрофона или его повреждение (обрыв катушки); снижение звукоусиления более чем на 4 дБ; неисправность носителя предварительно записанного сообщения (в отечественных стандартах это т.н. «системная ошибка»). Линии связи должны контролироваться со стороны прибора контроля пожарного (CIE), при этом интерфейс передачи информации о состоянии, контроля входов/выходов CIE и VACIE должен быть двухсторонним. Очень высокими являются требования к **полуавтоматическому** управлению, в частности, к микрофону (требования EN 60268-4). Микрофон должен иметь приоритет над всеми входами; обязательно наличие кнопки «нажми, чтобы говорить (PPT)»; обязательно наличие сигнала привлечения внимания с индикацией включения микрофона. Цвета светоиндикации с 2012 г. применяются и в отечественном стандарте [7]. Требования к соотношению уровней сигналов и шума. Для обеспечения высокого качества звукового тракта предъявляются отдельные требования к частотной характеристике VACIE без микрофона и с микрофоном. Отличительным является

требование к соотношению сигнал/шум. Уровень шума в помещении вместе со всеми сигналами должен быть на 40 дБ ниже, чем средний уровень речевого сигнала. Уровень сигнала для привлечения внимания должен быть на 3 дБ выше, чем средний уровень речевого сигнала. Пиковый уровень речевого сигнала должен быть по крайней мере на 6дБ выше, чем средний уровень речевого сигнала, что требует наличия в системе устройства лимитирования (ограничения) уровней. Важное требование, не реализованное в отечественном стандарте, – наличие резервного усилителя мощности (требование EN 60268-3), его автоматический контроль и переключение не более чем за 10 с, начиная с момента неисправности. Реализация **алгоритма работы** в VACIE возложена на программное обеспечение (ПО). При этом построение интерфейсов для формирования данных не должно вызывать ошибку выполнения программы. ПО должно иметь средства для предотвращения системных ошибок и зависания системы. Данные должны храниться в памяти не менее 10 лет без возможности обслуживания. Стандарт EN 54-24 устанавливает требования к конструкции, надежности громкоговорителей и к условиям окружающей среды, например, тип «А» используется для применения внутри помещений (степень защиты IP21С), тип «В» – для применения снаружи зданий (код IP33С).

Стандарты NFPA находятся в общем доступе для использования в общественных и личных целях, могут использоваться со ссылкой на законодательные и нормативные акты, а также для личного саморегулирования, стандартизации и разработки техник и методов безопасности. В требованиях NFPA также обращено внимание на комбинирование автоматического и автоматизированного режимов управления. Заранее сформированный алгоритм работы системы оповещения выполняется автоматически, но с некоторой задержкой. Приведем пример требований к алгоритму работы средств автоматики и оповещения [80]. При поступлении сигнала о пожаре активируется алгоритм формирования тревоги. Включение оповещения осуществляется ручным или автоматически способом по следующему алгоритму. Для анализа ситуации и принятия решения отводится 15 с. Сигнал подтверждается обученным

персоналом при помощи прибора управления. Если в течение 15 с пожар не подтверждается, формируются дистанционные сигналы управления, автоматически включается система оповещения. Если пожар подтверждается, то персоналу отводится промежуток времени до 180 с для более детального анализа тревоги с возможностью сбросить активацию. Если в течение фазы анализа система не была сброшена или сработал второй пожарный извещатель, происходит немедленная автоматическая активация алгоритма оповещения. Первоначально осуществляется оповещение в зоне, где произошел пожар, полуавтоматический режим, предполагающий участие обученного оператора (при необходимости) реализуется в остальных зонах. Считается, что люди должны прослушать сообщение, как минимум, два раза, прежде чем начнут реагировать [24]. Звуковые и речевые сигналы должны соответствовать национальному стандарту ANSI S3.41 [134] (сигнал длительностью от 4 до 10 с, интервалы между повторами каждого сообщения должны быть не более 30 с). Абсолютный приоритет имеет голосовое сообщение диспетчера, каждое речевое аварийное сообщение должно предваряться сигналом привлечения внимания. Стандарт NFPA уделяет особое внимание роли человеческого фактора (ЧФ), требуя проведения периодических обучений как персонала, так и граждан.

В стандарте NFPA-72-2019 применена следующая классификация систем оповещения: устройства оповещения (Notification Appliance); системы экстренного оповещения (Emergency Communication Systems ECS); аварийные системы оповещения о чрезвычайном положении (Public Emergency Alarm Reporting System). Системы ECS, в свою очередь, делятся на односторонние и двусторонние. СОУЭ по своему назначению близка к системам односторонней связи, в NFPA это: системы голосовой/аварийной пожарной связи внутри зданий (EVACS); системы массового оповещения внутри зданий; широкозонные системы массового оповещения; системы массового оповещения с рассредоточенными получателями. Системам обратной связи СОУЭ в NFPA соответствует система двусторонней экстренной связи, включающая: двусторонние проводные системы связи аварийных служб внутри здания; система улучшения двусторонней

радиосвязи; системы связи на лестницах; системы связи на посадочной площадке лифта (соответствуют системам обратной связи для МГН). Приведем некоторые отличительные от отечественных стандартов требования:

1. Сигналы оповещения и контроля не должны теряться, прерываться или задерживаться более чем на 10 с в результате отказа основного источника питания.

2. Вторичный источник питания должен поддерживать работу системы под постоянной нагрузкой в течение минимум 24 ч, а затем поддерживать работу системы в состоянии пожара или другой аварии в течение 15 мин при максимальной нагрузке. Расчеты для аккумуляторных батарей должны включать запас надежности минимум 20 % свыше требуемой расчетной емкости в Ампер-часах. Работа на вторичном питании не должна влиять на требуемую производительность системы. Зарядка АКБ должна происходить не менее 48 ч, работа зарядного устройства не должна повреждать батарею.

3. Системы экстренной связи должны воспроизводить разборчивые сообщения. Если громкоговорители не соответствуют требованиям разборчивости, разрешается устанавливать громкоговорители, не включенные в допустимый перечень. Громкоговорители и связанное с ними звуковое оборудование обеспечиваются защитой от несанкционированного вмешательства. Проектировщик системы звукового оповещения должен идентифицировать помещения и пространства, в которых будет производиться звуковое оповещение, а также те места, где оно производиться не будет.

4. Необходимость постоянного присутствия обученного персонала в командном центре пожарной охраны или в Центре чрезвычайных ситуаций.

Согласно требованиям NFPA расчетные уровни звукового давления для различных зон покрытия необходимо задокументировать для использования во время приемочных испытаний системы. Уровень звука должен как минимум на 15 дБ превышать средний окружающий уровень звука или на 5 дБ превышать максимальный уровень звука продолжительностью более 60 с (выбирается наихудший случай). Измерение осуществляется по шкале дБА на высоте 5 футов

(1,5 м). Оценка разборчивости голоса осуществляется только с одобрения в акустически распознаваемых пространствах, определяемых в ходе проектирования систем аварийной связи. Каждая зона должна быть идентифицирована как требующая или не требующая разборчивости голоса. При измерениях акустические параметры громкоговорителей определяются в условиях свободного поля в полупространство и при установке в стандартном экране. Эти параметры обязательно указываются в ТД. В отличие от общепринятых стандартов, расстояние от измерительного микрофона до громкоговорителя не 1 м, а 4 м, что предъявляет повышенные требования к безэховым камерам.

Приложение 2

Методические основания для выполнения электроакустического расчета, выполняемого при проектировании СОУЭ

Для качественного восприятия речевой информации, особенно для пожилых людей, необходимо обеспечить ее разборчивость. Требования свода правил к частотному диапазону (СП) [3] вполне, соответствуют специфике человеческого восприятия. Так, например, нижняя граница нормативного диапазона 200 Гц совпадает с частотой мужского голоса (для баритонов: 110–392 Гц). По этой причине при выполнении электроакустического расчета (ЭАР) необходимо учитывать все частотные зависимости и коррекции в нормативном частотном диапазоне с октавными уровнями – 250, 500, 1000, 2000, 4000. Правильность ЭАР может быть подтверждена лишь на этапе проверки работоспособности, при фактических замерах уровней звукового давления на одном метре и в максимально удаленной расчетной точке, выбранной на расчетной плоскости (на высоте 1,5 м от уровня пола). В процессе ЭАР решаются основные и дополнительные задачи. Основные задачи включают: выбор и оценку параметров всего звукового тракта (системы звукоусиления, линии оповещения, громкоговорителя), оценку параметров озвучиваемого помещения, расчет уровней звукового давления речевого сигнала в РТ, проверку полученных результатов на соответствие требованиям НД, корректировку результатов расчета. Проверка правильности ЭАР подтверждается испытаниями. В требованиях СП можно выделить: требование к минимальному и максимальному уровню звукового давления, требование к превышению уровня шума, требование к частотному диапазону, требование к расположению РО, требование к качеству (таблица П2.1).

Таблица П2.1 – Требования к речевому оповещению согласно СП 3.13130-2009

Требования	Параметр	Условие
1. Требование к мин. уровню звукового давления	≥ 75 дБА	на 3 м
// в спальнях помещ.	≥ 75 дБА	на уровне головы
2. Требование к макс. уровню звукового давления	≤ 120 дБА	в любой точке
3. Требование к превышению уровня шума	≥ 15 дБА	на высоте 1,5 м
4. Требование к частотному диапазону	0,2–5 кГц	неравн. не указана
5. Требование к расположению (по высоте)	≥ 230 см	отступ 15 см от потолка
6. Требование к качеству	Исключение концентрации и неравномерного распределения звука	

Примечание: уровень звука в дБА – энергетическая сумма октавных уровней звукового давления в нормируемом диапазоне частот, откорректированных по частотной характеристике А.

Определение уровней шума. Оценка уровня шума (УШ) в защищаемом помещении может быть выполнена двумя способами – непосредственным измерением и определением максимально допустимого значения (уровня), актуального для раннего этапа проектирования СОУЭ. Для определения УШ используется таблица шумов [115]. Согласно данной таблице допускается использовать как эквивалентные, так и максимальные уровни звука, и нормативные требования можно считать выполненными, если рассчитанное значение как по эквивалентному УШ+15, так и по максимальному уровню не превышает установленные требования, что согласуется с международной практикой.

Эквивалентный уровень звукового давления для 9-ти октавных полос, с учетом коррекции по шкале «А», используемый в шум таблице, определяется следующим образом:

$$L_{\text{дба9}} = 10 \lg \sum_{i=1}^9 10^{0.1(L_{\text{дби}} - \Delta_{\text{Ai}})}, \quad (\text{П2.1})$$

где $P_{\text{дби}}$ – уровень звукового давления в i -ой октавной полосе, дБ,

Δ_{Ai} – коррекция по шкале «А» коэффициент (уровень), для i -ой частоты, дБ (таблица П2.2).

Таблица П2.2 – Значения корректирующих коэффициентов (дБ) ΔP_{Ai} , дБ в зависимости от частоты f_i для 9-ти октавных полос

f_i , Гц	31,25	63,5	125	250	500	1000	2000	4000	8000
Δ_{Ai} , дБ,	39,4	26,2	16,1	8,6	3,2	0,0	-1,2	-1,0	1,1

Эквивалентные скорректированные по шкале «А» значения уровней шумов для 9-ти и для 5-ти частот практически не различаются, поэтому, 5-ти октавных частот для большинства практических расчетов вполне достаточно. Для автоматизированных расчетов целесообразно дополнить таблицу шумов недостающими уровнями (таблица П2.3).

Таблица П2.3 – Соответствие эквивалентных уровней шума октавным уровням для 5-ти частот $L_i = 0,25/5/1/2/4$ кГц

Эквивалентные уровни звукового давления в октавных полосах частот, L_i дБ						
0,25 кГц	0,5 кГц	1 кГц	2 кГц	4 кГц	$L_{дба5}$, дБА	$L_{экв}$, дБА
92	90	89	87	85	94,1	95
88	86	84	82	80	89,4	90
84	82	79	77	75	84,7	85
80	78	74	72	70	80,1	80
76	73	69	67	65	75,3	75
72	68	64	62	60	70,4	70
68	63	60	57	55	65,9	65
63	58	55	52	50	60,9	60
59	54	50	47	45	56,4	55
54	49	45	42	40	51,4	50
49	44	40	37	35	46,4	45
45	39	35	32	30	41,7	40
40	34	30	27	25	36,7	35
35	29	25	22	20	31,7	30
31	24	20	17	14	26,9	25

Октавные уровни звукового давления в РТ для соразмерных помещений (помещений с отношением наибольшего геометрического размера к наименьшему не более 5) при работе одного РО будем определять по формуле:

$$L_{дБi} = P_{\theta i}(\theta) + 10 \lg\left(\frac{P_{ВТ}}{r^2} + \frac{4}{kB}\right), \quad (\text{П2.2})$$

где k – коэффициент, учитывающий нарушение диффузности звукового поля в помещении;

B – акустическая постоянная помещения, м^2 ;

r – расстояние от геометрического центра РО до РТ, выбранной в наиболее удаленной части помещения на РП.

Акустическая постоянная помещения вычисляется по формуле:

$$B = \frac{A}{(1 - \hat{a})}, \quad (\text{П2.3})$$

где $\hat{a}$ – средний коэффициент звукопоглощения;

A – основной фонд или эквивалентная площадь звукопоглощения, м^2 :

$$A = \sum_{i=1}^n a_i S_i, \quad (\text{П2.4})$$

где S_i – площади различных преград, поверхностей и штучных поглотителей озвучиваемого (защищаемого) помещения, м^2 ;

a_i – коэффициенты поглощения преград, поверхностей и штучных поглотителей озвучиваемого (защищаемого) помещения;

n – количество преград, поверхностей и штучных поглотителей, шт.

Учет акустической постоянной помещения является трудоемкой, сложновыполнимой на стадии проектирования процедурой, поэтому воспользуемся стандартом [114], в котором приводятся приближенные значения среднего коэффициента звукопоглощения (таблица П2.4).

Таблица П2.4 – Усредненное значение коэффициента звукопоглощения для различных помещений

Ср. коэфф. звукопогл., α_1	Описание помещения
0,05	1. Практически пустое помещение с гладкими жесткими стенами из бетона, кирпича, оштукатуренные или покрытые облицовочной плиткой
0,1	2. Частично заполненное помещение, помещение с гладкими стенами
0,15	3. Помещение с обстановкой, машинный зал или производственное помещение почти кубической формы
0,2	4. Помещение с обстановкой, машинный зал или производственное помещение, форма которых значительно отличается от кубической
0,25	5. Помещение с мягкой мебелью, машинный зал или производственное помещение, потолок или стены которых частично покрыты звукопогл. материалом
0,3	6. Помещение со звукопогл. покрытием потолка, но не стен
0,35	7. Помещение со звукопогл. покрытиями потолка и стен
0,5	8. Помещение, потолок и стены которого покрыты с применением большого количества звукопогл. материала

Учитывая, что средний коэффициент звукопоглощения: $\hat{a} = \frac{A}{S}$, где S – суммарная площадь озвучиваемой поверхности помещения, м^2 :

$$B = \frac{\hat{a}_{\text{эКВ}} \cdot S}{(1 - \hat{a}_{\text{эКВ}})}, \quad (\text{П2.5})$$

где $\hat{a}_{\text{эКВ}}$ – эквивалентное значение звукопоглощения, рассчитанное с учетом коррекции на количество людей, находящихся в помещении.

Площадь, занимаемую людьми, можно вычислить по данным методики [13]: $S_{\text{л}} = f_{\text{срлч}} \cdot N$, где $f_{\text{срлч}} = 0,17 \text{ м}^2$ – средняя площадь, занимаемая одним человеком (способ определения данного значения показан в следующей главе). Тогда доля площади, занимаемой людьми: $S_{\text{л}} = 0,17N$. При неизвестном значении количества людей, находящихся в помещении (площадью пола $S_{\text{п}}$, м^2), принимается из расчета один человек на 6 м^2 : $N = S_{\text{п}}/6$. Коэффициенты звукопоглощения людей на различных частотах приведены в таблице П2.5.

Таблица П2.5 – Коэффициент звукопоглощения одного человека для 5-ти октавных частот

Объект	Коэффициенты звукопоглощения одним человеком, α_{2i}				
	250 Гц	500 Гц	1000 Гц	2000 Гц	4000 Гц
Поглощение объектов и людей – коэффициенты звукопоглощения					
Слушатель (человек)	0,43	0,47	0,44	0,49	0,49

Для практических расчетов используется наихудший случай – звукопоглощение на частоте 4 кГц. Эквивалентный коэффициент звукопоглощения может быть определен:

$$\hat{a}_{\text{экви}} = \frac{1}{S} (\alpha_1 \cdot (S - 0,17N) + 0,17N\alpha_{2i}), \quad (\text{П2.6})$$

где α_{1i} – средний коэффициент звукопоглощения материалов отделки, мебели (Таблица П2.4);

α_{2i} – звукопоглощение одного человека (Таблица П2.5) для i -й частоты.

Определив акустическую постоянную, можно вычислить долю диффузионной звуковой энергии в помещении:

$$P_{\text{диф}} = P_{\text{дб}} + 10 \lg\left(\frac{4}{kB}\right), \quad (\text{П2.7})$$

где k – коэффициент нарушения диффузности поля в зависимости от среднего звукопоглощения (таблица П2.6).

Таблица П2.6 – Коэффициент нарушения диффузности в зависимости от звукопоглощения

$\alpha_{\text{ср}}$	0,2	0,4	0,5	0,6
k	1,25	1,6	2	2,5

Коррекция речевого сигнала. Согласно стандарту [9] в качестве измеренного уровня речевого сигнала принимается максимальный уровень звукового давления. Для перехода от средней характеристической чувствительности к чувствительности эффективного речевого сигнала достаточно на АЧХ РО наложить фильтр речевого сигнала. Для расчета звукового давления, излучаемого РО при передаче речевого объявления, необходимо учесть спектр человеческой речи, отличающегося от спектра шума. Речевые объявления могут произноситься мужчиной или женщиной, могут транслироваться через микрофон или записываться заранее в профессиональных студиях. Для обобщения всех вариантов воспользуемся методикой [116], в которой рассмотрен спектр звуковой мощности стандартной речи с усредненными признаками пола говорящего человека (таблица П2.7).

Таблица П2.7 – Усредненные значения частотных речевых коррекций

Частота, Гц	Уровень звукового давления, дБ		Среднее значение, дБ	Частотная речевая коррекция, ΔP_{Ai} , дБ
	Направленный источник	Ненаправленный источник		
125	51,2	49,9	50,55	8,4
250	57,2	54,3	55,75	3,2
500	59,8	58	58,9	0,0
1000	53,5	52	52,75	6,2
2000	48,8	44,8	46,8	12,1
4000	43,8	38,8	41,3	17,6
8000	38,6	33,5	36,05	22,9

Эквивалентный уровень звукового давления в РТ представим в виде суммы пяти октавных частот, укладывающихся в нормативный частотный диапазон:

$$L_{ДБА5} = 10 \lg \sum_{i=1}^5 10^{0.1(L_{ДБi} - \Delta P_{ЧXi} - \Delta P_{Pi} - \Delta P_{Ai})}, \quad (\text{П2.8})$$

где $L_{дБi}$ – уровень звукового давления, дБ, учитывающий долю прямой энергии в точке, выбранной на расстоянии 1 м для i -той частоты);

$\Delta P_{чХi}$ – коэффициент, учитывающий коррекцию АЧХ, дБ;

ΔP_{Pi} – коэффициент, учитывающий частотную речевую коррекцию, дБ;

ΔP_{Ai} – коэффициент, учитывающий коррекцию по шкале «А», дБ.

Акустический расчет в изолированном помещении. Зная величину акустической постоянной B , достаточно просто определить уровень звукового давления в изолированном помещении $L_{ип}$, дБ:

$$L_{ип} = L_{дба5} - R + 10 \lg\left(\frac{S_{дв}}{B}\right), \quad (П2.9)$$

где $L_{дба5}$ – рассчитана в точке, выбранной на расстоянии 2 м от двери;

R – звукопоглощение двери, дБ, $S_{дв}$ – площадь двери, м².

Примечание: в работе [75] для упрощенной оценки вместо B предлагается использовать коэффициент: $K = 4$ для диффузионного поля при ненаправленном источнике, $K = 2$ для направленного источника.

Оптимизацию параметров РО, устанавливаемых в соразмерном помещении, проведем в следующей последовательности:

1. Проанализируем тип, размеры и параметры защищаемого помещения.
2. Определим уровень шума в помещении $L_{уш}$, дБА.
3. Проанализируем помещение на наличие дополнительных шумовых источников. Пусть в помещении имеется источник шума (например, открытое окно) с уровнем шума $L_{иш} > L_{уш}$. Наихудший вариант определяется неравенством:

$$L_{уш} + 20 \lg(r_1) > L_{ип} + 20 \lg(r_2), \quad (П2.10)$$

где r_1 – расстояние от геометрического центра РО до дальней РТ, м;

r_2 – расстояние до РТ, выбранной рядом с дополнительным источником шума, м.

При выполнении данного условия в качестве критической рассматривается наиболее удаленная РТ.

4. Пусть условие (П2.10) не выполняется. Рассчитаем ожидаемый уровень звукового давления с учетом дополнительного шумового источника:

$$L_{\text{мин}} = 10 \lg(10^{0,1L_{\text{шп}}} + 10^{0,1L_{\text{ип}}}) + 20 \lg(r_1) + 15, \quad (\text{П2.11})$$

где 15 – запас звукового давления согласно НД, дБА (для 1 кГц, дБ = дБА).

5. Выберем РО со звуковым давлением: $P_0 + 10 \lg(P_{\text{ВТ}}) \geq L_{1\text{кГц}}$.

6. Большинство РО имеют градации мощности, поэтому целесообразно оптимизировать подводимую мощность:

$$P_{\text{ВТ}} \geq 10^{0,1(L_{\text{мин}} - P_0)}. \quad (\text{П2.12})$$

7. Для проводных СОУЭ определяются допустимые потери на проводах (на линии оповещения), определяющие необходимое сечение жилы провода. Согласно требованиям [8] потери по напряжению не должны превосходить 25 %. Запишем формулу для расчета сечения жилы провода в распределенной линии оповещения [117]. При потерях по напряжению 25 %, температуре $t = 55^\circ\text{C}$, удельном сопротивлении меди $\rho_{20} = 0,02 \text{ Ом} \cdot \text{мм}^2/\text{м}$:

$$S_{\text{ЛО}i} \approx \frac{0,04K_{\text{П}} \cdot k_{\text{Р}} \cdot L_{\text{ЛО}} \cdot \sum_{i=1}^n P_{\text{ВТ}i}}{U_{\text{ВХ}}^2}, \quad (\text{П2.13})$$

где $L_{\text{ЛО}}$ – протяженность линии оповещения, м, n – количество РО, шт.;

$P_{\text{ВТ}i}$ – электрическая (номинальная) мощность i -го РО, Вт;

$U_{\text{ВХ}}$ – напряжение на входе линии оповещения, В.

Коэффициент, учитывающий потери по напряжению в линии:

$$K_{\text{П}} = (100 - \Pi_{\text{Н}})/\Pi_{\text{Н}}, \%, \quad (\text{П2.14})$$

где $\Pi_{\text{Н}}$ – величина потерь по напряжению в линии, %.

Коэффициент распределения нагрузки:

$$K_{\text{Р}} = \frac{1}{L_{\text{ЛО}} \sum_{i=1}^n P_{\text{ВТ}i}} \sum_{i=1}^n (L_i \cdot P_{\text{ВТ}i}), \quad (\text{П2.15})$$

где L_i – длина i -го участка линии – расстояние от усилителя (согласующего трансформатора) до i -го РО.

Учет потерь по напряжению необходим для корректировки результатов расчетов и оптимизации. Коэффициент потерь по мощности $K_M = \left(\frac{100 - \Pi_H}{100}\right)^2 \sim 0,5$ необходимо включить в расчетную формулу (П2.2). Тогда звуковое давление необходимо пересчитать: $P_{ДБ} = P_0 + 10 \lg(K_M \cdot P_{ВТ})$. Пример. Потери по напряжению 25 %, приведут к потерям по мощности ~50 %, $K_M \sim 0,5$ поэтому минимально необходимую мощность РО (П2.12) необходимо удвоить.

8. Расчет суммарной нагрузки позволяет выбрать систему звукоусиления. Для РО трансформаторного типа мощность выбираемого усилителя (независимо от его класса) должна минимум на 20 % превосходить суммарную нагрузку. Коммутационная мощность каждой линии оповещения выбирается таким же образом. Приведенный выше результат составляет основу ЭАР и позволяет приступить к расстановке РО, расчетам эффективных площадей, а при необходимости, к расчету речевой разборчивости.

Приложение 3

Методика оценки речевой разборчивости при проектировании СОУЭ

Одной из важных функций речевой СОУЭ является достоверность, определяемая разборчивостью сообщения и непротиворечивостью передаваемой информации. Нормативные требования к необходимости определения речевой разборчивости содержатся в ст. 84, п. 4 Технического регламента [3]. Так как в НД в области ПБ не предъявлено конкретного требования к разборчивости, целесообразно предложить несложный метод для ее количественной оценки. Между количественной и качественной оценкой существует прямая взаимосвязь, поэтому ни один из расчетов не должен считаться избыточным. Речевая разборчивость определяется объективными и субъективными методами [118]. Среди объективных методов определения коэффициента речевой разборчивости можно выделить теорию Тиле, формантную теорию Флетчера, Колларда [119,120], реверберационную теорию [121, 122]. На сегодняшний день сложилась типовая ситуация, когда при обилии методов оценки разборчивости инженер-проектировщик ими не пользуется. Основные трудности при получении численной оценки разборчивости в защищаемом помещении – отсутствие конкретного нормативного требования и недостаточность во входных данных. Недостаток во входных данных частично устраняет методика ЭАР (Приложение 2 настоящего исследования). Для численного критерия разборчивости можно воспользоваться стандартами из области оповещения о ЧС [29], в которых приведено требование у слоговой (не менее 86 %) и словесной разборчивости (не менее 95 %).

Речевую разборчивость принято оценивать в процентах. Стопроцентная шкала для удобства разбивается на 4–5 основных, привычных для нас подгруппы от «Неудовлетворительно» до «Отлично». Зависимость между разборчивостью речи и ее понятностью приведена в таблице ПЗ.1.

Таблица ПЗ.1 – Оценки качества восприятия в зависимости от различных критериев

Оценка разборчивости	Слоговая, %	Словесная, %	RASTI, %	Уровень помех ГОСТ 9921-2013	Качество восприятия
5. Отлично	Выше 80	Выше 98	Выше 75	21	Слушатели не переспрашивают диктора
4. Хорошо	56–80	93–98	60–75	15–21	Количество переспросов незначительно
3. Удовл.	44–56	87–93	45–60	10–15	Большое количество переспросов
2. Плохо	25–40	75–87	30–45	3–10	Жалобы на восприятие
1. Недопустимо	Ниже 25	Ниже 75	Ниже 30	Ниже 3	Непонятно

Нормативные требования в области транспортной безопасности и ЧС требуют от систем оповещения разборчивости с оценкой «хорошо». Для выполнения требований по ПБ достаточно удовлетворительной оценки. Оценку уровня помех, определяемого стандартом [123], условно назовем «экспресс-оценкой» разборчивости. **Уровень помех** вычисляется как разность между уровнем звукового давления, рассчитанного для прямого сигнала, дБ, и среднего уровня шума помехи как среднее арифметическое для четырех октавных частот:

$$УП = L_{дБ} - \frac{1}{4} (УШ_{0,5кГц} + УШ_{1кГц} + УШ_{2кГц} + УШ_{4кГц}), \quad (ПЗ.1)$$

где $УШ_{0,5кГц} - УШ_{4кГц}$ – уровни шума октавных частот, соответствующие эквивалентному значению шума.

В качестве основного способа расчета разборчивости выберем формантный метод Колларда и Флетчера, разрабатываемый отечественными электроакустиками М.А. Сапожковым, Н.Б. Покровским, Ю.С. Быковым (инициалы) [124–128], как наиболее простой, позволяющий непосредственно вычислить слоговую разборчивость и соответствующий сформированному выше

подходу. Изложим краткую суть данного метода. Формантами называются области концентрации энергии в том или ином участке частотного диапазона. Каждый звук имеет несколько формант. Форманты звуков речи заполняют частотный диапазон от 150 до 7000 Гц. Этот диапазон частот условились поделить на 20 полос, в каждой из которых вероятность появления формант одинакова. Вероятность появления формант в каждой полосе равна 0,05 (правило аддитивности). Коэффициент, определяющий уменьшение этой вероятности в k -й полосе, называют коэффициентом восприятия или разборчивости. Вероятность приема формант в k -ой полосе: $\Delta A = 0,05k_\phi$, где k_ϕ – коэффициент восприятия формант, зависящий от уровня ощущения. Уровень ощущения $E_{\phi i}$ определяется разностью между средним спектральным уровнем речи B_{pi} в полосе равной разборчивости и спектральным уровнем шумов $B_{уш i}$ и помех в той же полосе УШ: $E_{\phi i} = L_{дБ i} - B_{уш i}$. Коэффициент восприятия может быть определен по графику (рисунок ПЗ.1А).

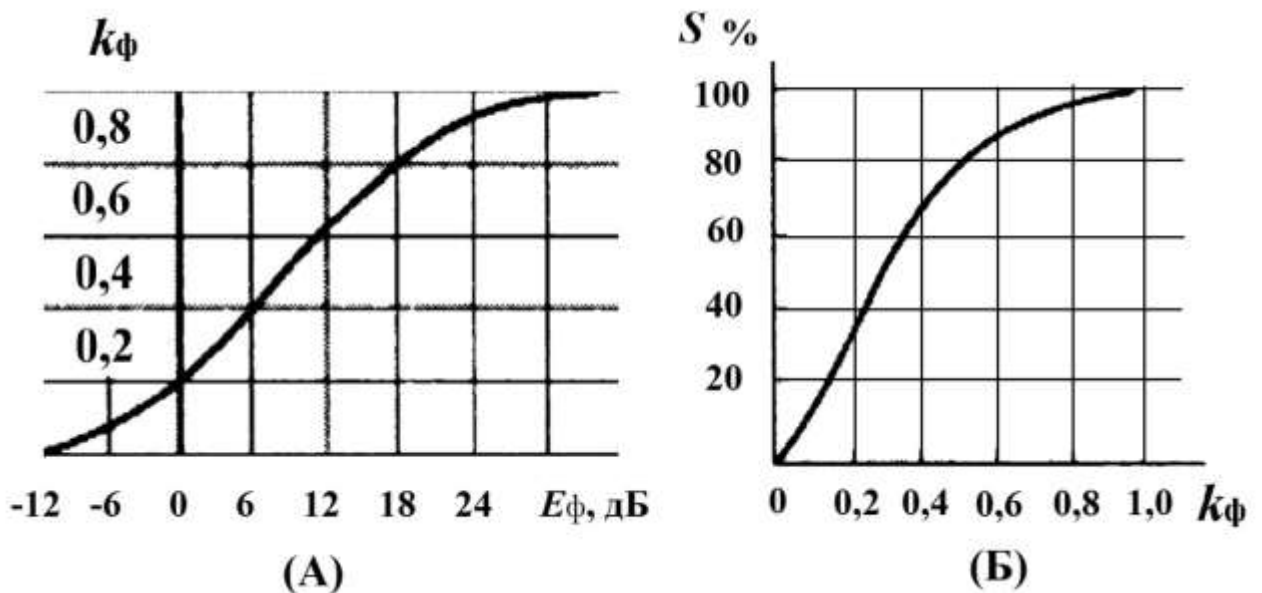


Рисунок ПЗ.1 – (А) зависимость коэффициента разборчивости обычной речи от уровня ощущения ее формант (интегральное распределение уровней речи);
(Б) зависимость слоговой разборчивости от формантной

Зависимость между формантной и другими видами разборчивости, была найдена экспериментально. Зависимость между формантной и слоговой разборчивостью показана на рисунке ПЗ.1Б, согласно которому полная понятность речи (соответствующая слоговой разборчивости 80 %) достигается при приеме половины всех формант (формантная разборчивость равна 0,5). Коэффициент восприятия для уровней ощущения может быть приближенно оценен по формуле:

$$k_{\Phi i} = \begin{cases} \frac{(E_{\Phi i} + 6)}{30}, \text{ при } 0 < E_{\Phi i} \leq 18 \text{ дБ} \\ \frac{(E_{\Phi i} + 6)}{30} + 0,06 \left(-\frac{E_{\Phi i}}{6}\right)^{1,807}, \text{ при } E_{\Phi i} < 0 \text{ дБ} \end{cases} \quad (\text{ПЗ.2})$$

Общая формантная разборчивость в речевом диапазоне частот определяется следующим образом: $A = \frac{1}{20} \sum_{n=1}^{20} k_{\Phi} \cdot n$, где k_{Φ} – коэффициент восприятия. Для практического определения разборчивости речи в расчетной точке необходимо для каждой полосы равной разборчивости определить спектральные уровни шумов и помех как их сумму:

$$B_{\text{уш}i} = 10 \lg(10^{0,1\text{уш}i} + 10^{0,1\text{уп}i}), \quad (\text{ПЗ.2})$$

где УШ_i – спектральный уровень акустических шумов для i -й полосы;

УП_i – спектральный уровень помех от речевого сигнала, называемый самомаскировкой речи для i -й полосы, определяемый:

$$\text{УП}_i = L_{\text{РТ}i} - 21 + 10 \lg(R) + \frac{50}{3} \lg(T_{\text{Р}}) + N_{\text{Д}}, \quad (\text{ПЗ.3})$$

где $L_{\text{РТ}}$ – уровень речевого сигнала в точке озвучиваемой поверхности;

$10 \lg(R)$ – поправка на помехи от диффузного звука;

R – акустическое отношение в РТ;

$N_{\text{Д}}$ – дифракционная поправка (для упрощения примем равной 0);

$\frac{50}{3} \lg(T_{\text{Р}})$ – поправка на реверберационные помехи;

$T_{\text{Р}}$ – время реверберации.

Акустическое отношение – величина, характеризующая отношение диффузионной энергии E_2 к прямой E_1 – $R = E_2 / E_1$, которое можно получить из формулы (П2.2): $R \sim \frac{4r^2}{P_{\text{вТiB}}}$. Время реверберации без учета поглощения в воздухе:

$$T = \frac{0,164V}{-S \ln 1 - \hat{a}}, \quad (\text{П3.4})$$

где V – объем помещения, м^3 .

Можно показать, что уровень помехи существенным образом зависит не только от уровня звукового давления источника шума и РО, но и от звукопоглощения (акустической обстановки) (рисунок П3.2).

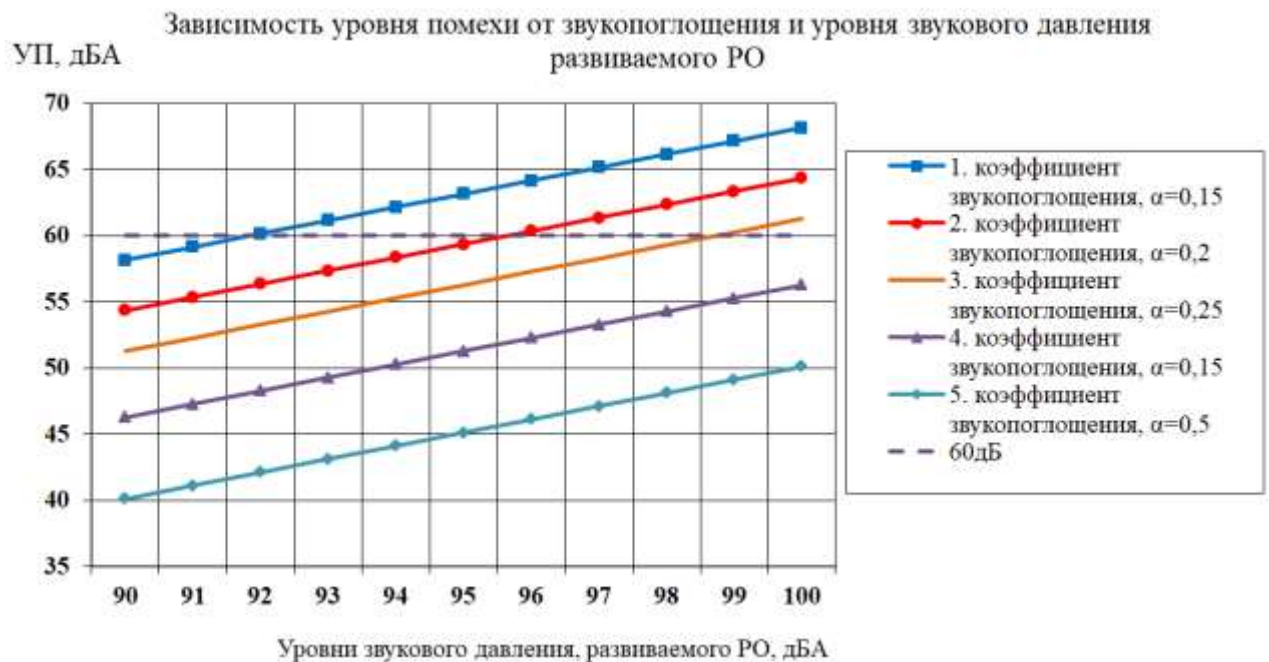


Рисунок П3.2 – Зависимость уровня помехи от звукопоглощения и уровня звукового давления развиваемого РО

Данная зависимость построена для соразмерного помещения с геометрическими размерами $a = 10$ м, $b = 8$ м, $h = 4$ м на максимальном удалении РТ, $r = \sqrt{a^2 + b^2 + (h - 1,5)^2} \sim 13$ м. Из графика видно, что при

слишком высоком уровне звукового давления, особенно для т.н. «сухих» помещений, применение РО с уровнем более 92 дБА создают помеху, соразмерную с максимальным (из таблицы шумов) уровнем шума ($УШ = 60$ дБА). Таким образом, необходима оптимизация не только по минимальному, но и по максимальному уровню звукового давления. При уровне звукового давления, превышающем значение $L_{PTi} > УШ + 21 - 10 \lg(R) - \frac{50}{3} \lg(T_p)$, рекомендуется одно из мероприятий: либо учет помехи как дополнительного источника шума, либо снижение звукового давления до уровня, обеспечиваемого нормативные требования. Построим формулу вычисления коэффициента формантной разборчивости для 5-октавного частотного ряда со среднегеометрическими частотами: 0,25/0,5/1/2/4 кГц. Для формантного частотного диапазона 150–7000 Гц можно использовать соответствие между октавными и третьоктавными частотами, однако для русской речи предлагаются уже готовые полосы равной разборчивости (таблица ПЗ.2).

Таблица ПЗ.2 – Соответствие между октавными, третьоктавными частотами и полосами равной разборчивости для русской речи

Соответствие октавных и треть октавных частот				Полосы равной разборчивости русской речи			
Октавная частота, f Гц	Средняя треть октавная, Гц	Диапазон, Гц	Кол-во полос	Октавная частота, f Гц	Средняя треть октавная, Гц	Диапазон, Гц	Кол-во полос
125	125	112–141	1	250	265	200–330	1
250	160	141–178	4	500	400	330–465	3
	200	178–224			535	465–605	
	250	224–292			680	605–750	
	315	292–355			825	750–900	
500	400	355–448	3	1000	980	900–1060	4
	500	448–563			1145	1060–1230	
	630	562–706			1320	1230–1410	
1000	800	708–892	3	2000	1505	1410–1600	6
	1000	891–1123			1700	1600–1800	
	1250	1122–1413			1940	1800–2020	

Окончание таблицы ПЗ.2

Соответствие октавных и треть октавных частот				Полосы равной разборчивости русской речи				
Октавная частота, f Гц	Средняя треть октавная, Гц	Диапазон, Гц	Кол-во полос	Октавная частота, f Гц	Средняя треть октавная, Гц	Диапазон, Гц	Кол-во полос	
200	1600	1412–1779	3		2140	2020–2260		
	2000	1778–2240			2395	2260–2530		
	2500	2238–2819			2865	2530–2840		
400	3150	2918–3540	3	4000	3020	2840–3200	6	
	4000	3548–4470			3415	3200–3630		
	5000	4465–5625			3890	3630–4150		
800	6300	5621–7082	3		4370	4150–4790		
	8000	7077–8916			5215	4790–5640		
	10000	8909–11234			6230	5640–7000		

Речевую (формантную) разборчивость для русской речи будем определять как среднее от вкладов во всех диапазонах равновероятной разборчивости для 5-ти октавных частот по формуле:

$$K_p = 0,05(k_{\phi 1} + 3k_{\phi 2} + 4k_{\phi 3} + 6k_{\phi 4} + 6k_{\phi 5}), \quad (\text{ПЗ.5})$$

где $k_{\phi 1}$ – $k_{\phi 5}$ – коэффициенты разборчивости на 5-октавных частотах.

Для возможности численной оценки коэффициента словесной разборчивости воспользуемся следующей эмпирической формулой [121, 122]:

$$K_w = \begin{cases} 1,54K_p^{0,25}[1 - \text{EXP}(-11K_p)], & \text{если } K_p < 0,15 \\ 1 - \text{EXP}\left(-\frac{11K_p}{1 + 0,7K_p}\right), & \text{если } K_p \geq 0,15 \end{cases} \quad (\text{ПЗ.6})$$

Слоговая разборчивость относительно словесной может быть вычислена:

$$K_s = -\frac{1}{1 + \frac{6,15}{\ln\left[1 - \frac{W}{1,05}\right]}}. \quad (\text{ПЗ.7})$$

Результаты сравнения формантной, словесной и слоговой разборчивости приведены на рисунке ПЗ.3.

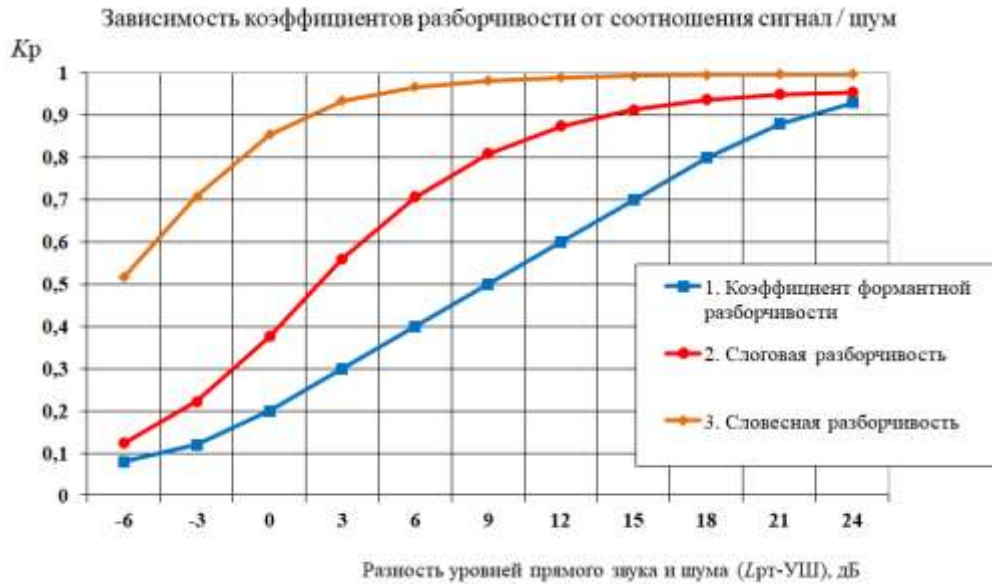


Рисунок ПЗ.3 – Результаты сравнения формантной, словесной и слоговой разборчивости в зависимости от соотношения сигнал/шум

Приведем последовательность (алгоритм) расчета: 1. Выберем критическую расчетную точку. 2. Рассчитаем уровень звукового давления речевого сигнала для каждой октавной полосы. 3. Определим уровень шума ($УШ_i$) для каждой полосы из шумовой таблицы. 4. По формуле (П2.2) найдем спектральные уровни шумов $В_{уш i}$ для каждой полосы. 5. По формуле (П2.3) найдем уровни помех ($УП_i$) для каждой полосы. 6. По разности $E_{\phi i} = L_{дб i} - В_{уш i}$ определим уровень ощущения формант $E_{\phi i}$ для каждой полосы. 7. По формуле (ПЗ.2) для каждой полосы определим коэффициенты разборчивости $k_{\phi i}$. 8. По формулам (ПЗ.6), (ПЗ.7) найдем словесную и слоговую разборчивость. 9. Проанализируем полученный результат, используя таблицу ПЗ.1.

Приложение 4

Базовые принципы и возможные подходы к расчету надежности СОУЭ

В теории надежности изучаются причины возникновения и устранения внешних и внутренних отказов объектов [142], воздействия окружающей среды, осуществляется прогнозирование отказов, ищутся способы повышения надежности на этапах проектирования и эксплуатации, изучаются методы сбора, анализа и учета статистических данных, характеризующих надежность. Полученные результаты позволяют разработать профилактические мероприятия, сформировать рекомендации по повышению надежности и сохранению работоспособности. Надежность является сложной, комплексной характеристикой любой инженерной системы, включающей как прогнозируемые, так и случайные процессы, в том числе человеческий фактор, поэтому по аналогии более надежной считается не та система, которая дольше проработает, а та, которая не подведет в нужный момент и гарантированно выполнит свою задачу. Для описания надежности используются различные характеристики, называемые показателями. Базовые показатели делят на внешние и внутренние. К внешним показателям относятся такие характеристики, как безотказность, ремонтпригодность, долговечность и сохраняемость (рисунок П4.1).



Рисунок П4.1 – Основные показатели надежности технических радиоэлектронных систем

В классификации (рисунок П4.1) представлены наиболее важные единичные показатели. К числу основных критериев надежности относятся показатели безотказности и ремонтпригодности, используемые для восстанавливаемых технических средств, к которым как раз и относится СОУЭ. К показателям безотказности относят: $P(t)$ – вероятность безотказной работы; $f(t)$ – функцию распределения наработки до отказа (плотность распределения); $\lambda(t)$ – интенсивность отказов; $T_{\text{ср}}$ – среднее время безотказной работы; T_0 – среднюю наработку на отказ; $\mu(t)$ – интенсивность восстановления; $T_{\text{в}}$ – время восстановления. При кажущейся общности, смысл некоторых параметров все же различен. Так, параметр $T_{\text{ср}}$, относящийся к невосстанавливаемым устройствам, по-другому называемый средней наработкой «до отказа», не следует путать с T_0 – средней наработкой «на отказ» – параметром, относящимся к восстанавливаемым системам, к которым как раз и относится СОУЭ. При определении надежности СОУЭ следует выделять

элементную, структурную и программную надежность. Структурная надежность определяется надежностью средств оповещения, каналов, линий связи и программного обеспечения. Под программной надежностью автоматизированной системы управления понимается ее защищенность от вмешательств в нормальный процесс ее функционирования. Одной из основных задач при определении элементной надежности являются сбор и обработка статистических данных о средней наработке на отказ, среднем времени восстановления. Все надежность параметры однозначно выражаются друг через друга. Для численного определения надежности параметров принимаются следующие допущения: отказы отдельных элементов технических средств (ТС) являются случайными независимыми событиями; наработка на отказ и время восстановления ТС являются непрерывными случайными величинами, распределенными по экспоненциальному закону (программное обеспечение будем считать отлаженным и не содержащим ошибок).

Нормативные требования. Основные требования к надежности приборов, используемых в СОУЭ, приведены в [7] (п. 7,9) согласно которому, приборы должны быть восстанавливаемыми и обслуживаемыми изделиями, рассчитанными на круглосуточную непрерывную работу с временем восстановления не более 6 ч; средним сроком службы не менее 10 лет. Для РО [8] средняя наработка должна быть не менее 43500 ч. В методике расчета показателей надежности СОУЭ [59] дан пример технического задания на проектирование, в котором указаны следующие показатели: коэффициент оперативной готовности СОУЭ, $K(t_{ЭВ})=0,95$, где $t_{ЭВ}$ – время эвакуации, мин; вероятность безотказной работы (ВБР) выполнения целевой функции $P(t_{ЭВ}) = 0,999$, время восстановления, $t_B = 1$ час.

Примечание: согласно РНД расчет надежности выполняется для двух значений времени: времени эвакуации людей ($t_p = t_{ЭВ}$ – по целевой функции) и для $t_p = 2000$ ч – для стационарного (дежурного) режима. Согласно требованиям [7] $t_p = 1000$ ч.

Оценка надежности СОУЭ как восстанавливаемой системы. Базовые показатели надежности технических систем используются в предположении, что отказавшие устройства выходят из строя без возможности восстановления. «Предельным режимом» работы восстанавливаемых систем являлся «отказ» (неработоспособное состояние) [143]. Период выполнения СОУЭ своей основной (целевой) задачи составляет незначительную часть времени своего существования или жизненного цикла. Большую часть времени СОУЭ находится в дежурном режиме. Некоторую часть жизненного цикла занимают периодические плановые проверки работоспособности системы. При обнаруженных нарушениях происходит восстановление (режим восстановления) работоспособности, замена комплектующих, ремонт оборудования, после чего производится повторная проверка работоспособности. Процесс функционирования восстанавливаемой системы представляет собой последовательность чередующихся случайных интервалов работы и простоя. Под простоями понимают периоды восстановления системы при ее отказе. Восстановление может быть полным или частичным. При полном восстановлении происходит замена всего устройства, при частичном – замена или ремонт его части. Процесс возникновения и устранения отказов восстанавливаемой системы в течение определенного промежутка времени изображен на рисунке П4.2.

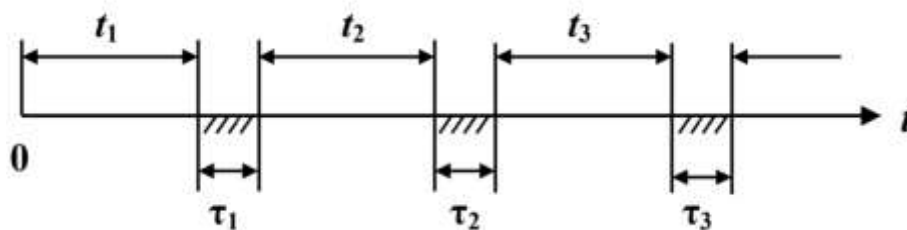


Рисунок П4.2 – Процесс функционирования восстанавливаемой системы

Обозначения на рисунке П4.2: t_1, t_2, t_3 – интервалы безотказной работы системы; τ_1, τ_2, τ_3 – интервалы устранения отказов.

Основным показателем готовности системы к выполнению основной задачи является **коэффициент готовности**. Данный коэффициент называется статистическим коэффициентом, используется для установившихся режимов работы и эксплуатации. Коэффициент готовности модуля вычисляют по формуле:

$$k_{ГМi} = \frac{\mu_{Mi}}{\lambda_{Mi} + \mu_{Mi}} = \frac{T_{0Mi}}{T_{0Mi} + T_{ВМi}}, \quad (\text{П4.1})$$

где λ_{Mi}, μ_{Mi} – интенсивность отказа и интенсивность восстановления i -го модуля;

$T_{0Mi}, T_{ВМi}$ – средняя наработка на отказ и среднее время восстановления i -го модуля.

Коэффициентом готовности для восстанавливаемых систем называется вероятность того, что система окажется работоспособной в произвольный момент времени, кроме периодов, планируемых для ремонта и проверок. Одним из основных параметров, характеризующих работоспособность системы в дежурном режиме (в режиме ожидания), является «коэффициент оперативной готовности» ТС, $K_{ОГТС}(t)$ – вероятность того, что ТС, находящиеся в режиме ожидания, окажутся работоспособными в произвольный момент времени и, начиная с этого момента, проработают безотказно в течение заданного интервала времени [57]. Для восстанавливаемых устройств актуальной является задача определения параметров надежности (работы) в т.н. «установившемся режиме», при $t \rightarrow \infty$. Рассмотрим случай, когда на ремонт или восстановление системы затрачивается конечная часть времени. Такие системы называют системами с задержанным восстановлением. Вероятность безотказной работы и коэффициента готовности системы, состоящей из одного блока, находящегося под воздействием простейшего потока отказов с интенсивностью λ , с простейшим потоком восстановлений с интенсивностью μ , находят с использованием модели массового обслуживания. Опуская стандартные выкладки [67], приведем конечный результат. Если в начальный момент времени ($t = 0$) система работоспособна, $P(t = 0) = 1, Q(t = 0) = 0$, то:

$$P_{ог}(t) = \frac{\mu}{\lambda + \mu} \left[1 + \frac{\lambda}{\mu} e^{-(\lambda + \mu)t} \right]. \quad (\text{П4.2})$$

где μ – интенсивность восстановления, 1/ч.

Для перехода к вероятностной трактовке λ и μ заменяют (математическими ожиданиями) средней наработкой на отказ, $T_0 = \frac{1}{\lambda}$ и временем восстановления, $T_B = \frac{1}{\mu}$. Запишем выражение для нахождения коэффициента оперативной готовности восстанавливаемой системы как вероятности застать систему в исправном (работоспособном) состоянии в установившемся процессе эксплуатации:

$$P_{ог}(t) = K_{г} + (1 - K_{г}) e^{-t/K_{г}T_B}. \quad (\text{П4.3})$$

При $t \rightarrow \infty$, $P_{ог}(\infty) \rightarrow K_{г}$. Отсюда следует очевидный вывод в необходимости оптимизации времени восстановления. На готовность системы оказывают влияния не только запланированные проверки, но и внеплановые простои. **Коэффициент простоя** – стационарное выражение для определения коэффициента простоя (вероятности того, что система находится в режиме простоя) можно записать:

$$K_{п} = \frac{\sum_{i=1}^n T_{Bi}}{\sum_{i=1}^n T_i + \sum_{i=1}^n T_{Bi}}, \quad (\text{П4.4})$$

где T_{Bi} – суммарное пребывание i -го объекта в режиме восстановления;

T_i – суммарное пребывание i -го объекта в работоспособном режиме.

Коэффициенты готовности и простоя связаны соотношением: $K_{г} + K_{п} = 1$. Математическое выражение для расчета вероятности нахождения СОУЭ в состоянии простоя или восстановления можно представить следующим образом:

$$P_{п}(t) = P(t) = \frac{T_B}{T_0 + T_B} \left[1 + \text{EXP} \left(-\frac{(\frac{T_B}{T_0 + T_B})t}{T_0 T_B} \right) \right]. \quad (\text{П4.5})$$

При $t \rightarrow \infty$ вероятность восстановления стремится к статистическому значению, $P_{\Pi}(\infty) \rightarrow K_{\Pi}$.

Коэффициент технического использования является показателем надежности, характеризующим те же свойства, что и коэффициент готовности, но учитывающий дополнительные причины простоев, обусловленных техническим обслуживанием и ремонтом за тот же период. Значение данного параметра можно определить, используя статистические данные, по формуле:

$$K_{\text{ти}} = \frac{T_{\text{р}}}{T_{\text{р}} + T_{\text{в}} + T_{\text{т0}}}, \quad (\text{П4.6})$$

где $T_{\text{р}}$ – суммарная наработка всех блоков системы;

$T_{\text{т0}}$ – суммарное время простоя из-за плановых проверок работоспособности и вынужденного ремонта.

Примеры построения математических моделей надежности. Существенного повышения надежности функционирования восстанавливаемых систем можно достичь организованным техническим обслуживанием. Плановые проверки работоспособности СОУЭ должны проводиться не реже двух раз в год. В период проверки система находится в нагруженном состоянии, поэтому подвержена высокой интенсивности отказов. Для повышения достоверности определения надежности целесообразно построить модель, которая будет учитывать периодичность проверки работоспособности такой системы. Для нахождения коэффициента готовности системы, подвергающейся периодическим проверкам, построим граф состояний (рисунок П4.3).

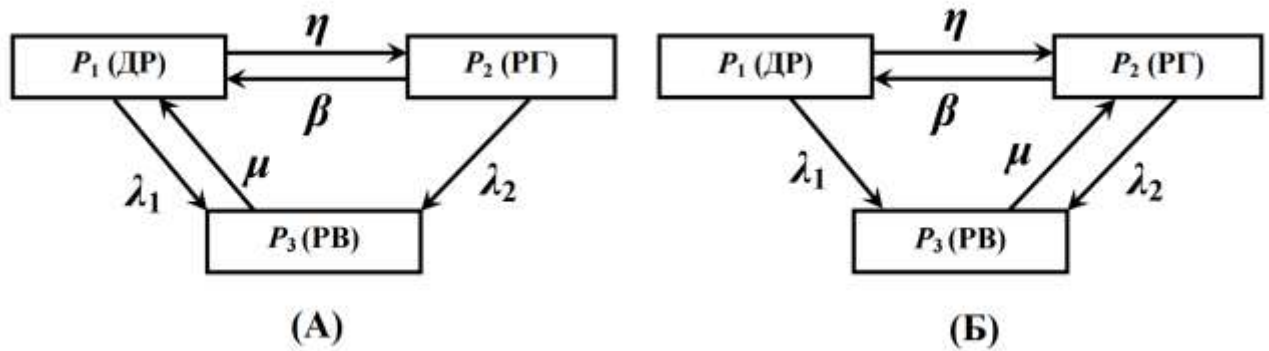


Рисунок П4.3 – Граф состояния работоспособности системы, подвергающейся периодическим проверкам: (А) – без перепроверок работоспособности после ремонта; (Б) – с обязательной проверкой работоспособности после ремонта

Примечание: данная система составлена при условии, что описанный процесс является однородным Марковским процессом с конечным числом состояний. Основанием считать такую модель актуальной служит вероятностный характер перехода системы в рабочий режим, поэтому приравнять режим проверки работоспособности к рабочему режиму вполне корректно.

Введем следующие обозначения: P_1 – состояние системы, при котором она исправна и находится в дежурном (РД) режиме; P_2 – состояние системы, при котором она исправна и находится в режиме готовности к работе или проверки работоспособности (РГ); P_3 – состояние неисправности, система ремонтируется или восстанавливается.

Параметры надежности: $\eta = 1/T_{\text{ПР}}$ – интенсивность проверок работоспособности, где $T_{\text{ПР}}$ – время между проверками, ч; $\beta = 1/\tau_{\text{П}}$ – интенсивность самой проверки, где $\tau_{\text{П}}$ – длительность проверки, ч; $\lambda_1 = 1/T_{01}$ – параметр потока отказов, возникающих в дежурном режиме, где T_{01} – средняя наработка на отказ в облегченном состоянии, ч; $\lambda_2 = 1/T_{02}$ – параметр потока отказов, возникающих в рабочем режиме, где T_{02} – средняя наработка на отказ в нагруженном состоянии, ч; $\mu = 1/T_{\text{В}}$ – интенсивность восстановления работоспособности, где $T_{\text{В}}$ – время восстановления, ч.

В состояние неисправности система может перейти как из дежурного, так и из рабочего режима. Так как показатель готовности является вероятностью того, что система исправна и готова к работе, можно записать: $K_{Г2} = P_2$, что справедливо, так как представленный процесс функционирования является транзитивным однородным и конечным Марковским процессом [58]. Тогда схему возможных переходов можно записать, составив для данного графа алгебраические уравнения (Колмогорова-Чепмена):

$$\begin{cases} -\eta P_1 - \lambda_1 P_1 + \beta P_2 + \mu P_3 = 0 \\ \eta P_1 - \lambda_2 P_2 - \beta P_2 = 0 \\ \lambda_1 P_1 + \lambda_2 P_2 - \mu P_3 = 0 \end{cases}.$$

Решив систему уравнений относительно P_2 , с учетом условия нормировки: $P_1 + P_2 + P_3 = 1$, найдем коэффициент готовности:

$$K_{Г2} = \frac{\mu(\lambda_2 + \beta)}{\mu(\lambda_2 + \beta) + \lambda_1(\lambda_2 + \beta) + \lambda_2\eta + \mu\eta}, \quad (\text{П4.7})$$

Рассчитаем коэффициент готовности в предположении, что после ремонта или восстановления предполагается обязательная проверка работоспособности (рисунок П4.3). Запишем систему алгебраических уравнений для данного графа состояний:

$$\begin{cases} -\eta P_1 - \lambda_1 P_1 + \beta P_2 = 0 \\ \eta P_1 - \beta P_2 - \lambda_2 P_2 + \mu P_3 = 0 \\ \lambda_1 P_1 + \lambda_2 P_2 - \mu P_3 = 0 \end{cases}.$$

Выполним преобразования с учетом условия нормировки: $P_1 + P_2 + P_3 = 1$ и $K_{Г3} = P_2$:

$$K_{Г3} = \frac{\mu\beta}{\mu\beta + \lambda_1(\mu + \beta) + \lambda_2(\lambda_1 + \eta) + \mu\eta}. \quad (\text{П4.8})$$

Справедливость формул (П4.7), (П4.8) легко устанавливается. При сокращении времени проверки $\tau_{\Pi} \rightarrow 0$, неограниченном увеличении периода проверки ($\eta \rightarrow 0$), $K_{Г1} \sim K_{Г2} \rightarrow K_{Г}$.

Построим зависимости коэффициентов оперативной готовности от времени работы для различных условий функционирования при следующих параметрах: периодичность проверки, $T_{\Pi P} = 4392$ ч (6 мес., полгода); длительность проверки, $\tau_{\Pi} = 4$ ч; время восстановления, $T_{В} = 72$ ч; наработка на отказ, $T_{01} = T_{02} = 10000$ ч (рисунок П4.4).

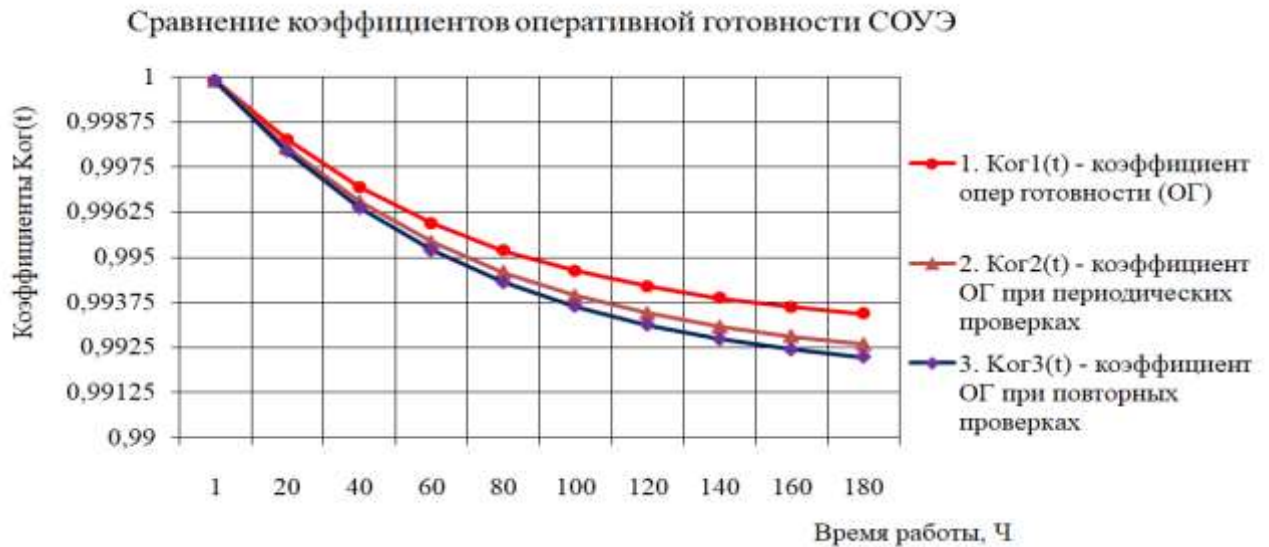


Рисунок П4.4 – Зависимости работоспособности СОУЭ
от средней наработки для различных моделей

Обозначения (рисунок П4.4): $K_{ОГ1}(t)$ – теоретический коэффициент оперативной готовности (КОГ) системы, находящейся в режиме дежурства с коэффициентом готовности, рассчитанным по формуле (П4.3); $K_{ОГ2}(t)$ – КОГ системы, подвергающейся периодическим проверкам работоспособности, с коэффициентом готовности, рассчитанным по формуле (П4.7); $K_{ОГ3}(t)$ – КОГ системы, в которой после каждого ремонта происходит внеочередная проверка работоспособности, с коэффициентом готовности, рассчитанным по формуле (П4.8).

Анализ полученных результатов. 1. Все критерии надежности связаны между собой однозначными математическими зависимостями, однако при задании требований к нескольким параметрам может быть обнаружена их противоречивость. Так, например, безотказность и долговечность зачастую не одно и то же. Поэтому как заказчикам, так и исполнителям (инженерам-проектировщикам) нужно четко понимать, какой параметр для них более значим. Если долговечность определяет экономическую составляющую, то коэффициент оперативной готовности, определяемый коэффициентом готовности и ВБР, определяет работоспособность как фактическую способность системы выполнить поставленную задачу. 2. Из рисунка П4.4 следует, что коэффициент оперативной готовности реальной системы ниже коэффициента идеализированной системы, что требует учета реальных условий эксплуатации, фактической интенсивности использования системы. Некоторое снижение надежности при повторной проверке только кажущееся. Периодические проверки работоспособности СОУЭ позволяют выявить скрытые неисправности системы, не обнаруживаемые в дежурном режиме. Такой фактор, как частичная неисправность, может проявиться только при активации системы. В режиме проверки работоспособности, имитирующей реальные условия, скрытый отказ может быть легко обнаружен и устранен в кратчайший срок. Поэтому режим проверки работоспособности в какой-то мере является аналогом системы с периодическим контролем, повышающим ее работоспособность.

Приложение 5

Справочная информация по исследуемому объекту защиты

Краткая характеристика исследуемого объекта. Корпус 2 представляет собой 14-этажное двухподъездное здание с подземной парковкой, техническим этажом и двумя отдельными лестничными маршами с эвакуационными выходами (А и Б) (рисунок П5.1).



Рисунок П5.1 – Внешний вид торгово-офисного здания, расположенного по адресу: 115280, г. Москва, ул. Автозаводская, д. 23А, корпус. 2

Парковка минус первого этажа исследуемого здания озвучена четырьмя РО НР-30Т (рисунок П5.2 А). На первом этаже каждого из подъездов располагается пост охраны, проходная и лифтовой холл, озвученный РО WS-06Т (рисунок П5.2 Б).



Рисунок П5.2 – а) речевой оповещатель ROXTON MP-30T, расположенный на парковке минус первого этажа; б) речевой оповещатель ROXTON WS-06T, расположенный на посту охраны первого этажа

Второй и третий этажи не относятся ко второму корпусу, поэтому не имеют связи с эвакуационными выходами второго корпуса.

Для озвучивания исследуемого объекта защиты использовались модели MP-30T, WP-06T, WS-06T, параметры которых, согласно официальным данным [95], приведены в таблице П5.1.

Таблица П5.1 – Характеристики речевых оповещателей, применяемых на исследуемом объекте защиты

Модель РО (ROXTON)	WS-06T	WP-06T	MP-30T
Мощность включения, Вт	6/3/1,5	6/3/1,5	30/15/7,5
Тип согласования	Трансформаторный, 100 В		
Чувствительность, дБА	90	91	96
Угол раскрыва (-6 дБ), 1/4 кГц	120/90	120/90	90/60

Примечание: чувствительность РО, приведенная в данной таблице, получена путем ежегодных периодических испытаний, проводимых на производственной базе ООО «РОКСТОН СИСТЕМЫ», для синусоиды частотой 1 кГц.

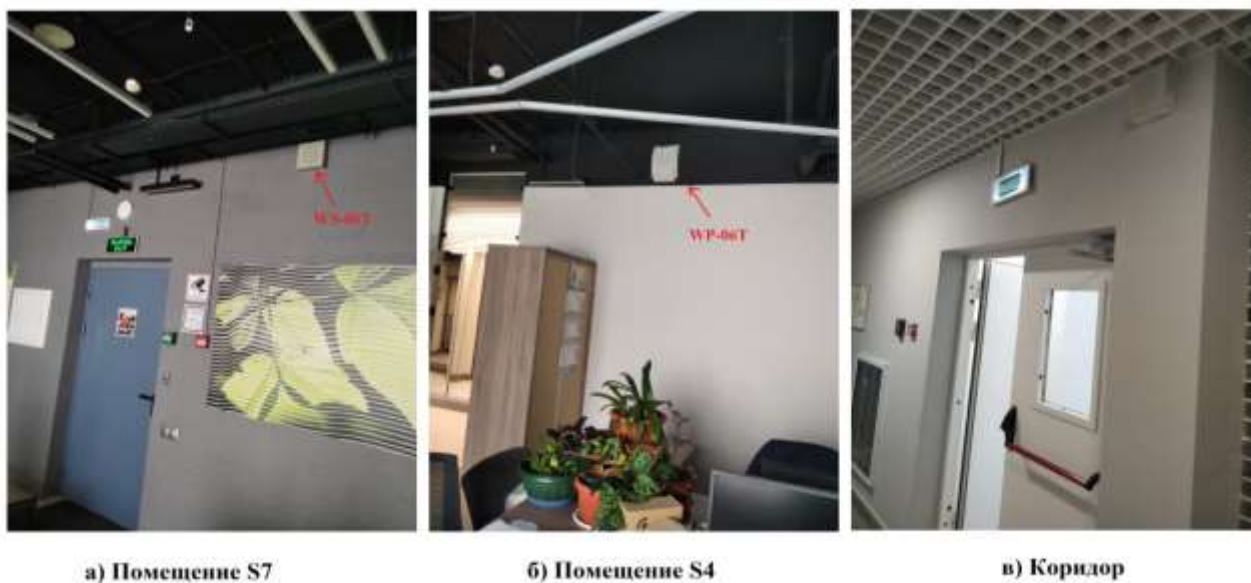


Рисунок П5.3 – а) речевой оповещатель, WS-06T, расположенный в офисном помещении S7; б) речевой оповещатель WP-06T, расположенный в офисном помещении S4; в) речевой оповещатель WS-06T, расположенный в коридоре 9-го этажа

2. Для выполнения **акустических расчетов** в работе использовался программный модуль «Расчеты, выполняемые при проектировании речевых и проводных СОУЭ». Свидетельство об официальной регистрации программы на ЭВМ № 2024611103 находится в Приложении 8 настоящего пособия. На рисунке П5.3 изображен скриншот модуля для акустического расчета.

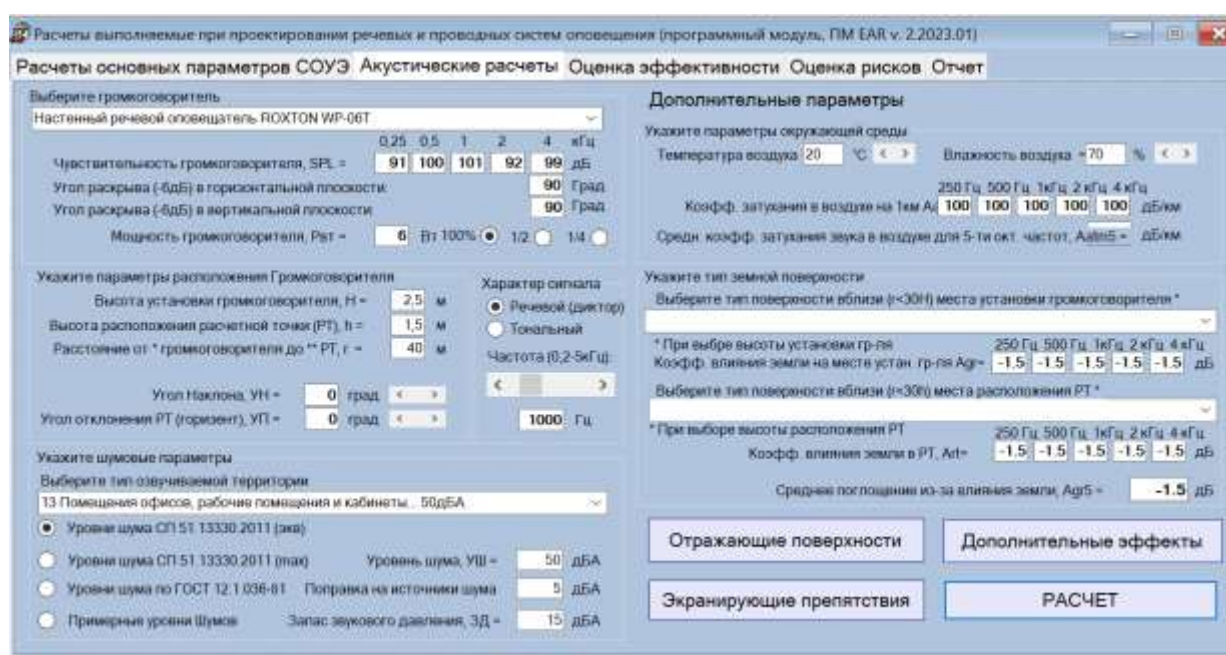


Рисунок П5.3 – Программа для ЭВМ RU 2024611103:
Модуль акустического расчета

Для выполнения **электроакустических расчетов и расстановки РО** использовался онлайн-калькулятор «Программа для электроакустического расчета, выполняемого при проектировании СОУЭ». Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ № 2024611103 находится в Приложении 9 настоящего пособия. На рисунке П5.4 изображен скриншот расчета шага расстановки РО WS-06T.

ЭЛЕКТРО-АКУСТИЧЕСКИЙ РАСЧЕТ

Он-лайн калькулятор работает по методике, представленной в учебном пособии "Системы оповещения и голосовой связи. Учебное пособие" (Издательство СВ, 2021).

Выберите громкоговоритель:

ROXTON WS-06T - Настенный громкоговоритель



ROXTON WS-06T - широкополосный вандолавирующий громкоговоритель 63/1.5 Вт 8 Ом. Достоинством данного громкоговорителя является сочетание хороших акустических характеристик с вандолавирующим исполнением и удобством монтажа. Громкоговоритель выполнен из металла. Конструкция громкоговорителя тщательно продумана. Монтажные провода выводятся в винтовой клеммной колодке с различными градициями заземления.

Громкоговоритель монтируется на стене в разобранном виде, после чего закрывается металлической крышкой.

Функциональные особенности:

- Вандолавирующее исполнение
- Встроенный трансформатор
- Широкополосный
- Градиция мощности
- Удобство монтажа
- Металлический корпус
- Винтовые крепления
- Терминал под зем

Параметры громкоговорителя:

60 чувствительность громкоговорителя (SPL, дБ)
6 мощность громкоговорителя (P, Вт)
90 ширина диаграммы направленности на частоте 4 кГц (ШДН, град)
2 тип громкоговорителя (TYPE: 1 - колоночные, 2 - настенные, 3 - рупорные)

Уровень шума в помещении:

- ☐ задать вручную
☒ выбрать из списка согласно требованиям СП 51.13330.2011

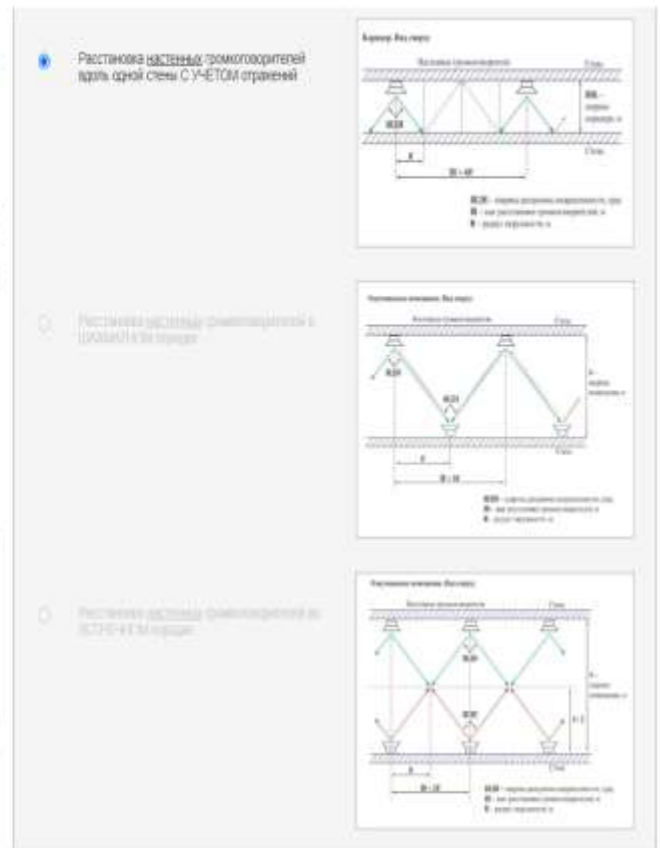
60 уровень шума в помещении (L_ш, дБ)
16. Помещение офисов, рабочие помещения и кабинеты административных зданий, кон

Параметры помещения:

24.6 длина помещения (д, м), громкоговорителями ставятся вдоль этой стены
2.4 ширина помещения (b, м)
2.5 высота установки громкоговорителей (H, м)

Условия расчета:

15 запас звукового давления (ЗД, дБ)
1 расстояние до расчетной точки (r, м)
☒ учитывать отражение поверхности
Бетон окрашенный масляной краской, k=0.02



Выбранный громкоговоритель: ROXTON WS-06T - Настенный громкоговоритель (SPL=90 дБ, P=6 Вт, ШДН=90°, Тип=2)

Уровень шума в помещении: 60 дБ

Длина помещения: 24.6 м

Ширина помещения: 2.4 м

Высота установки громкоговорителя: 2.5 м

Тип ограждающей поверхности: Бетон окрашенный масляной краской, k=0.02

Звуковое давление громкоговорителя: 97.76

Звуковое давление в расчетной точке (P_т): 97.76

Выбрана схема размещения: 4. "Размещение настенных громкоговорителей вдоль одной стены с учетом отражения"

Эквивалентная дальность звучания (1-го громкоговорителя): 42.55 м

РЕКОМЕНДАЦИИ

Количество точек громкоговорителей: 1

Шаг размещения громкоговорителей (в дюймах): 9.90 м

Количество громкоговорителей (в штуках): 3

Площадь звукуемого помещения: 59.04 м²

Общая дальность звучания: 3

Рисунок П5.4 – «Программа для электроакустического расчета, выполняемого при проектировании СОУЭ» № 2024611103

3. Для защиты объекта применена цифро-аналоговая система оповещения ROXTON 8000 и система селекторной громкоговорящей связи ROXTON CS [95]. Спецификация системы приведена в таблице П5.2:

Таблица П5.2 – Спецификация СОУЭ, применяемой на исследуемом объекте защиты

Поз.	Модель	Наименование позиции	Кол-во
Система оповещения ROXTON 8000			
1	AP-8264	Блок речевых сообщений (аудио-процессор)	1
2	PS-8208	Блок контроля и управления	1
3	RM-8064	Микрофонная консоль	1
4	RA-8236	Комбинированный трансляционный усилитель	4
5	DJM-1245	Аккумуляторные батареи	6
Система громкоговорящей обратной связи ROXTON CS			
6	CS-8232	Селектор связи (на 32 абонентских панелей)	1
7	CP-8032	Абонентская панель (накладного типа	20
8	PD-8032	Распределитель питания	10
Речевые оповещатели / громкоговорители			
9	WP-06T	Настенный речевой оповещатель	108
10	WS-06T	Настенный речевой оповещатель	44
11	PA-620T	Потолочный речевой оповещатель	64
12	HS-50T	Рупорный громкоговоритель	4

Краткая спецификация системы. Общее количество зон и линий оповещения – 11 шт. Автопарковка (нулевой этаж) оснащена четырьмя рупорными громкоговорителями MP-30T. Коридоры с 4-го по 14-й этаж оснащены настенными вандалозащищенными РО WS-06T. Офисы с 4-го по 13-й этаж оснащены настенными (WS-06T, WP-06T). Общая экспликация по нагрузке приведена в таблице П5.3.

Таблица П5.3 – Экспликация помещений на исследуемом объекте защиты

№	Наименование зоны оповещения	Кол-во РО, шт.	Мощность РО	Сумм. мощн., Вт	Распред. по усилит., Вт.
1	Парковка	4	30	120	№1
2	Этаж 4	18	6	108	40 шт.
3	Этаж 5	18	6	108	336 Вт
4	Этаж 6	18	6	108	№2
5	Этаж 7	18	6	108	54 шт.
6	Этаж 8	18	6	108	324
7	Этаж 9	28	6	168	№3
8	Этаж 10	18	6	108	57 шт.
9	Этаж 11	11	6	66	342
10	Этаж 12	18	6	108	№4
11	Этаж 13	18	6	108	54 шт.
12	Этаж 14	18	6	108	324
Общее кол-во РО		205	Нагрузка	1326	1326

Запас по нагрузке составляет 8,6 % (что в 2,5 раз ниже положенного).

Функциональная схема подключения блоков, входящих в состав системы, представлен на рисунке П5.5.

Краткое описание системы. Система оповещения ROXTON – многозонное (до 512 зон), трехканальное, многоприоритетное цифро-аналоговое решение, построенное на основе интерфейса передачи данных RS-485. Микрофонная консоль ROXTON RM-8264 используется для передачи служебных объявлений в линии оповещения, объединяемые в 8 групп, при плановой проверке работоспособности. На аудиопроцессоре AP-8264 (с возможностью гибкого управления) реализован простейший алгоритм с циркулярным включением всех линий и трансляцией сообщения во все зоны одновременно. Блок PS-8208 осуществляет контроль и управление основными функциями и 4-мя терминальными трансляционными системами RA-8236. К каждому терминалу подключено от 2-х до 4-х линий оповещения с нагрузкой от 330 до 350 Вт с коэффициентом запаса по мощности 10 %. Резервирование системы

осуществляется от 6-ти аккумуляторных батарей DJM-1245. В качестве системы громкоговорящей обратной связи применена система ROXTON CS с селектором ROXTON CS-8232, к которому подключены 10 поэтажных распределителей питания ROXTON PD-8032 и 20 абонентских панелей ROXTON CP-8032 накладного типа (по две панели на каждый из 10-ти этажей). Подробное описание каждой из подсистемы приведено на сайте [194].

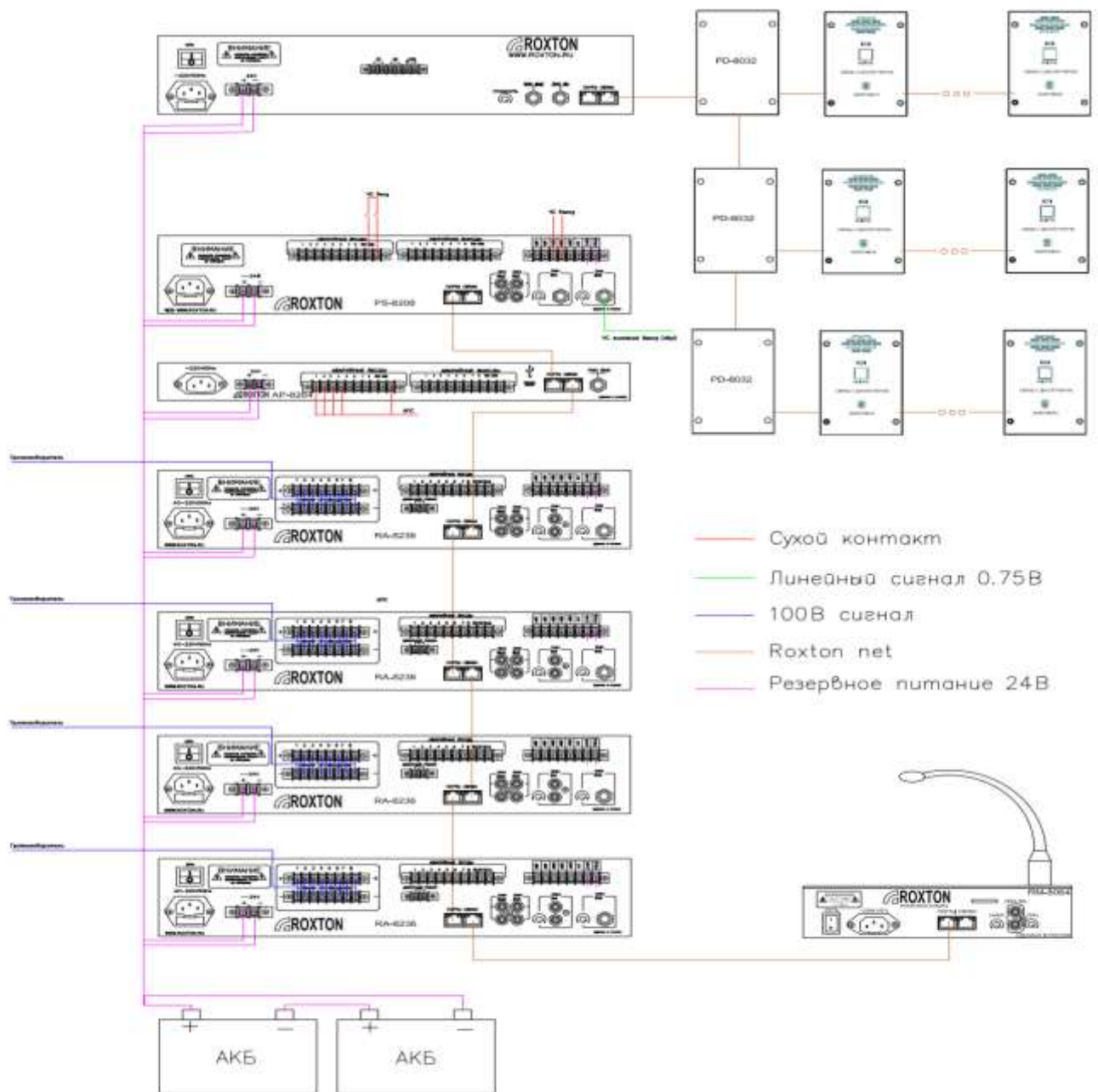


Рисунок П5.5 – Схема соединения блоков системы

4. Для определения надежности блока управления выполнен поэлементный расчет с использованием программы для ЭВМ, Приложение 9 настоящего исследования. На рисунке П5.6 представлены скриншоты модуля для расчета надежности.

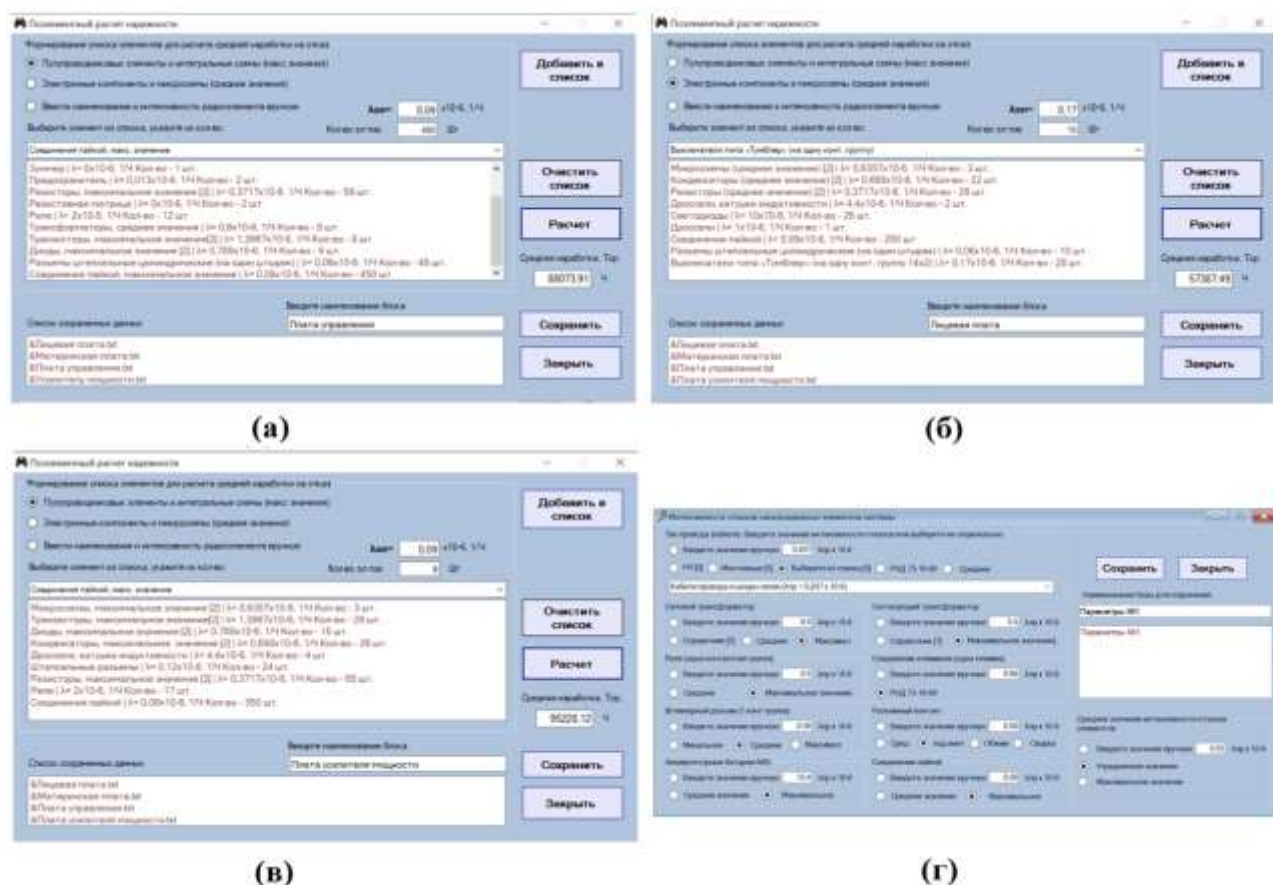


Рисунок П5.6 – Программа для ЭВМ RU 2024611103:

- а) модуль поэлементного расчета надежности платы управления;
- б) скриншот расчета надежности для лицевой платы;
- в) скриншот расчета для платы усилителя мощности;
- г) модуль для выбора и установки интенсивностей интенсивностей отказов низконадежных элементов

Примечание: средняя наработка на отказ вычислена для максимальных значений интенсивностей отказов.

Приложение 6

Протокол совместных акустических испытаний

ESCORT GROUP

115280, г. Москва, Даниловский муниципальный округ,
ул. Автозаводская, дом 23А, корпус 2, этаж 9, офис 907
Телефон: +7 (495) 937-5341, +7 (495) 937-5342
info@escortpro.ru | www.escortpro.ru

г. Москва
«13» августа 2019г.
Ген. Директор ГК «Эскаорт»
О.В. Ерохин

Главный метролог АО «АКИН»
О.Б. Овчинников

Зам. ген. директора ГК «Эскаорт» по НТР
О.В. Кочнов

ПРОТОКОЛ СОВМЕСТНЫХ АКУСТИЧЕСКИХ ИСПЫТАНИЙ
от 30.07.2019 г.

В период с 22 по 26 июля 2019 года в безэховой камере акустического института им. академика Н. Н. Андреева, г. Москва, были проведены совместные испытания громкоговорителей ROXTON. Наименования изделий приведены в Приложении 1. Для электроакустических измерений основных параметров громкоговорителей, выполненных в соответствии с ГОСТ 53575-2009 «Методы электроакустических испытаний», была использована следующая аппаратура:

- трансляционный усилитель ROXTON AZ-240;
- ноутбук ASUS со встроенной звуковой картой для генерации тестового сигнала;
- ноутбук ASUS для управления сбором данных;
- цифровой мультиметр Fluke 107 для контроля тока нагрузки;
- цифровой мультиметр Fluke 107 для контроля напряжения на выходе трансляционного усилителя;
- шумомер RFT 00024;
- внешняя плата АЦП USB-3000 для сбора данных.

Целью измерений являлось получение двух базовых характеристик громкоговорителей: частотной зависимости уровней звукового давления и характеристик направленности громкоговорителей, в диапазоне от 200 до 5000 Гц. Результаты обработки полученных данных приведены в таб.П1.1 Приложения 1 и таб.П2.1 Приложения 2.

ПРИЛОЖЕНИЕ 1

к протоколу от 30.07.2019 г.

Таблица П1.1

**Результаты акустических измерений уровней звукового давления
развиваемого громкоговорителями для 5-ти октавных частот**

№	Модель	Наименование \ АЧХ	250	500	1000	2000	4000	Не равн.
1	CN-40T	Звуковая колонна 40 Вт настенная	101	102,6	105,4	107,8	106,5	5,2
2	HP-15CPT	Рупорный громкоговоритель 15 Вт, морозостойкий	62,9	106,1	115,2	120,6	112,8	14,5
3	HP-30T	Рупорный громкоговоритель 30 Вт	87,3	110,1	122,3	117	111,8	12,2
4	HS-30T	Рупорный громкоговоритель 30 Вт	87,3	113,7	122,5	121,4	115,7	8,8
5	HS-50T	Рупорный громкоговоритель 50 Вт	90,4	115,3	126,8	123,1	113,5	11,5
6	MP-30T	Широкополосный рупорный громкоговоритель 30 Вт и 8 Ом	101,4	109,6	110,9	110,5	104	1,3
7	MP-50T	Широкополосный рупорный громкоговоритель 50 Вт и 8 Ом	108,4	110,9	116	115	114,8	5,1
8	PA-30T	Потолочный громкоговоритель 30, двухполосный	96,9	97,1	106,4	99,8	105,7	9,3
9	PA-620T	Потолочный громкоговоритель 6 Вт, широкополосный	88,8	90,1	102,9	103,8	88,1	13,7
10	WP-06T	Настенный громкоговоритель 6 Вт, широкополосный	91,4	100,4	101,3	92,4	99,9	1,4
11	WP-10T	Настенный/потолочный громкоговоритель 10 Вт	93,3	101,8	100,9	100,6	99,8	1,1
12	WS-06T	Настенный громкоговоритель 6 Вт, вандализационный	91,3	96,7	98,9	94	96,7	2,2

Примечание: В таблице 1 приведены результаты обработки акустических измерений параметров громкоговорителей при помощи поверенного шумомера RFT 00024 в безэховой камере. Дистанция от громкоговорителя до приемного микрофона составляла 4м, диапазон частот – от 62.5 Гц до 16 кГц, диапазон углов от 0 до 90 градусов. В качестве тестового сигнала использовался ряд дискретных частот (ГОСТ 12090), получаемых при генерации белого шума, пропущенного через фильтр розового шума, с последующим режектированием октавных частот треть-октавным полосовым фильтром. Сбор данных осуществлялся на внешнюю плату АЦП USB-3000, подключенную к компьютеру. Результаты измерений были обработаны и структурированы при помощи программы визуализации для среды MatLab.

ПРИЛОЖЕНИЕ 2

к протоколу от 30.07.2019 г.

Таблица П2.1

**Результаты акустических измерений уровней звукового давления
развиваемого громкоговорителями для двух частот 1/4 кГц в
зависимости от углов отклонения**

№	Частоты, кГц / Углы откл., град	0	5	10	15	30	45	60	75	90
1	1 кГц	105,4	104,5	104	104	102	100	96	93	92
	4кГц	104,5	104	103	102	99	95	93	89	88
2	1 кГц	115,2	114,5	114	112,5	109	103	98	94	91
	4кГц	112	111	110,5	110	106	102	95	92	89
3	1 кГц	122,3	122	120	117	114	108	102	99	98
	4кГц	111,8	111	110	109	103	100	95	91	89
4	1 кГц	121	121	120	118	112	106	100	96	95
	4кГц	114	114	112	110	105	100	95	90	89
5	1 кГц	126,8	124,5	125	124	120	115	110	105	100
	4кГц	113,5	111	109	105	99	97	95	92	91
6	1 кГц	110,9	109,5	109	108	106	103	102	99	97
	4кГц	104	104	103,5	103	99	95	92	89	88
7	1 кГц	116	115	114,5	115	112	108	106	103	102
	4кГц	114,8	114	113,5	113	108	105	100	98	96
8	1 кГц	106,4	106	105,5	105	104	100	98	97	94
	4кГц	105,7	105	104,5	104	102	98	95	93	92
9	1 кГц	102,9	102	101	100,5	100	99	97	96	95
	4кГц	88,1	88	87	85	84	83	81	79	77
10	1 кГц	101,3	101	101	100,5	100	99	97	96	95
	4кГц	99,9	99	99	98,5	96	94	91	89	87
11	1 кГц	100,9	100	100	99,5	99	98	97	96	94
	4кГц	99,8	99	99	98,5	96	94	91	89	87
12	1 кГц	98,9	92	98	97	96	95	94	94	92
	4кГц	96,7	95	95	94	93	91	89	86	85

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В результате проведенных испытаний были получены данные, позволившие построить частотные зависимости уровней звукового давления и характеристики направленности – зависимости уровней звукового давления от угла отклонения расчетной точки от рабочей оси громкоговорителей. Из приведенных частотных зависимостей следует их полное соответствие требованиям стандарта ГОСТ Р 53325-2009 «Технические средства пожарной автоматики. Общие технические требования. Методы испытаний», предъявляющего требования к параметрам речевых оповещателей, используемых в системах оповещения и управления эвакуацией людей при пожаре (СОУЭ). Анализ приведенных частотных зависимостей демонстрирует их полное соответствие требованиям стандарта по пожарной безопасности, согласно которому неравномерность частотной характеристики в диапазоне 500Гц - 3500Гц не должна превышать 16 дБ.

Результаты испытаний показали, что громкоговорители ROXTON (таб.П1.1), имеющие сертификат соответствия требованиям пожарной безопасности, могут быть использованы инженерами-проектировщиками в качестве речевых оповещателей, применяемых в системах оповещения и управления эвакуацией людей при пожаре (СОУЭ высоких типов), а также при проектировании любых объектов инфраструктуры, где требуется высокое качество оповещения и звуковой трансляции, подтверждаемое акустическими расчетами.

Ген. Директор
ГК «Эскаорт»

Главный метролог
АО «АКИН»

Зам. ген. директора
ГК «Эскаорт» по НТР



О.В. Ерохин

О.Б. Овчинников

О.В. Кочнов

ПРОФЕССИОНАЛЬНОЕ ЗВУКОВОЕ ОБОРУДОВАНИЕ - СИСТЕМЫ ОПОВЕЩЕНИЯ И ТРАНСЛЯЦИИ
ОБОРУДОВАНИЕ ДЛЯ КОНФЕРЕНЦ-ЗАЛОВ



Приложение 7

«Зональная система аварийно-пожарного оповещения, речевой и
музыкальной трансляции на базе персонального компьютера»
Свидетельство об официальной регистрации программы для ЭВМ
№ 2002612097



РОССИЙСКАЯ ФЕДЕРАЦИЯ
РОССИЙСКОЕ АГЕНТСТВО ПО ПАТЕНТАМ
И ТОВАРНЫМ ЗНАКАМ
(РОСПАТЕНТ)

СВИДЕТЕЛЬСТВО
Об официальной регистрации программы для ЭВМ
№ 2002612097

На основании Закона Российской Федерации "О правовой охране программ для электронных вычислительных машин и баз данных", введенного в действие 20 октября 1992 года, Российским агентством по патентам и товарным знакам выдано настоящее свидетельство об официальной регистрации программы для ЭВМ

"Зональная система аварийно-пожарного оповещения, речевой и музыкальной трансляции на базе персонального компьютера"

Правообладатель(ли):
Общество с Ограниченной Ответственностью "Эскаорт Про" (RU)

Автор(ы):
Колнов Олег Владимирович (RU)

Страна: Российская Федерация
по заявке № 2002612217, дата поступления: 17 декабря 2002 г.

Зарегистрировано в
Реестре программ для ЭВМ
г. Москва, 27 декабря 2002 г.



Генеральный директор
 *А.Д. Короткий*

Приложение 8

«Расчеты, выполняемые при проектировании речевых и проводных СОУЭ».

Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ №
2024611103

РОССИЙСКАЯ ФЕДЕРАЦИЯ



СВИДЕТЕЛЬСТВО
о государственной регистрации программы для ЭВМ
№ 2024611103

**Расчеты, выполняемые при проектировании речевых и
проводных СОУЭ**

Правообладатель: *Кочнов Олег Владимирович (RU)*

Автор(ы): *Кочнов Олег Владимирович (RU)*

Заявка № **2023689584**
Дата поступления **25 декабря 2023 г.**
Дата государственной регистрации
в Реестре программ для ЭВМ **17 января 2024 г.**



Руководитель Федеральной службы
по интеллектуальной собственности
Ю. С. Зубов

Приложение 9

«Программа для электроакустического расчета, выполняемого при проектировании СОУЭ» Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ № 2024611103

РОССИЙСКАЯ ФЕДЕРАЦИЯ



СВИДЕТЕЛЬСТВО
о государственной регистрации программы для ЭВМ
№ 2024612813

**Программа для электроакустического расчета,
выполняемого при проектировании СОУЭ**

Правообладатель: **ОБЩЕСТВО С ОГРАНИЧЕННОЙ
ОТВЕТСТВЕННОСТЬЮ "ЭСКОРТ ГРУПП" (RU)**

Авторы: **Кочнов Олег Владимирович (RU), Яковлев
Александр Владимирович (RU)**

Заявка № **2024610949**
Дата поступления **23 января 2024 г.**
Дата государственной регистрации
в Реестре программ для ЭВМ **06 февраля 2024 г.**



Руководитель Федеральной службы
по интеллектуальной собственности

Ю. С. Zubov

Приложение 10

**Сертификат соответствия речевых оповещателей ROXTON требованиям
ППРФ от 26.09.16 №969 (сертификат № С-RU.01ГО.В.00032)**

РОССИЙСКАЯ ФЕДЕРАЦИЯ СЕРТИФИКАТ СООТВЕТСТВИЯ (обязательная сертификация)	
№ С-RU.01ГО.В.00032 (номер сертификата соответствия)	
ЗАЯВИТЕЛЬ	Общество с ограниченной ответственностью «Эскаорт Групп» (ООО «Эскаорт Групп»), ОГРН 1097746608915 (наименование и местонахождение заявителя) 115280, г. Москва, вн.тер.г. муниципальный округ Даниловский, ул. Автозаводская, дом 23А, корпус 2, этаж 9, офис 907
ИЗГОТОВИТЕЛЬ	VOXPA Electronics Co., Ltd, No.19, Guanghua Rd, Huadu District, Guangzhou, China, +862029041580 (наименование и местонахождение изготовителя)
ОРГАН ПО СЕРТИФИКАЦИИ Федеральное государственное бюджетное учреждение «Всероссийский научно-исследовательский институт по проблемам гражданской обороны и чрезвычайных ситуаций МЧС России» (федеральный центр науки и высоких технологий), ОГРН 1027739625550 (наименование и местонахождение органа по сертификации, выдавшего сертификат соответствия) Адрес: 121352, Москва, ул. Давыдовская, д. 7	
ПОДТВЕРЖДАЕТ, ЧТО ПРОДУКЦИЯ	Оповещатели речевые «Roxton» (см. Приложение, бланк 00088), (информация об объекте сертификации, позволяющая идентифицировать объект) технические условия 63652583.425541.101 ТУ, 63652583.425541.201 ТУ, 63652583.425541.301 ТУ, 63652583.425541.401 ТУ, 63652583.425541.501 ТУ, 63652583.425541.601 ТУ, 63652583.425541.701 ТУ, ОКПД2 26.30.50.123, ТН ВЭД ЕАЭС 8531 10, серийный выпуск
СООТВЕТСТВУЕТ ТРЕБОВАНИЯМ ПОСТАНОВЛЕНИЯ ПРАВИТЕЛЬСТВА РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ ОТ 26 СЕНТЯБРЯ 2016 № 969 пункты 50 (в части оконечных средств оповещения), 51 (а), 52 (кроме 52 ж), 57 (а,б,в,г,ж,л*) раздела X Требований к функциональным свойствам технических средств обеспечения транспортной безопасности (номера подпунктов, пунктов Постановления) * — для громкоговорителей, предназначенных для эксплуатации в помещениях и на открытых пространствах	
ПРОВЕДЕННЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ (ИСПЫТАНИЯ) И ИЗМЕРЕНИЯ Протокол испытаний № 55/1 от 06.03.2023, ИЦ испытательный центр ФГБУ НИИР, номер записи в Реестре аккредитованных лиц RA.RU.21ИР01 от 18.08.2015; Протоколы ООО «Эскаорт Групп» № 55/С-1 от 15.12.2022, № 55/С-2 от 16.12.2022; Расчеты надежности от 06.12.2022, от 09.12.2022, от 10.12.2022.	
СРОК ДЕЙСТВИЯ СЕРТИФИКАТА СООТВЕТСТВИЯ с 17.03.2023 по 16.03.2026	
 Заместитель начальника института (должность руководителя (уполномоченного лица) органа по сертификации)	 В.Б. Мошков (инициалы, фамилия)
00087	

РОССИЙСКАЯ ФЕДЕРАЦИЯ

ПРИЛОЖЕНИЕ

к СЕРТИФИКАТУ СООТВЕТСТВИЯ № С-RU.01ГО.В.00032

(обязательная сертификация)

Перечень технических средств оповещения,
на которые распространяется действие сертификата соответствия:

Вид, тип ТСО	Модель
Оповещатели речевые «Roxton», соответствующие требованиям раздела X Требований, разрешенные для эксплуатации как в помещениях, так и на открытых пространствах	
Потолочные громкоговорители	ROXTON PC-06T
Рупорные громкоговорители	ROXTON HP-01T; ROXTON HP-10T; ROXTON HP-15T; ROXTON HP-15CPT; ROXTON HP-30T; ROXTON HS-30T; ROXTON HS-50T; ROXTON MP-30T; ROXTON MP-50T
Звуковые колонны	ROXTON CN-10T; ROXTON CN-20T; ROXTON CN-30T; ROXTON CN-40T; ROXTON CS-810T; ROXTON CS-820T; ROXTON CS-830T; ROXTON CS-840T
Акустические системы	ROXTON LA-200 — Линейный массив; ROXTON LA-200 Transformer — Согласующий трансформатор
Примечание: * — Линейный массив ROXTON LA-200 применяется в комплекте с согласующим трансформатором ROXTON LA-200 Transformer	
Оповещатели речевые «Roxton», соответствующие требованиям раздела X Требований, предназначенные для эксплуатации только в помещениях	
Потолочные громкоговорители	ROXTON LF-06WT; ROXTON LF-06BT; ROXTON LF-10WT; ROXTON LF-10BT; ROXTON PA-03T; ROXTON PA-06WPT; ROXTON PA-20T; ROXTON PA-30T; ROXTON PA-610T; ROXTON PA-620T
Настенные громкоговорители	ROXTON LS-06BT; ROXTON LS-06WT; ROXTON LS-10BT; ROXTON LS-10WT; ROXTON SWS-10; ROXTON WP-03T; ROXTON WP-06T; ROXTON WP-10T; ROXTON WS-06T
Акустические системы	ROXTON MS-20TB; ROXTON MS-20TW; ROXTON MS-40TB; ROXTON MS-40TW; ROXTON MS-80TB; ROXTON MS-80TW
Подвесные громкоговорители	ROXTON SP-20T; ROXTON T-200
Звуковые прожекторы	ROXTON SW-10T2 — Двухнаправленный звуковой прожектор; ROXTON SW-20T



Заместитель начальника института

Служба руководителя
(уполномоченного лица)
органа по сертификации

(подпись)

В.Б. Мошков

(инициалы, фамилия)

00086

Приложение 11

Акт внедрения результатов исследования при выполнении диссертационной работы



**ОАО «Специализированное
строительное управление-5»**

ИНН 7841014981 КПП 780501001 ОГРН 1047841026892
Р/с. № 40702810435000002437 К/с. № 30101810900000000790
ПАО «Банк «Санкт-Петербург» БИК 044030790

198099, Санкт-Петербург,
ул. Оборонная, д. 22

+7 (812) 682-91-91
+7 (921) 849-76-53

info@ssu-5.ru
www.ssu-5.ru

УТВЕРЖДАЮ
Генеральный директор
ОАО «Специализированное строительное управление-5»



С.В. Хомяков
2024

АКТ

внедрения результатов исследования, полученных при выполнении
диссертационной работы на тему: «Оценка влияния функционирования речевых систем
оповещения на эффективность управления эвакуации людей»
Кочнова Олега Владимировича

Комиссия в составе:

Председателя:

Генеральный директор ОАО «Специализированное строительное
управление-5» С.В. Хомяков

Членов комиссии:

Руководителя проектной группы ОАО «Специализированное
строительное управление-5» С.С. Кучумова

Заместителя руководителя проектной группы ОАО

«Специализированное строительное управление-5» В.Ю. Адамова

составили настоящий акт о подтверждении внедрения предложенной в диссертационной работе
Кочнова О.В. методики электроакустических расчетов, выполняемых при проектировании
речевых систем оповещения о пожаре (СОУЭ), а также способов создания и обоснования
поэтапных алгоритмов оповещения и управления эвакуацией людей в безопасную зону, методов
расчета надежности и оценки эффективности СОУЭ с учетом всех этапов жизненного цикла
системы, при разработке раздела «Мероприятия по обеспечению пожарной безопасности.
Автоматические системы и установки противопожарной защиты» проектной документации на
строительство корпуса фондохранилища и Эрмитажной библиотеки по адресу: Санкт-Петербург,
ул. Школьная, дом 39, литер А.

Председатель комиссии:

Генеральный директор

Члены комиссии:

Руководитель проектной группы

Заместитель руководителя проектной группы



С.В. Хомяков

С.С. Кучумов

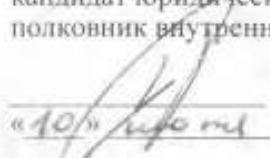
В.Ю. Адамов

Приложение 12

Акт о внедрении результатов диссертационного исследования

УТВЕРЖДАЮ

Начальник ФКОУ ВО
Воронежский институт ФСИН России,
кандидат юридических наук,
полковник внутренней службы

 В. С. Злобин
«10» _____ 2024 г.

АКТ

о внедрении результатов диссертационного исследования

Кочнова О.В. на тему: «Оценка влияния функционирования речевых систем оповещения на эффективность управления эвакуации людей» в учебный процесс ФКОУ ВО Воронежский институт ФСИН России по научной специальности
2.10.1. Пожарная безопасность

Комиссия в составе:

Председателя: заместителя начальника института по научной работе, к.т.н., доцента, полковника внутренней службы Печенина Е.А.;

Членов комиссии: начальника кафедры технических комплексов охраны и связи, к.т.н., доцента, подполковника внутренней службы Исаева О.В.;
начальника кафедры информационной безопасности телекоммуникационных систем, к.т.н., доцента, майора внутренней службы Кольцова А.С.;
доцента кафедры основ радиотехники и электроники, к.т.н., доцента, полковника внутренней службы Чепелева М.Ю.

составили настоящий акт о том, что материалы и результаты диссертационного исследования, выполненного Кочновым О.В., предложенные и апробированные методики электроакустических расчетов, выполняемые при проектировании речевых систем оповещения о пожаре (СОУЭ), способы создания и обоснования поэтапных алгоритмов оповещения и управления эвакуацией людей в безопасную зону, методы расчета надежности и оценки эффективности СОУЭ с учетом всех этапов жизненного цикла системы успешно применяются в учебном процессе Воронежского института ФСИН России на кафедре технических комплексов охраны и связи в рамках следующих дисциплин: «Эксплуатация инфокоммуникационных систем специального назначения», «Интегрированные системы безопасности», «Системы контроля и управления доступом».

Председатель комиссии:

полковник внутренней службы

Члены комиссии:

подполковник внутренней службы

майор внутренней службы

полковник внутренней службы



Е. А. Печенин

О. В. Исаев

А. С. Кольцов

М. Ю. Чепелев

«10» _____ 2024 г.