

на правах рукописи

ЕПИФАНОВ ЕВГЕНИЙ НИКОЛАЕВИЧ

**РАЗРАБОТКА МЕТОДОЛОГИЧЕСКИХ ОСНОВ АКУСТИЧЕСКОГО  
ПРОЕКТИРОВАНИЯ СИСТЕМЫ РЕЧЕВОГО ОПОВЕЩЕНИЯ ПРИ  
ПОЖАРЕ В ЗДАНИЯХ С МАССОВЫМ ПРЕБЫВАНИЕМ ЛЮДЕЙ**

Специальность 01.04.06 – Акустика

Автореферат диссертации на соискание ученой степени  
кандидата технических наук

Санкт-Петербург - 2019

Работа выполнена в Федеральном государственном бюджетном образовательном учреждении высшего образования «Воронежский государственный лесотехнический университет имени Г. Ф. Морозова»

Научный руководитель: **Асминин Виктор Федорович**  
доктор технических наук, профессор

Официальные оппоненты: **Леденёв Владимир Иванович**  
доктор технических наук, профессор, профессор кафедры «Городское строительство и автомобильные дороги» ФГБОУ ВО «Тамбовский государственный технический университет», г. Тамбов

**Куклин Денис Александрович**  
доктор технических наук, профессор кафедры «Экология и безопасность жизнедеятельности» ФГБОУ ВО «Балтийский государственный технический университет «ВОЕНМЕХ» им. Д.Ф. Устинова», г. Санкт-Петербург

Ведущая организация: Федеральное государственное бюджетное учреждение «Научно-исследовательский институт строительной физики Российской академии архитектуры и строительных наук» (НИИСФ РААСН), г. Москва

Защита состоится «16» мая 2019 года в 15.00 на заседании диссертационного совета Д.212.010.01 в Балтийском государственном техническом университете «ВОЕНМЕХ» им. Д.Ф. Устинова по адресу: 190005, Санкт-Петербург, 1-я Красноармейская ул., 1, ауд. 217. E-mail: drozdovalf@yandex.ru

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке и на сайте Балтийского государственного технического университета «ВОЕНМЕХ» им. Д.Ф. Устинова, <http://www.voenmeh.ru>

Автореферат разослан «03» апреля 2019 г.

Ученый секретарь  
Диссертационного совета



Л.Ф. Дроздова

## ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

**Актуальность темы исследования.** В последние годы (5-7лет) в Российской Федерации наметилось устойчивое снижение количества пожаров.

Однако, анализ статистических данных о гибели людей на пожарах свидетельствует о том, что среднее число погибших на пожарах на 100 тыс. чел. населения за год одно из самых высоких в мире – 9,8.

В эту статистику существенный вклад вносят пожары в общественных зданиях с массовым пребыванием людей. Эти здания имеют сложные архитектурно-планировочные решения, большое количество эвакуационных путей и выходов. Согласно зарубежным и отечественным статистическим данным именно на такие здания приходится общественно-резонансные пожары с наибольшим социальным и материальным ущербом.

Основным способом обеспечения безопасности людей в случае возникновения пожара является быстрая и своевременная их эвакуация, представляющая собой процесс организованного самостоятельного движения эвакуирующихся непосредственно наружу или в безопасную зону из помещений, в которых имеется возможность воздействия опасных факторов пожара (далее - ОФП). Основным параметром, влияющим на своевременность и успешность эвакуации людей, является время начала эвакуации. Обеспечить своевременность этого процесса возможно применением системы оповещения и управления эвакуацией людей при пожаре соответствующего типа (далее - СОУЭ). Препятствовать процессу успешной эвакуации может множество различных факторов. Причем, одним из наиболее значимых факторов является недостаточная информированность эвакуирующихся о начале эвакуации и порядке действий.

СОУЭ представляет собой один из элементов системы противопожарной защиты, который наряду с соблюдением противопожарных требований к эвакуационным путям и выходам и комплексом организационных мероприятий обеспечивает пожарную безопасность объекта. Преимуществом СОУЭ, отличающим его от других элементов системы противопожарной защиты здания, является возможность изменения алгоритма её функционирования и адаптации к динамично меняющейся обстановке в ходе пожара.

Получение своевременной не искаженной речевой информации эвакуирующимися людьми, как в начале, так и в ходе эвакуации обеспечивает безопасность и своевременность её проведения.

Поэтому основной качественной характеристикой СОУЭ является разборчивость передаваемого речевого сообщения, которая в свою очередь зависит от схемы размещения средств оповещения (оповещателей), поэтажной геометрической конфигурации здания, характеристик звукоизолирующих и звукопоглощающих материалов в конструкциях здания или помещения. В настоящее время при акустическом проектировании СОУЭ используются упрощенные расчетные методики, не учитывающие влияние вышеперечисленных факторов.

Анализ нормативных правовых актов и документов в области пожарной безопасности показал отсутствие в них четких требований, выполнение которых обеспечит разборчивость передаваемого речевого сообщения в любой точке защищаемого помещения.

**Степень разработанности темы диссертационного исследования** В область исследования повышения качества системы оповещения и озвучения помещений внесли значительный вклад Бабуркин В.Н., Быков Ю.С., Дрейзен И. Г., Сапожков М.А., Покровский Н.Б., Рабинович Г.Р., Фурдуев В.В. и др. Процессами распространения звука в помещениях и снижения шумового воздействия на людей успешно занимались Асминин В.Ф., Антонов А.И., Боголепов И. И., Борисов Л.А., Бутаков Г.В., Гусев В.П., Иванов Н.И., Леденев В.И., Ковригин С.Д., Крышов С.И., Матвеева И.В., Осипов Г.Л., Седов М.С., Соломатин Е.О., Тупов В. Б., Шубин И.Л., Швецов Н.Н., Юдин Е.Я. и др.

Однако, не смотря на многочисленные исследования вышеуказанных ученых, до настоящего времени не разработана научно-обоснованная методика размещения речевых оповещателей СОУЭ, которая гарантировано обеспечивала бы необходимую разборчивость в помещениях.

**Целью диссертационного исследования** является разработка научно обоснованной расчетной методики размещения речевых пожарных оповещателей, обеспечивающей разборчивость речевого сообщения при пожаре в зданиях с массовым пребыванием людей.

**Основные задачи исследования:**

- проанализировать роль речевого сообщения среди факторов, влияющих на обеспечение безопасности людей при пожаре;
- на основе сравнительного анализа существующих методов оценки разборчивости речи теоретически обосновать выбор метода расчета разборчивости сигнала для проектирования мест размещения оповещателей СОУЭ;
- провести анализ факторов, влияющих на формирование звуковых полей помещений, выполнить оценку и выбор метода расчета распределения прямой и отраженной звуковой энергии оповещателей и технологического оборудования с учетом сложного характера отражения звука от ограждений и сравнить результаты с экспериментальными данными;
- выполнить исследования пространственно-временной структуры звуковых полей помещений, определить и исследовать факторы, влияющие на разборчивость сигналов речевых оповещателей;
- разработать и апробировать методику акустического проектирования речевого оповещения в зданиях с массовым пребыванием людей в помещениях с различными геометрическими и акустическими характеристиками;
- разработать алгоритмы и программный комплекс акустического проектирования системы речевого оповещения людей при пожаре, позволяющий производить расчеты звуковых полей и составлять карты разборчивости сообщения от настенных и потолочных речевых оповещателей.

**Объектом диссертационного исследования** является система речевого оповещения и управления эвакуацией людей при пожаре.

**Предметом исследования** является обеспечение разборчивости речевого сообщения системы оповещения и управления эвакуацией людей при пожаре.

**Научная новизна** работы заключается:

- в результатах сравнительного теоретического анализа существующих расчетных методов оценки разборчивости акустических сигналов и выборе наиболее приемлемого из них;

- в обосновании выбора метода расчета звуковых полей речевых пожарных оповещателей, обеспечивающих требуемую разборчивость сообщения;

- в разработке расчетной методики акустического проектирования системы речевого оповещения при пожаре для зданий с массовым пребыванием людей.

**Теоретическая значимость работы** заключается в разработке расчетной методики и программного комплекса акустического проектирования речевого пожарного оповещения для зданий с массовым пребыванием людей.

**Практическая значимость работы** заключается в обеспечении возможности решения комплекса задач, связанных с обеспечением своевременной и безопасной эвакуацией людей при пожаре. Результаты диссертационной работы могут быть использованы в рамках проведения экспертизы проектных решений и разработки проектной документации при разработке и усовершенствовании существующих систем оповещения и управления эвакуацией при пожаре. Получено свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ № 2014612211 «Программа по акустическому проектированию речевых оповещателей системы оповещения и эвакуации людей при пожаре». Результаты научных исследований внедрены в ООО УК «Жилпроект» (г. Воронеж) и в учебный процесс ФГБОУ ВО Воронежский институт государственной противопожарной службы МЧС России.

**Методология и методы исследования.** В работе использовались теоретические и экспериментальные натурные методы исследования. Теоретические исследования выполнены на основе геометрической и статистической теорий акустики помещений.

**На защиту выносятся:**

- результаты сравнительного теоретического анализа существующих расчетных методов оценки разборчивости акустических сигналов и выбора наиболее приемлемого из них;

- результаты теоретического и экспериментального обоснования выбора комбинационного метода расчета звуковых полей от речевых пожарных оповещателей в помещениях, позволяющего объективно оценивать разборчивость сообщения для разработки методики акустического проектирования системы оповещения и управления эвакуацией людей при пожаре;

- результаты теоретического исследования структуры звуковых полей помещений, определения вклада ранних и поздних отражений речевых оповещателей, соотношения энергии полезного сигнала и шума помех при работе одиночного или группы оповещателей в помещениях с различными геометрическими и акустическими характеристиками;

- методика акустического проектирования системы речевого оповещения и управления эвакуацией при пожаре для соразмерных и несоразмерных помещений;

- программный комплекс акустического проектирования системы речевого оповещения и управления эвакуацией при пожаре из зданий с массовым пребыванием людей.

**Степень достоверности полученных результатов** и выводов, сформулированных в диссертации, подтверждается использованием общепринятых научных положений геометрической и статистической теорий акустики. Адекватность теоретических положений подкрепляется результатами компьютерного моделирования и натурных исследований.

Выбор направления научного исследования осуществлен на основе анализа требований нормативных правовых актов и документов в области пожарной безопасности.

**Апробация работы.** Основные результаты исследования доложены на: Международной научно-практической конференции «Актуальные проблемы инновационных систем информатизации и безопасности» (Воронеж, Воронежский институт высоких технологий, 2011г.); II Международной научно-практической конференции «Пожарная безопасность: проблемы и перспективы» Воронеж, Воронежский институт ГПС МЧС России, 2011г.); III Всероссийской с международным участием научно-практической конференции «Пожарная безопасность: проблемы и перспективы» (Воронеж, Воронежский институт ГПС МЧС России, 2012 г.); Международной научно-практической конференции «Безопасность жизнедеятельности и здоровьесбережение на современном этапе: Перспективы развития» (Самара, Самарский государственный экономический университет, 2012 г.); II Международной научно-практической конференции молодых ученых и специалистов «Проблемы техносферной безопасности - 2013» (Москва, Академия ГПС МЧС России, 2013 г.); Международной научно-практической конференции посвященной 80-летию Академии ГПС МЧС России «Исторический опыт, современные проблемы и перспективы образовательной и научной деятельности в области обеспечения пожарной безопасности» (Москва, Академия ГПС МЧС России, 2013 г.); V международной научно-практической конференции «Пожарная безопасность: проблемы и перспективы» (Воронеж, Воронежский институт ГПС МЧС России, 2014 г.); X Международной научно-практической конференции «Комплексные проблемы техносферной безопасности» (Воронеж, Воронежский государственный технический университет, 2014); III Всероссийской научно-практической конференции, посвященной Году пожарной охраны «Актуальные вопросы совершенствования инженерных систем обеспечения пожарной безопасности объектов» (Иваново, ИПСА ГПС МЧС России, 2016).

**Публикации.** По теме диссертации опубликовано 10 научных работ, в том числе 3 статьи в изданиях, рекомендованных ВАК Министерства образования и науки РФ. В Федеральной службе по интеллектуальной собственности, патентам и товарным знакам РФ зарегистрирована программа для ЭВМ «Программа для акустического проектирования речевых оповещателей системы оповещения и

управления эвакуацией людей при пожаре» (свидетельство о государственной регистрации № 2014612211).

**Структура и объем работы.** Диссертация состоит из введения, пяти глав, заключения, списка литературы и приложений. Содержание работы изложено на 223 страницах текста, включает в себя 90 рисунков, 16 таблиц, список литературы из 101 наименования, приложения на 12 страницах.

## СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

**Во введении** обоснована актуальность темы диссертации, сформулированы цель и задачи исследования, представлены научная новизна, научная и практическая значимость работы.

**В первой главе** проанализированы требования нормативных правовых актов и нормативных документов в области обеспечения пожарной безопасности, а также представлена и проанализирована группа элементов и условий, влияющих на обеспечение безопасности людей при пожаре.

Анализ условий и элементов обеспечения пожарной безопасности показал, что определяющее значение в вопросах обеспечения безопасной и своевременной эвакуации людей имеет система оповещения и управления эвакуацией людей при пожаре. Из элементов системы противопожарной защиты особую роль в обеспечении успешности процесса эвакуации играет СОУЭ речевого оповещения людей при пожаре, позволяющая в отличие от других элементов системы противопожарной защиты изменить алгоритм эвакуации в зависимости от динамично меняющейся обстановке в ходе пожара. В главе приведена существующая классификация СОУЭ, рассмотрена её структура в зависимости от типа оповещения. Анализ алгоритмов работы, выполняемых функций, достоинств и недостатков показал, что предпочтительной с позиции эффективности при организации эвакуации является СОУЭ речевого типа. Статистические данные по пожарам и их последствиям на объектах с массовым пребыванием людей свидетельствуют, что свою задачу системы речевого оповещения и управления эвакуацией людей при пожаре выполнили в большинстве случаев.

Учитывая, что условием выполнения системой речевого оповещения своего функционального назначения, является точное, не искаженное информирование эвакуирующихся, представляется, что разборчивость речевого сообщения при проектировании СОУЭ может быть достигнута с учетом следующих основных факторов (рис.1). Были выявлены возможности и особенности применения различных типов СОУЭ согласно классификации, установленной нормативными правовыми актами и документами в области пожарной безопасности. Аналитически определены факторы, влияющие на разборчивость информации речевого сообщения, транслируемого СОУЭ. К ним относятся: функциональное назначение здания или помещения, поэтажная геометрическая конфигурация здания, характеристики звукоизолирующих и звукопоглощающих материалов ограждающих конструкций помещений и схемы размещения технических средств речевого оповещения.

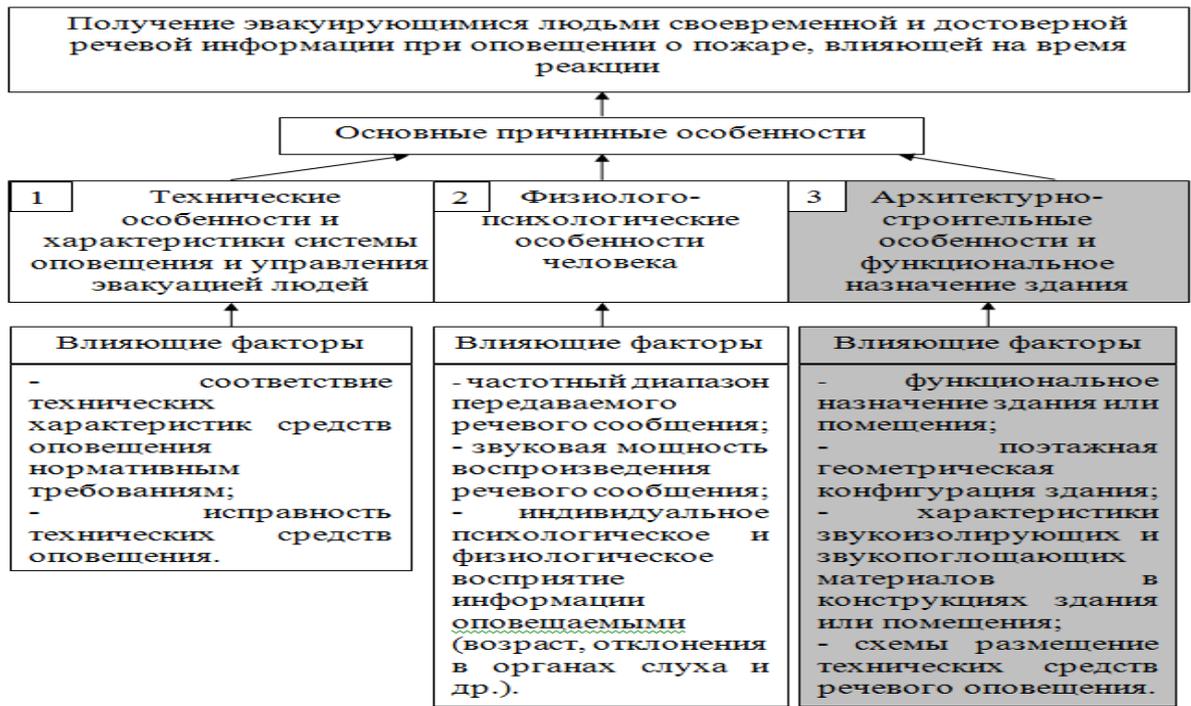


Рисунок 1. Факторы, влияющие на разборчивость речевого сообщения и получение достоверной информации людьми, эвакуируемыми при пожаре

Во второй главе рассмотрены общие вопросы акустического проектирования СОУЭ, основным из которых является размещение оповещателей, обеспечивающее разборчивость речевого сигнала в любой точке защищаемого помещения. На размещение оповещателей СОУЭ, соблюдая условие обеспечения разборчивости сообщения, большое влияние оказывают их акустические и конструкционные характеристики, а также акустические процессы в помещении. Эти процессы зависят от множества факторов, которые представлены на рис 2.



Рисунок 2. Факторы, влияющие на проектируемую систему речевого оповещения

Как видно из рис. 2 факторы, влияющие на проектирование СОУЭ, объединены в две группы: параметры источников звука и характеристики помещения, защищаемого системой оповещения.

Проведен анализ и коррекция существующей системы классификации речевых пожарных оповещателей, в основу которой положены акустические характеристики, конструктивное исполнение и порядок размещения оповещателей в помещении. Причем, акустические характеристики являются определяющими.

При анализе нормативных требований к акустическим характеристикам речевого оповещения и порядку сертификационных испытаний речевых пожарных оповещателей установлен ряд недостатков. Методические рекомендации по акустическим измерениям, размещению оповещателей и проведению их сертификационных испытаний имеют упрощенный характер.

Производители таких сложных акустических приборов как речевые пожарные оповещатели в паспортах и технической документации к ним не всегда в достаточном объеме приводят необходимые акустические характеристики для проектирования СОУЭ. Чаще всего приводятся значения уровня звукового давления  $L_{oc}$  по рабочей оси оповещателя на расстоянии  $r_0 = 1$  м, показатель направленности  $\Delta L = L_\theta - L_{oc}$ , где  $L_\theta$  – уровень звукового давления под углом  $\theta$  к рабочей оси, амплитудно-частотную характеристику. Значений  $L_{oc}$  и  $\Delta L$  достаточно для расчета только прямого звука

$$L = L_{oc} + \Delta L + 20 \lg \left( \frac{r_0}{r} \right). \quad (1)$$

Однако, для оценки разборчивости и расчетов прямых и отраженных звуковых полей используют другие характеристики источников звука. Оповещатели, как основные элементы СОУЭ, являющиеся источником полезного акустического сигнала характеризуются такими параметрами, как коэффициент осевой концентрации ( $\Theta$ ) и фактор направленности ( $\Phi$ ), пространственный угол излучения ( $\Omega$ ) и акустическая мощность ( $L_p$ ). Разработана методика расчета необходимых акустических характеристик ( $L_p$ ,  $\Phi$ ) пожарных оповещателей на основе паспортных значений  $L_{oc}$  и  $\Delta L$ .

Уровень акустической мощности в общем случае рассчитывается как

$$L_p = L_{oc} + 10 \lg \left( \int_{\Omega} 10^{0,1 \Delta L} \cdot d\gamma \right). \quad (2)$$

фактор направленности определяется по выражению

$$\Phi = \frac{\Omega \cdot 10^{0,1 \Delta L}}{\int_{\Omega} 10^{0,1 \Delta L} \cdot d\gamma}. \quad (3)$$

коэффициент осевой концентрации  $\Theta$  рассчитывается по выражению

$$\Theta = \frac{4\pi \overline{P}_{oc}}{\int_{\Omega} P d\gamma} = \frac{4\pi}{\int_{\Omega} F^2 d\gamma} = \frac{4\pi}{\int_{\Omega} 10^{0,1 \Delta L} d\gamma}. \quad (4)$$

где  $\gamma$  – элемент пространственного угла.

Таким образом, разработанная расчетная методика позволяет на основе паспортных данных речевых пожарных оповещателей получить их акустические характеристики, как источников прямого и отраженного звука, а затем использовать их для детального расчета звуковых полей помещения и оценки разборчивости речевого сообщения СОУЭ.

Разборчивость речевого сигнала, как основная характеристика, в формулировке автора представляется как «понятное донесение речевой информации до слушателя без искажений». Для обеспечения необходимой разборчивости речевого сообщения необходимо осуществить акустическое проектирование СОУЭ, которое сводится к выбору типа оповещателя, акустической мощности, количества и порядка размещения оповещателей.

В главе приведены примеры расчета акустических параметров оповещателей по представленной методике.

Проведен анализ существующих упрощенных методик проектирования СОУЭ который показал, что они имеют ряд недостатков. Общими недостатками рассмотренных упрощенных методик являются: не указывается расчетный частотный диапазон (октавная полоса или расчет в дБА); не учитывается отраженный звук в помещении и факторы на него влияющие; не учитываются параметры оповещателей (частотные и пространственные); игнорируются локальные источники шума в помещениях.

**В третьей главе** осуществлено математическое моделирование процессов распространения звукового сигнала в помещении при речевом оповещении, для чего был обоснован выбор метода оценки разборчивости речевого сообщения, а также проведен анализ нормативных требований к речевому оповещению при пожаре. Из этих требований можно выделить два количественных условия:

- устанавливается диапазон общего уровня звука оповещателей и других источников звука в помещении от 75 до 120 дБА (от уровня оптимальной слышимости до болевого порога);
- уровень звука оповещателей должен превышать нормативный уровень постоянного шума не менее чем на 15 дБА.

Другие требования имеют общий характер, не конкретизированы и не могут использоваться при акустическом проектировании мест размещения оповещателей СОУЭ. Например, требование «исключить неравномерность распределения отраженного звука оповещателей» не подкреплены никакими рекомендациями и методиками. Обязательным требованием к звуковому полю речевых оповещателей указывается «обеспечение необходимой разборчивости сигнала», однако методика расчета разборчивости не приводится.

С учетом специфики строительной акустики были рассмотрены три расчетных метода оценки разборчивости речевого сообщения: 1) формантный, 2) четкости по выражению Тиле и 3) реверберационных помех. С помощью этих методов проведены расчеты разборчивости сообщения на трёх примерах, результаты которых сведены в таблицы. Анализ этих результатов позволил сделать вывод, что метод реверберационных помех при оценке разборчивости сигналов оповещателей обладает рядом преимуществ по сравнению с методами четкости по выражению Тиле и формантным:

- учитывает увеличение полезного сигнала оповещателя за счет ранних отражений;
- позволяет четко разделить все поступающие сигналы на полезные и помехи;
- в нем могут использоваться различные методы расчета звуковых полей помещений на основе геометрической или статистической теорий акустики в зависимости от геометрических и акустических параметров помещений;
- позволяет на основе определения разности хода звуковых лучей от каждого оповещателя разделить вклад энергии от нескольких оповещателей на полезную составляющую и помехи;
- его можно применять для оценки разборчивости сигнала оповещателей в помещениях с локальными источниками значительной акустической мощности.

Таким образом, в силу указанных преимуществ, предпочтение отдано методу реверберационных помех который был применен для оценки разборчивости речевого сигнала в разрабатываемом программном комплексе акустического проектирования мест размещения речевых пожарных оповещателей. Согласно этому методу разборчивость сигналов оповещателей определяется фактором

$$Q'' = K_L T Q, \quad (5)$$

где  $T$  – время реверберации помещения. Фактор  $K_L$  учитывает влияние на разборчивость оповещателей величины полезного сигнала, состоящего из прямого звука оповещателей  $\varepsilon_{np}$  и его ранних отражений от ограждений помещения  $\varepsilon_{оп}^{50}$  с временем запаздывания не более  $\Delta t < 0.05c$ .

Решающее влияние на разборчивость речи оказывает фактор реверберационных помех, который определяется как отношение

$$Q = \frac{\varepsilon_{np} + \varepsilon_{оп}^{50}}{\varepsilon_{оп}^{>50} + \varepsilon_{\phi}} \quad (6)$$

В числителе выражения (9) содержится суммарная плотность энергии полезного сигнала, в знаменателе – суммарная плотность энергии помех, складывающаяся из фонового шума  $\varepsilon_{\phi}$  и плотности энергии  $\varepsilon_{оп}^{>50}$  поздних отражений оповещателя с запаздыванием более 50 мс относительно прямого звука.

Фоновый шум оказывает существенное влияние на величину разборчивости речевого сигнала. Он формируется за счет различных источников шума, в том числе за счет шума технологического оборудования.

При работе в помещении нескольких источников суммарная плотность энергии шумового поля в  $i$ -ой расчетной точке определяется как

$$\varepsilon_{сумi} = \sum_{j=1}^n \varepsilon_{прi,j} + \sum_{j=1}^n \varepsilon_{отри,j}, \quad (7)$$

где  $\varepsilon_{прi,j}$ ,  $\varepsilon_{отри,j}$  - плотность прямой и отраженной звуковой энергии в  $i$ -ой расчетной точке от  $j$ -го источника.

Величина уровней плотности звуковой энергии, соответственно, определяется как

$$L_i = 10 \lg \left[ c \left( \sum_{j=1}^n \varepsilon_{\text{пр}i,j} + \sum_{j=1}^n \varepsilon_{\text{отр}i,j} \right) / I_o \right]. \quad (8)$$

Расчет плотности прямого звука, как правило, не представляет сложности, он зависит от размеров источника шума и взаимного расположения расчетной точки и источника. Более сложно производится расчет отраженной составляющей звука  $\varepsilon_{\text{отр}}$ , так как процесс формирования отраженного звука зависит от многих факторов, а именно, от геометрической формы помещения, пропорций ее размеров, звукопоглощения ограждений и характера отражения звука от ограждений, места размещения источника и ряда других факторов.

С точки зрения оценки разборчивости сигналов оповещателей метод расчета должен также с высокой степенью достоверности выделять полезную составляющую отраженного звукового поля, формируемую ранними отражениями и энергию поздних отражений, являющейся помехой для восприятия информации сигнала оповещателя.

Был проведен анализ существующих методов расчета отраженного звука, основанных на положениях *статистической* (метод диффузного поля, энергетические статистические методы) и *геометрической* (метод мнимых источников, метод прослеживания лучей) теорий акустики помещений, с целью оценки возможности их применения для решения поставленных выше задач.

Установлено, что метод *диффузного поля* дает хорошие результаты только в соразмерных помещениях. В несоразмерных помещениях звук распределяется не равномерно, а спадает при удалении от источника, таким образом при этом не выполняется условие диффузности звукового поля (изотропности и однородности). Поэтому метод диффузного поля не может использоваться для расчета звукового поля в несоразмерных помещениях, так как не обеспечивается достаточная точность расчета отраженной звуковой энергии в помещении. В случае использования метода диффузного поля занижается вклад ближайших к расчетной точке оповещателей и значительно завышается уровень звука от дальних оповещателей. Такое искажение пространственных и временных параметров звукового поля приводит к ошибкам в определении ранних (полезных) и поздних (помеховых) отражений.

Статистические энергетические методы расчетов более удобны тем, что при их использовании не учитываются факторы, мало влияющие на формирование звукового поля и используются его результирующие статистические параметры: средняя длина свободного пробега, интенсивность и плотность потока звуковой энергии и др. Точность расчета звуковых полей в несоразмерных помещениях можно повысить на основе использования принципа квазидиффузного звукового поля, согласно которому в поле сохраняется принцип равновероятности прихода звуковой энергии со всех направлений при одновременном наличии спада отраженной звуковой энергии в пространстве помещения. Для условий квазидиффузного поля в работах Леденёва В.И. установлена связь между

результатирующей плотностью потока  $\bar{q}$  и градиентом плотности отраженной звуковой энергии  $\varepsilon$  в виде

$$\bar{q} = -0,5c\bar{l} \cdot \text{grad}\varepsilon, \quad (9)$$

где  $\bar{l}$  - средняя длина свободного пробега звуковых волн в помещении.

На основе этой связи разработана *статистическая энергетическая модель* отраженной звуковой энергии в виде дифференциального уравнения параболического типа

$$\frac{d\varepsilon}{dt} = \frac{c\bar{l}}{2} \nabla^2 \varepsilon - cm_a \varepsilon \quad (10)$$

с граничными

$$|\bar{q}|_{ds} = \frac{-\varepsilon c \alpha_{ds}}{2(2 - \alpha_{ds})} + I_{\text{пр}} \cos \theta (1 - \alpha_{ds}) \quad (11)$$

и начальными условиями

$$\varepsilon_{t=0} = \varepsilon_0, \quad (12)$$

где  $\nabla^2$  - оператор Лапласа;  $m_a$  - пространственный коэффициент поглощения звуковой энергии в воздухе;  $I_{\text{пр}}$  - интенсивность прямого звука;  $\theta$  - угол падения прямого звука на элемент ограждения;  $\alpha_{ds}$  - коэффициент звукопоглощения элемента ограждения;  $\varepsilon_0$  - плотность отраженной энергии в начальный момент времени  $t = 0$ .

При значениях постоянной во времени акустической мощности источников звука  $\frac{\partial \varepsilon}{\partial t} = 0$  уравнение становится стационарным

$$\frac{c\bar{l}}{2} \nabla^2 \varepsilon - cm_a \varepsilon = 0. \quad (13)$$

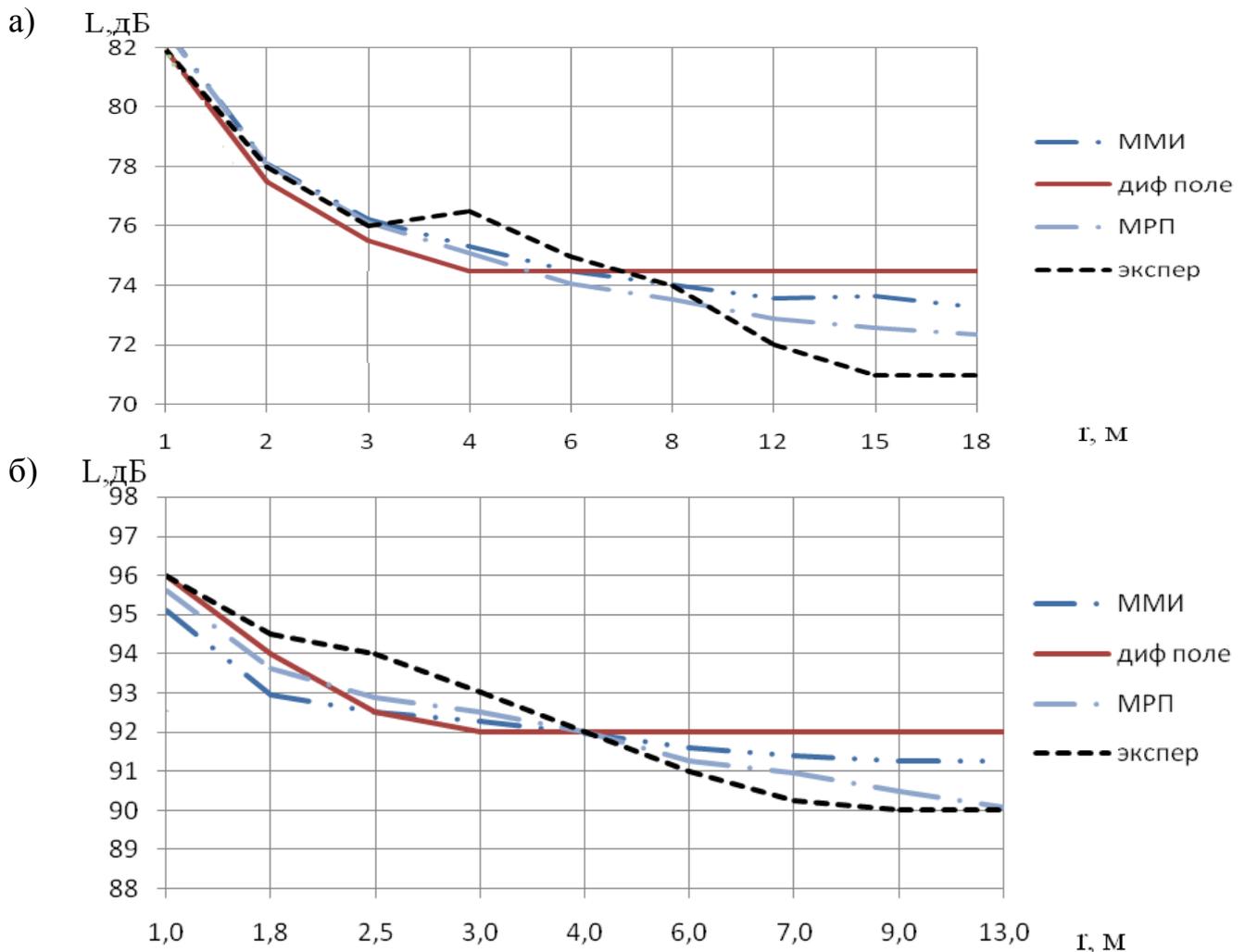
Уравнение (10) с граничными (11) и начальными условиями (12) является математической моделью распределения в объеме средней по некоторой частотной полосе плотности отраженной звуковой энергии при нестационарном режиме работы источника. При стационарных условиях модель определяется уравнением (13) с граничными условиями (11).

Для расчета звуковых полей помещений в форме прямоугольного параллелепипеда рекомендуется использовать метод разделения переменных, в помещениях сложной формы следует применять численные методы решения. Опыт использования методов, основанных на статистическом энергетическом подходе, показал высокую точность расчета отраженных звуковых полей и, особенно, в помещениях с большим количеством мебели, оборудования и других рассеивающих звук элементов.

Методы *геометрической* теории акустики помещений основываются на лучевом представлении о распространении звуковых волн. Характер отражения звуковых лучей от ограждений, как правило, принимается при этом зеркальным. К методу геометрической теории, наиболее применимому для решения поставленных задач в помещениях правильных геометрических форм, относится *метод мнимых источников*.

К недостаткам метода можно отнести высокую трудоемкость расчетов и трудность описания системы мнимых источников в помещениях сложных геометрических форм. Многие недостатки геометрических методов устраняются при применении *метода прослеживания лучей*.

Реализация метода построена на принципах прослеживания траекторий и изменения энергий заданного набора звуковых лучей. При этом вся излучаемая источником звуковая энергия равномерно распределяется между лучами. Прослеживание и учет энергетического вклада каждого из лучей позволяют определять результирующие энергетические параметры поля. Недостатком метода прослеживания лучей при зеркальном отражении звука, наряду с его высокой трудоемкостью расчетов, являются высокие погрешности при расчете запаздывания поздних отражений и значительное завышение значение уровней звука в дальних от оповещателей зонах помещения. Для оценки точности рассмотренных расчетных методов на рисунке 3 приведены экспериментальные и рассчитанные уровни звукового давления в трех помещениях: в соразмерном с размерами  $24 \times 22 \times 11$  м, плоском помещении -  $23 \times 21,5 \times 2,8$  м и в длинном производственном помещении -  $198 \times 15 \times 12$  м. Средние коэффициенты звукопоглощения помещений соответственно равны 0.12, 0.05, 0.18. Расчеты уровней звукового давления выполнены в помещении методами диффузного поля, мнимых источников и методом разделения переменных статистического энергетического подхода.



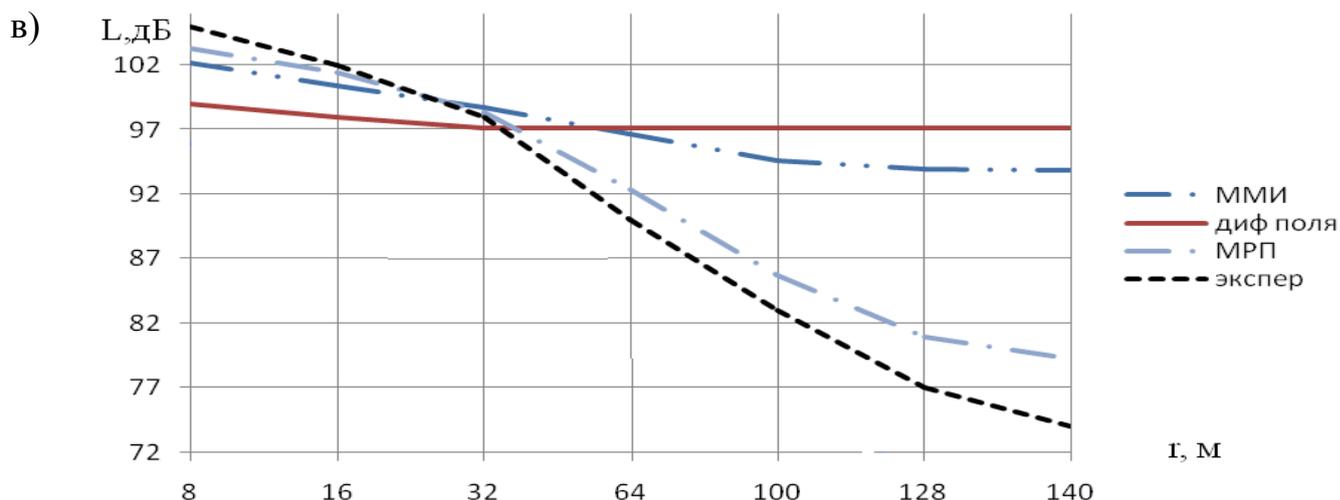


Рисунок 3. – Результаты сравнения (на частоте 2000 Гц) экспериментальных данных с уровнями звукового давления, рассчитанными различными методами в помещениях: а) –  $24 \times 22 \times 11$  м; б) –  $23 \times 21,5 \times 2,8$  м; в) –  $198 \times 15 \times 12$  м.

На рисунке 3 приняты обозначения: «ММИ» - методом мнимых источников и прослеживания лучей; «диф. поля» – методом диффузного поля; «МРП» – методом разделения переменных на основе статистического энергетического подхода; «экспер» – результаты экспериментальных данных.

В соразмерном помещении результаты расчета уровней звукового давления различными методами расчета отличаются незначительно. Низкое звукопоглощение ограждений плоского помещения также обеспечивает малый спад уровней звукового давления. Максимальное расхождение между рассчитанными уровнями в обоих помещениях не превышает 2 дБ.

Наибольшее расхождение между рассчитанными и измеренными уровнями наблюдается в длинном помещении. Наибольшее расхождение между экспериментальными данными и методом разделения переменных достигает 5 дБ. Погрешность расчета методов мнимых источников и прослеживания лучей, реализующих зеркальное отражение звука, достигает 20 дБ.

Из графиков рисунка 3 видно, что наиболее близкие результаты к эксперименту, особенно в дальней от источника зоне, дает статистический энергетический метод разделения переменных.

Опыт использования различных расчетных методов показал, что зеркально отраженный звук оказывает существенное влияние на ранние отражения звука и на разборчивость звукового сигнала. Особенно велика роль отражателей звука, находящихся рядом с источником звука, то есть с речевым оповещателем. Таким образом, для расчета ранних отражений следует использовать геометрические методы расчета, реализующие зеркальное отражение звука от ограждений. Энергию поздних отражений необходимо рассчитывать методами, реализующими диффузное отражение звука.

В этой связи в работе предлагается **комбинированный подход к оценке энергий ранних и поздних отражений**. Энергия ранних отражений определяется на основе метода прослеживания лучей при зеркальной модели отражения звука

от ограждений. Энергия поздних отражений находится численным статистическим энергетическим методом при диффузном характере отражения звука от ограждений. В этом случае можно производить расчеты энергии ранних и поздних отражений как в простых, так и в сложных по форме соразмерных и несоразмерных помещениях.

Энергию поздних диффузных отражений предлагается рассчитывать с помощью численного метода энергетических балансов статистического энергетического подхода. При его использовании помещение делится на элементарные объемы с некоторой средней плотностью отраженной энергии. Для каждого элементарного объема составляется уравнение баланса потоков звуковой энергии. Общее распределение плотности диффузно отраженной энергии находится из решения полученной системы алгебраических уравнений.

В соразмерных помещениях простой формы расчет энергии поздних отражений можно производить также методом диффузного поля.

На основе теоретических исследований выполнены исследования пространственно-временной структура звукового поля помещения при действии в нем СОУЭ и наличии источников фонового шума.

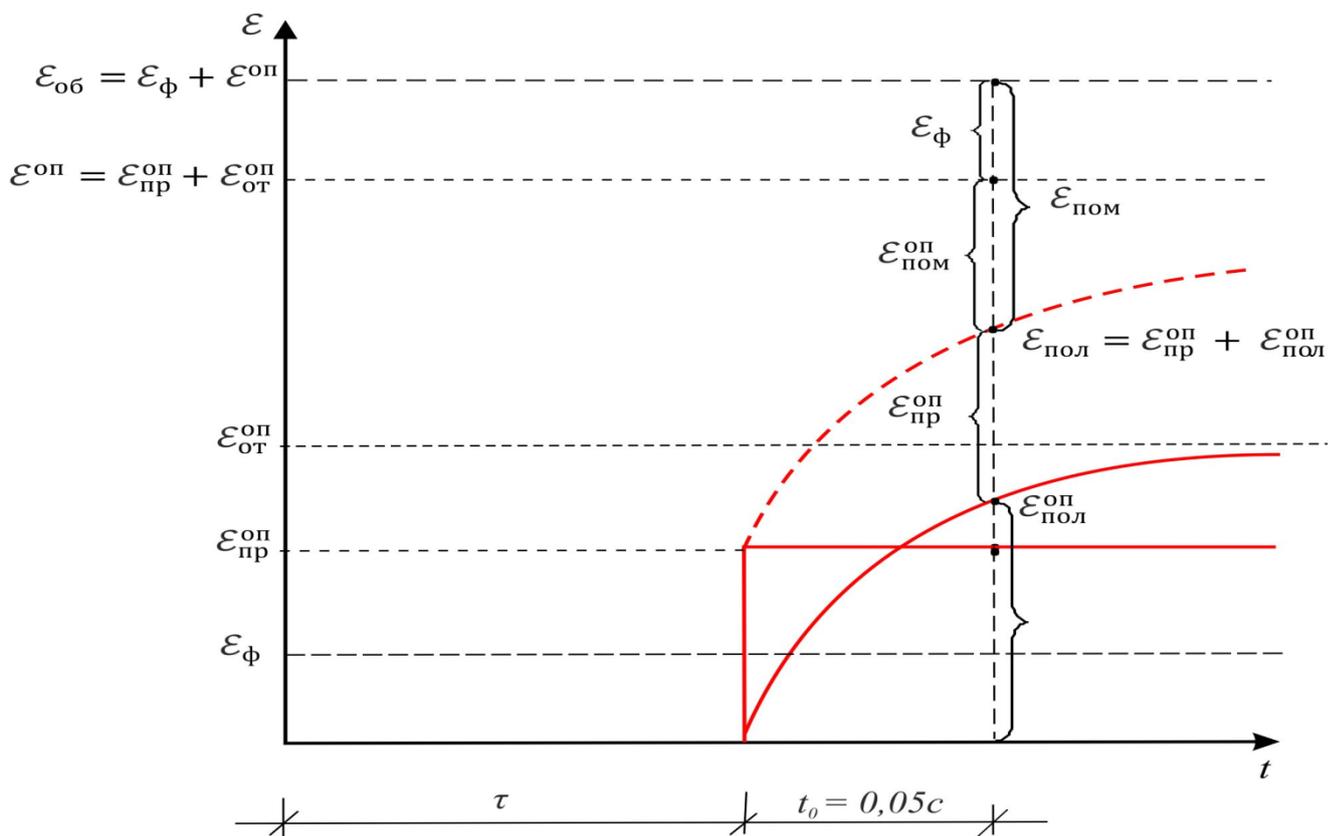


Рисунок 4. Схема к расчету помех и полезной составляющих звукового поля при работе одного речевого оповещателя

На рисунке 4 в качестве примера показана структура энергетических параметров звукового поля в расчетной точке при действии одиночного оповещателя. Представлена зависимость полезной составляющей сигнала ( $\varepsilon_{пол}$ ) и помех ( $\varepsilon_{пом}$ ) от свойств помещения и положения оповещателей. Отмечен отрицательный вклад удаленных оповещателей на слышимость и разборчивость

полезных сигналов. Разработана методика расчета ранних и поздних отражений в расчетной точке при одновременном действии нескольких речевых оповещателей в одном помещении.

В главе представлена методика определения параметров одиночного оповещателя, разработаны предложения по размещению группы речевых оповещателей, выполнена оценка неравномерности энергетических характеристик звукового поля при функционировании речевого оповещения.

Для соразмерных помещений на основе метода диффузного поля получено уравнение для расчета необходимого уровня акустической мощности оповещателя с учетом выполнения нормативного требования к общему уровню звука  $L \approx 75$  дБА

$$L_p = 10 \lg \left( 10^{7.5} - 10^{0.1L_\phi} \right) - 10 \lg \left( \frac{\Phi}{\Omega r^2} + \frac{4(1-\alpha)}{\alpha S} \right). \quad (14)$$

Условие обеспечения хорошей разборчивости также накладывает ограничение на соотношение уровней фонового шума и уровнем звука оповещателя с использованием метода реверберационных помех

$$L_\phi = 10 \lg \left( \frac{TK_L (\varepsilon_{пр} + \varepsilon_{он}^{50}) / 1, 1 - \varepsilon_{он}^{50}}{\varepsilon_0} \right). \quad (15)$$

На основе совместного численного решения уравнений (14) и (15) в программном комплексе рассчитывается максимальное допустимое значение уровня фонового шума  $L_{\phi \max}$  и минимальная величина акустической мощности оповещателя  $L_{p \min}$ .

На основе научного обобщения теоретических, экспериментальных результатов и нормативных требований обоснована методика выбора и размещения потолочных оповещателей в соразмерных и несоразмерных помещениях с учетом звукопоглощающих свойств отражающих конструкций.

**В четвертой главе** описываются методика проведения и результаты экспериментальных исследований распространения звуковой энергии в натуральных условиях, в помещениях различной пространственной конфигурации для оценки применимости и точности описанных в третьей главе методов расчета отраженного звука на основе статистической теории акустики помещений.

Натурные экспериментальные исследования проводились в торгово-развлекательном комплексе «Московский проспект» г. Воронеж (далее - ТРК). Как принято в строительной акустике, все помещения по их пространственной конфигурации (с характеристиками  $L$  - длина,  $B$  - ширина,  $H$  - высота) были классифицированы на соразмерные ( $L/H < 5$ ;  $B/H < 3$ ), плоские ( $L/H > 5$ ;  $B/H > 5$ ), длинные ( $L/H > 5$ ,  $B/H < 3$ ). В качестве источников звука были использованы сертифицированные, серийно выпускаемые речевые оповещатели в настенном, потолочном и подвесном исполнении, размещенные в натуральных помещениях. Подаваемый на речевые оповещатели звуковой сигнал был предварительно записан. Причем, спектральная характеристика записанного звукового сигнала отвечала требованиям нормативных документов в области пожарной безопасности, предъявляемых к СОУЭ. В соответствии этими требованиями,

описанными в третьей главе, общий уровень звука варьировался в диапазоне от 80 до 120 дБА.

Измерения проводились шумомером-анализатором спектра «ОКТАВА - 110А», закрепляемом на штативе с постоянной высотой от уровня пола 1,5 метра. Методика измерений уровней звукового давления в расчетных точках соответствовала требованиям ГОСТ 12.1.050-86 «Методы измерения шума на рабочих местах». Расстояние от источника звука (речевого оповещателя) варьировалось с различным шагом в зависимости от классификации помещения по их пространственной конфигурации. Определялось расстояние от источника звука до точки измерения с помощью лазерного дальномера Leica Disto D5. Обработка результатов натуральных экспериментальных исследований выполнялась с применением методов математической статистики по типовым программам для персонального компьютера. Все необходимые характеристики и результаты натуральных экспериментальных исследований в ТРК были сведены в таблицы. По табличным данным результаты экспериментальных исследований были также представлены в графическом виде. В таблице 1, в качестве примера, приведены характеристики трех помещений (соразмерное, плоское, длинное).

Таблица 1 - Характеристики помещений различного назначения торгово-развлекательного комплекса «Московский Проспект»

№ помещения	Среднегеом. частота полосы анализа, Гц	Метод расчета	Уровни звукового давления L, дБ, на расстоянии от источника, м							$\Delta \bar{L}_2$
			4	5	6	7	8	9	10	
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
расстояние от источника			0,25	0,5	1	2	4	8	16	
2	1000	Эксперимент. данные	94	88	82	78	76	74	72	
		М-д раздел. переменных	94,1/0,1	88,3/0,3	82,9/0,9	78,5/0,5	75,7/-0,3	74,1/0,1	73,1/1,1	0,46
		М-д мнимых источников	94,1/0,1	88,3/0,3	83,1/1,1	78,9/0,9	76,2/0,2	74,5/0,5	73,7/1,7	0,53
		М-д диффузного поля	94,1/0,1	88,2/0,2	82,6/0,6	78,1/0,1	75,5/-0,5	74,4/0,4	74,1/2,1	0,77
	4000	Эксперимент. данные	118	113	107	101	98	94	92	
		М-д раздел. переменных	118,1/0,1	112,2/-0,8	106,5/-0,5	101,3/-0,7	97,1/-0,9	94,2/0,2	92,1/0,1	0,47
		М-д мнимых источников	118,1/0,1	112,2/-0,8	106,7/-0,3	101,9/0,9	98,1/0,1	95,2/1,2	93,5/1,5	0,78
		М-д диффузного поля	118,1/0,1	112,1/-0,9	106,3/-0,7	100,9/-0,1	96,9/-1,1	94,8/0,8	94,1/2,1	1,05
										1
										0,9

Таблица 2 - Результаты эксперимента и расчетов уровней звукового давления в помещении

№ помещения	Размеры помещения, м			Влажность %/ температура воздуха, °С	Координаты источника, м			Среднегеометрические частоты полосы анализа, Гц	Акустическая мощность источника, дБ	КЗП необлицованных поверхностей	Положение звукопоглощающих облицовок	КЗП звукопоглощающих поверхностей	средний КЗП помещения
	L	B	H		X <sub>0</sub>	Y <sub>0</sub>	Z <sub>0</sub>						
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14
Соразмерные помещения													
2	24	22	11	50/20	2	11	1,5	1000 4000	93 117	0,12 0,21	нет	-	0,12 0,21
Длинные помещения													
16	45	2	3,3	55/18	15	1	1,5	1000 4000	86 93	0,04 0,04	нет	-	0,04 0,04
Плоские помещения													
30	72	36	6	55/18	6	18	1,5	1000 4000	86 93	0,09 0,1	нет	-	0,09 0,1

В таблице 2 приведены примеры представления результатов экспериментов и расчетных данных.

Для сравнительной оценки расхождения экспериментальных и расчетных данных использовались следующие показатели: среднее расхождение

$$\Delta\bar{L} = \sum_{i=1}^N \Delta L / N. \quad (16)$$

и среднее квадратическое отклонение

$$\Delta\bar{L}_2 = \sqrt{\sum_{i=1}^N (\Delta L - \Delta\bar{L})^2} / N, \quad (17)$$

где  $\Delta L$  - разность измеренного и рассчитанного уровней,  $N$  – количество точек,  $\Delta\bar{L}_2$  - отражает степень соответствия между собой форм кривых экспериментальных и расчетных данных в графическом исполнении.

**В пятой главе** представлена методика акустического проектирования мест размещения речевых оповещателей и её компьютерная реализация, базирующиеся на основных положениях, рассмотренных в 1-4 главах работы. В работе получено приближенное выражение для минимального значения среднего коэффициента звукопоглощения ограждений из условия обеспечения требуемой разборчивости сигналов оповещателей

$$\alpha_{\min} = 0,0526\bar{l}. \quad (18)$$

Это значение облегчает процесс проектирования акустической облицовки ограждающих конструкций помещений. В случае более низких значений коэффициентов звукопоглощения помещения становятся избыточно гулкими, поздние отражения самих оповещателей начинают доминировать в звуковом поле и независимо от величины фонового шума заглушают полезные сигналы от оповещателей. При  $\alpha < \alpha_{\min}$  обеспечить необходимую разборчивость сигнала оповещателей за счет повышения их акустической мощности невозможно.

Алгоритм проектирования представлен в виде поэтапной блок-схемы (рис. 5). Представленная блок схема реализована с помощью программного комплекса для акустического проектирования мест размещения речевых оповещателей системы оповещения и управления эвакуацией людей при пожаре.

Автоматизация процессов проектирования позволяет повысить точность расчетов за счет использования сложных, компьютерно-ориентированных расчетных методов, за счет максимального учета факторов, влияющих на слышимость и разборчивость звукового сигнала оповещателей. Центральным ядром программного комплекса является расчетный модуль, реализующий разработанные в предыдущих разделах работы методики, и позволяющий производить расчет звуковых полей оповещателей и проектировать места их размещения с учетом обеспечения разборчивости речевых сигналов оповещения, выполнять оптимизацию проектных решений. Для удобства использования программного комплекса разработано несколько обслуживающих информационных модулей, позволяющих создавать, хранить и редактировать базу данных с акустическими и геометрическими моделями помещений, источников шума, а также с акустическими параметрами потолочных и настенных

оповещателей. Блок-схема программного комплекса приведена на рисунке 6. Программный комплекс состоит из трёх крупных модулей. Каждый модуль содержит расчетные модули, а также блоки по вводу исходных данных, включающих создание базы исходных данных с возможностью их длительного хранения, редактирования и повторного использования. Программный комплекс позволяет создавать и накапливать информационные массивы, включающие данные о локальных источниках шума, звукопоглощающих конструкциях и материалах, допустимых уровнях шума в помещениях, направленности сигналов потолочных и настенных оповещателей и другие сведения.

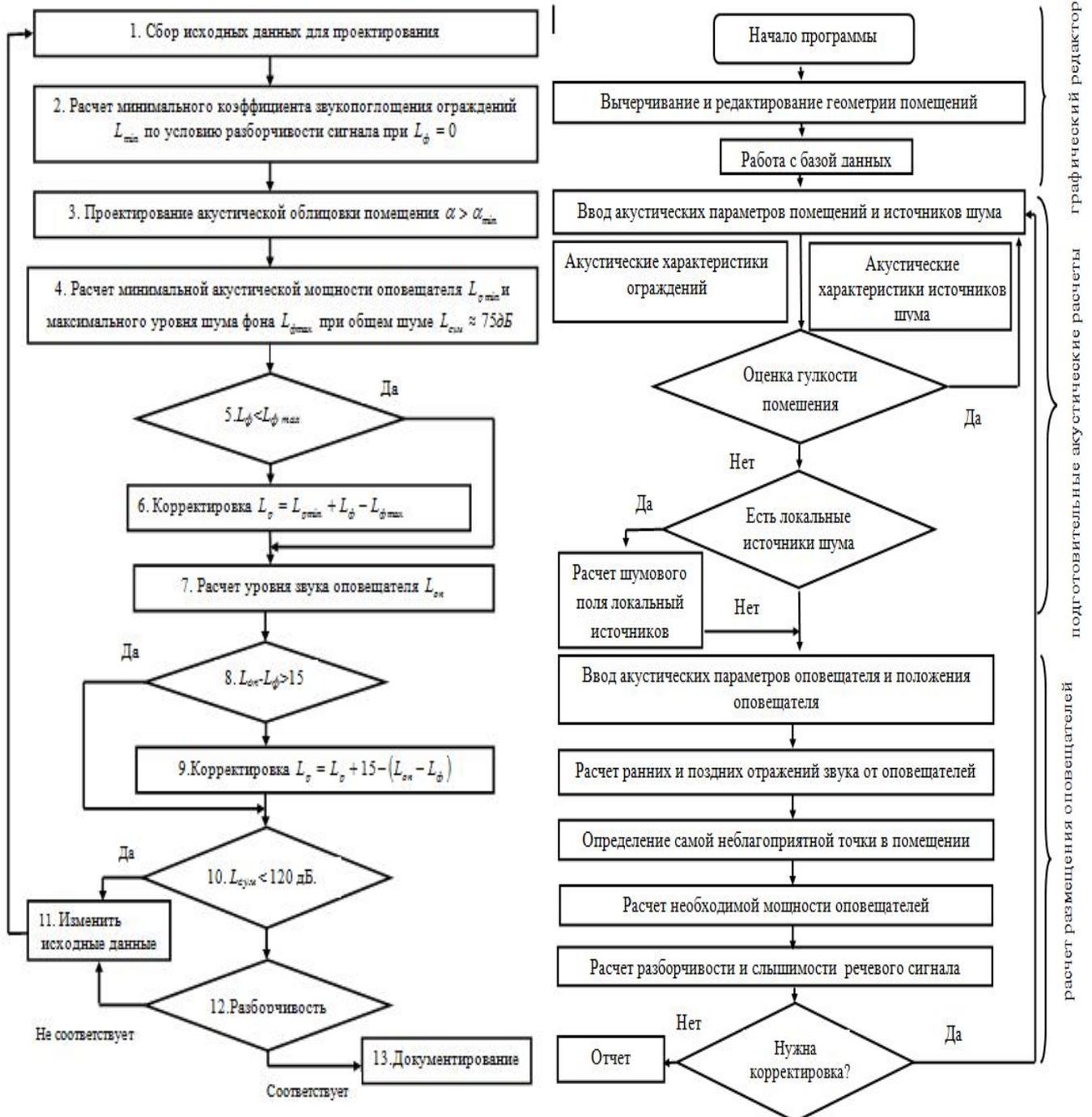


Рисунок 5. Блок-схема проектирования параметров одиночного речевого пожарного оповещателя

Рисунок 6. Блок-схема программного комплекса

Предложенный программный комплекс акустического проектирования системы речевого оповещения людей при пожаре позволяет достигнуть разборчивости сообщения в каждой точке защищаемого помещения и обеспечить необходимую понятность передаваемой информации. Комплекс дает возможность производить расчеты звуковых полей и составлять карты разборчивости речевого сообщения с учетом необходимого количества речевых пожарных оповещателей, локальных источников шума, сложного характера отраженного звука, звукоотражающих и звукопоглощающих свойств ограждающих поверхностей и геометрической формы помещения.

В качестве примера приводится поэтапный процесс применения программного комплекса с визуализацией карт звуковых полей для акустического проектирования речевого оповещения в реальном помещении.

## **ЗАКЛЮЧЕНИЕ**

1. На основе анализа требований нормативных правовых актов и документов в области пожарной безопасности выделены три основные группы условий её обеспечения, а также основные элементы системы противопожарной защиты, обеспечивающие успешность эвакуации людей при пожаре. Причем, особую роль в процессе эвакуации людей играет система оповещения и управления эвакуацией (СОУЭ). Решающим преимуществом элемента «СОУЭ речевого типа» системы противопожарной защиты, отличающим его от других элементов, является возможность изменения алгоритма её функционирования и адаптации к динамично развивающейся обстановки в ходе пожара.

2. Установлены факторы, влияющие на понятность речевого сообщения, транслируемого СОУЭ, к которым относятся: функциональное назначение здания или помещения, поэтажная геометрическая конфигурация здания, характеристики звукоизолирующих и звукопоглощающих материалов в конструкциях здания или помещения и схемы размещения технических средств речевого оповещения.

3. Определен перечень общей исходной информации, необходимой для акустического проектирования СОУЭ, а именно: нормативные требования к проектируемой СОУЭ, акустические и конструктивные характеристики вариантов речевых оповещателей, сведения о фоновом шуме, о параметрах технологического оборудования, как локальных источниках шума, геометрические и акустические характеристики помещений, оборудуемых СОУЭ.

4. Определено, что разборчивость речевого сообщения является основной функциональной характеристикой при акустическом проектировании системы речевого оповещения людей при пожаре, обеспечивающей понятность информации для эвакуирующихся.

5. В результате проведенного сравнительного анализа различных методов расчета разборчивости речевого сигнала, в качестве основного метода при оценке разборчивости речевого сообщения при пожаре принят метод реверберационных помех. Обосновано, что этот метод в наибольшей степени соответствует предъявляемым нормативным требованиям, полнее учитывает пространственно-временную структуру формируемого звукового поля в помещении, а также

оценивает влияние геометрических, акустических параметров помещения, свойств оповещателей и других источников звука на разборчивость речевого сообщения, передаваемого СОУЭ.

6. Определена область применения современных методов расчета энергетических характеристик звуковых полей для определения уровня фонового шума в помещениях с собственными источниками шума. Установлено, что для расчетов звукового поля в соразмерных помещениях можно использовать метод диффузного поля. В несоразмерных помещениях следует применять для расчетов методы, основанные на статистическом энергетическом подходе, реализующем математические модели распространения отраженного звука, полученные на основе представлений о квазидиффузном характере распространения отраженной звуковой энергии.

7. При расчете звуковых полей в помещении предложено использовать комбинационный метод, объединяющий метод прослеживания лучей и численный статистический энергетических метод. В этом случае методом прослеживания лучей надежно определяется энергия ранних отражений, повышение уровня звука полезного сигнала, а энергия поздних отражений, относящаяся к помехам, определяется численным методом совместно с отраженной энергией фонового шума.

8. На основе теоретических исследований показана пространственно-временная структура звукового поля помещения при действии в нем СОУЭ и наличии источников фонового шума. Представлена зависимость полезной составляющей сигнала и помех от свойств помещения и положения оповещателей. Отмечен отрицательный вклад удаленных оповещателей на слышимость и разборчивость полезных сигналов.

9. Разработана методика определения требуемой звуковой мощности одиночного оповещателя в соразмерном помещении, а также методика выбора и размещения потолочных оповещателей в соразмерном и несоразмерном помещениях.

10. Предложенный программный комплекс акустического проектирования системы речевого оповещения позволяет достигнуть разборчивости сообщения о пожаре в каждой точке защищаемого помещения и обеспечить необходимую понятность передаваемой информации. Комплекс позволяет производить расчеты звуковых полей и составлять карты разборчивости сообщения с учетом следующих факторов: необходимого количества речевых пожарных оповещателей; локальных (помеховых) источников шума; сложного характера отраженного звука; звукоотражающих и звукопоглощающих свойств ограждающих поверхностей; геометрической формы помещения.

**Рекомендации по дальнейшему использованию полученных в диссертационной работе результатов**

Предлагается:

- внесение изменений в СП 3.13130.2009. «Свод правил. Системы противопожарной защиты. Система оповещения и управления эвакуацией людей при пожаре. Требования пожарной безопасности» в части, дополнения его

методикой размещения речевых оповещателей, позволяющей обеспечить разборчивость сообщения в каждой точке защищаемого помещения;

- внедрение в процесс проектирования системы речевого оповещения и управления эвакуацией людей при пожаре в зданиях различного функционального назначения программного комплекса с более достоверной результативностью;

- учитывать расчетные показатели при проведении акустической обработки строящихся и реконструируемых зданий с массовым пребыванием людей.

### **Основные результаты диссертации опубликованы в работах:**

#### **Статьи в научных изданиях, рекомендованных ВАК РФ для публикации основных результатов исследования**

1. **Елифанов, Е.Н.** Роль речевого оповещения и анализ его качественных характеристик, влияющих на обеспечение успешной эвакуации людей при пожаре [Текст] / Асмнин, В.Ф., Антонов, А.И. Манохин В.Я. // Научный вестник Воронежского государственного архитектурно – строительного университета. Строительство и архитектура. – 2012. – № 4(28). – С.142–149.

2. **Елифанов, Е.Н.** Методика акустического проектирования одиночного пожарного речевого оповещателя [Текст] / Асмнин, В.Ф., Антонов, А.И., Кузнецов С.Н. // Научный вестник Воронежского государственного архитектурно – строительного университета. Строительство и архитектура. – 2013. – № 3 (28). – С.121–127.

3. **Елифанов, Е.Н.** Использование акустических характеристик речевых пожарных оповещателей для расчета звуковых полей помещений/ Асмнин, В.Ф., Антонов, А.И., // Интернет-журнал «Технологии техносферной безопасности» - Вып. 1 (53). – 19.02.2014. – 5 с. -<http://ipb.mos.ru/ttb>.

#### **В других научных изданиях**

4. Асмнин, В.Ф. Теоретическое обоснование дополнительных требований, повышающих эффективность речевого оповещения людей в процессе эвакуации при пожаре / Асмнин, В.Ф., **Е.Н. Елифанов** // Материалы международной научно-практической конференции «Безопасность жизнедеятельности и здоровьесбережение на современном этапе: Перспективы развития». – Самара, 2012. С. 50-52.

5. Асмнин, В.Ф. Разборчивость речевого сигнала как основное требование при акустическом проектировании речевых пожарных оповещателей/ Асмнин, В.Ф., Антонов А.И., **Е.Н. Елифанов** // Материалы международной научно-практической конференции посвященной 80-летию Академии ГПС МЧС России «Исторический опыт, современные проблемы и перспективы образовательной и научной деятельности в области обеспечения пожарной безопасности». – М, АГПС МЧС России, 2013. – С. 190-191.

6. Асминин, В.Ф. Анализ методик размещения оповещателей систем оповещения и управления эвакуацией людей при пожаре / Асминин, В.Ф., Антонов А.И., **Е.Н. Епифанов** // Материалы V международной научно-практической конференции «Пожарная безопасность: проблемы и перспективы». - Воронеж: ВИ ГПС МЧС России, 2014- С. 232-234.

7. Асминин, В.Ф. Программный комплекс акустического проектирования размещения речевых пожарных оповещателей в помещениях / Асминин, В.Ф., Антонов А.И., **Е.Н. Епифанов** // Материалы X Международной научно-практической конференции «Комплексные проблемы техносферной безопасности». - Воронеж: ВГТУ, 2014. Часть 3 С. 42-46.

8. **Епифанов, Е.Н.** Архитектурно-строительные особенности здания, влияющие на качество речевого оповещения людей при пожаре / Е.Н. Епифанов // Материалы III Всероссийской с международным участием научно-практической конференции «Пожарная безопасность: проблемы и перспективы». – Воронеж., 2012. С. 50-52.

9. **Епифанов, Е.Н.** Об использовании акустических параметров речевых оповещателей системы оповещения и управления эвакуацией людей при пожаре для расчета прямых и отраженных звуковых полей помещений / Е.Н. Епифанов // Материалы 2-й международной научно-практической конференции молодых ученых и специалистов «Проблемы техносферной безопасности - 2013». – М, АГПС МЧС России, 2013. – С. 12-15.

10. **Епифанов, Е.Н.** Структура звукового поля для оценки разборчивости сигнала речевого пожарного оповещателя / Е.Н. Епифанов // Материалы III Всероссийской научно-практической конференции, посвященной Году пожарной охраны «Актуальные вопросы совершенствования инженерных систем обеспечения пожарной безопасности объектов». - Иваново, ИПСА ГПС МЧС России, 2016. – С. 48-50.

#### **Свидетельства о государственной регистрации программы для ЭВМ**

11. Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ № 2014612211. Программа для акустического проектирования речевых оповещателей системы оповещения и эвакуации людей при пожаре / **Е.Н. Епифанов**, А.И. Антонов, В.Ф. Асминин, О.В. Бакланова. Заявка № 20133662204; дата поступл. 26.12.2013; зарег. 21.02.2014.

Епифанов Евгений Николаевич

### **РАЗРАБОТКА МЕТОДОЛОГИЧЕСКИХ ОСНОВ АКУСТИЧЕСКОГО ПРОЕКТИРОВАНИЯ СИСТЕМЫ РЕЧЕВОГО ОПОВЕЩЕНИЯ ПРИ ПОЖАРЕ В ЗДАНИЯХ С МАССОВЫМ ПРЕБЫВАНИЕМ ЛЮДЕЙ**

Издательство Балтийского государственного технического университета «ВОЕНМЕХ» им. Д.Ф. Устинова. 190005, Санкт-Петербург, 1-я Красноармейская ул., д. 1.  
Формат 60×90/16. Бумага офсетная. Печать трафаретная. Тираж 100 экз.

Отпечатано в типографии БГТУ.  
190005, Санкт-Петербург, 1-я Красноармейская ул., д. 1