

---

## ОПЕРАТИВНАЯ ОЦЕНКА КАЧЕСТВА СИСТЕМ АКТИВНОГО ЗАШУМЛЕНИЯ НА ОСНОВЕ КОМПЬЮТЕРНОЙ ВИЗУАЛИЗАЦИИ

**Агуреев Иван Александрович,**

старший преподаватель кафедры безопасности и информационных технологий,  
Национальный исследовательский университет "МЭИ", 111250, Россия, г. Москва,  
Красноказарменная улица, дом 14, e-mail: universe@mpei.ac.ru

**Закурдаев Александр Денисович,**

лаборант кафедры безопасности и информационных технологий, Национальный  
исследовательский университет "МЭИ", 111250, Россия, г. Москва, Красноказарменная  
улица, дом 14, e-mail: zakurdayev.a@inbox.ru

### Аннотация

---

В статье рассматривается проблема оперативной оценки качества систем активного виброакустического шумления (САВЗ) ограждающих конструкций выделенных помещений. Существующие нормативные методики ориентированы на стандартные условия и не учитывают влияние скрытых неоднородностей (пустот, трещин, неоднородностей материала), которые могут существенно снижать эффективность защиты речевой информации. Предложен новый метод экспресс-оценки, основанный на применении технологий компьютерной визуализации акустического поля. Описан программно-аппаратный комплекс, реализующий метод, и представлены результаты экспериментальной верификации, подтверждающие высокую точность локализации дефектов и эффективность визуального анализа.

---

**Ключевые слова:** акустическая защита информации, виброакустическое шумление, выделенное помещение, неоднородности ограждающих конструкций, компьютерная визуализация, сонограмма, оперативная оценка.

---

## OPERATIONAL ASSESSMENT OF THE QUALITY OF ACTIVE NOISE MASKING SYSTEMS BASED ON COMPUTER VISUALIZATION TECHNOLOGY

**Agureev Ivan Aleksandrovich,**

senior lecturer of the Department of Security and Information Technologies, National Research  
University "MPEI", 111250, Russia, Moscow, Krasnokazarmennaya street, building 14, e-mail:  
universe@mpei.ac.ru

**Zakurdaev Alexander Denisovich,**

laboratory assistant of the Department of Security and Information Technologies, National  
Research University "MPEI", 111250, Russia, Moscow, Krasnokazarmennaya street, building 14, e-  
mail: zakurdayev.a@inbox.ru

## ABSTRACT

The article addresses the problem of operational assessment of the quality of active vibroacoustic noise masking systems (AVNS) for enclosing structures of secure premises. Existing regulatory methods are focused on standard conditions and do not account for the influence of hidden inhomogeneities (voids, cracks, material irregularities) that can significantly reduce the effectiveness of speech information protection. A new rapid assessment method based on the use of computer visualization of the acoustic field is proposed. A hardware-software complex implementing the method is described, and the results of experimental verification confirming high accuracy of defect localization and the effectiveness of visual analysis are presented.

**Keywords:** acoustic information security, vibroacoustic masking, secure premises, inhomogeneities of enclosing structures, computer visualization, sonogram, operational assessment.

### 1. Проблема учета неоднородностей при оценке акустической защищенности

Защита речевой информации от утечки по техническим каналам остается одной из ключевых задач обеспечения информационной безопасности объектов государственного и корпоративного секторов. При подготовке выделенных помещений (ВП) для проведения конфиденциальных переговоров критически важным этапом является оценка звукоизоляции ограждающих конструкций: стен, перекрытий, окон и дверей [1].

Действующие нормативно-методические документы, в частности методики ФСТЭК России, предписывают инструментально-расчетный метод определения звукоизоляции. Однако, как показывает практика, данные методики обладают существенным недостатком: они ориентированы на однородные строительные конструкции и не в полной мере учитывают наличие скрытых неоднородностей. Под неоднородностями в данном исследовании понимаются фрагменты конструкции, отличающиеся по плотности, структуре, наличию пустот, трещин, арматуры или стыков, которые могут создавать локальные каналы утечки акустического сигнала [2].

Традиционный подход к измерениям предполагает размещение контрольных точек на расстоянии 0,5 м друг от друга. Однако при обнаружении отклонений уровня звукоизоляции более чем на 7,5 дБ между соседними точками требуется детальное обследование подозрительной области. Такой подход, хотя и регламентирован, является трудоемким и не гарантирует выявления всех дефектов, особенно если их размер сопоставим с шагом сканирования. Существующие системы оценки, основанные на фиксированных октавных полосах, не позволяют оперативно получить пространственную картину распределения акустического поля на поверхности конструкции [3].

Целью данной работы является разработка и экспериментальное обоснование метода оперативной оценки качества систем активного виброакустического зашумления, использующего технологии компьютерной визуализации для обнаружения и локализации скрытых неоднородностей в ограждающих конструкциях.

### 2. Метод компьютерной визуализации акустических полей

В основе предлагаемого метода лежит переход от точечных измерений к сплошному картированию акустического поля на поверхности исследуемой конструкции. Ключевым отличием от стандартных подходов является применение режима «качающейся частоты» (sweep-сигнала) в речевом диапазоне 175–11200 Гц вместо традиционных фиксированных среднегеометрических частот октавных полос. Такой режим позволяет оценить реакцию

конструкции на непрерывный спектр возмущений, что критически важно для выявления резонансных явлений в неоднородностях [4].

Принцип работы метода заключается в следующем:

На исследуемую поверхность, с одной стороны, воздействуют акустическим сигналом с линейно изменяющейся частотой (sweeper-генератор).

С противоположной стороны с помощью четырех идентичных датчиков (акселерометров или микрофонов), равномерно распределенных на площади 2×2 м, регистрируют прошедший сигнал.

Регистрирующее устройство (4-канальный анализатор спектра) синхронно оцифровывает сигналы с датчиков.

Выполняется быстрое преобразование Фурье (БПФ), и для каждого датчика строится сонограмма – трехмерное спектрально-временное представление сигнала (частота, время, амплитуда).

Программный блок анализа вычисляет взаимокорреляционную функцию между сигналами датчиков. Отклонение сигнала одного датчика от среднего значения по квартету на определенной частоте свидетельствует о наличии локальной неоднородности в зоне его контроля.

Визуализация результатов осуществляется в виде цветовой карты распределения уровня звукового давления ( $L_2$ ) по поверхности конструкции. Зоны с пониженным уровнем сигнала (аномальным затуханием) выделяются цветом и интерпретируются как потенциальные каналы утечки информации. На рисунке 1 представлена схема экспериментальной установки для акустического сканирования ограждающей конструкции.

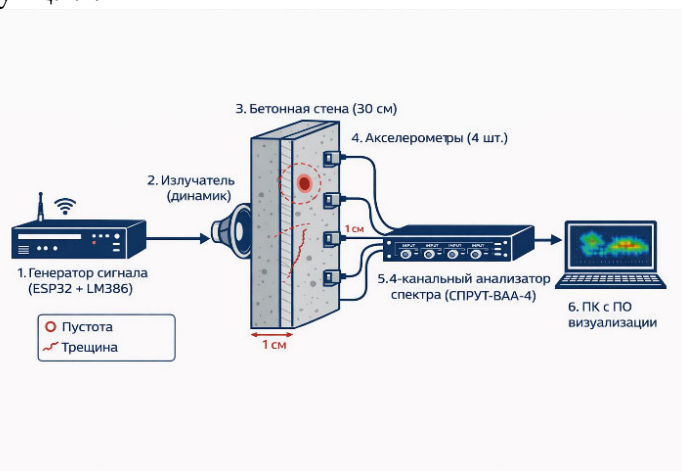


Рисунок 1. Схема экспериментальной установки для акустического сканирования [Разработано авторами].

### 3. Программно-аппаратная реализация комплекса

Для реализации предложенного метода был разработан специализированный программно-аппаратный комплекс (ПАК), удовлетворяющий следующим требованиям:

- Динамический диапазон: 30–110 дБ (относительно 20 мкПа), что перекрывает диапазон от уровня фонового шума офисного помещения до форсированной речи.
- Частотный диапазон: 90–10000 Гц (речевой диапазон с запасом).
- Разрешающая способность по амплитуде: 0,5–1 дБ (на уровне дифференциального порога слуха человека).
- Точность локализации: шаг сканирования 1 см.

Аппаратная часть ПАК построена на базе микроконтроллера ESP32 WROOM DevKit, обеспечивающего синхронизацию и управление. В качестве источника зондирующего сигнала используется генератор на микросхеме LM386, формирующий sweeper-сигнал. Приемная часть – цифровой MEMS-микрофон INMP441 (частотный диапазон 60 Гц – 15

кГц, отношение сигнал/шум 61 дБ). Для позиционирования датчиков используется автоматизированная XY-платформа с шаговыми двигателями.

Программное обеспечение (разработано в среде C++Builder) выполняет следующие функции:

- Задание параметров сканирования (шаг, диапазон частот).
- Управление XY-платформой и синхронизация измерений.
- Фильтрация сигналов (цифровой полосовой фильтр Баттерворта 8-го порядка).
- Построение сонограмм и цветовых карт распределения звукового давления в реальном времени.
- Расчет интегрального показателя защищенности (словесной разборчивости) с учетом выявленных неоднородностей.

#### 4. Экспериментальная верификация метода

Экспериментальное исследование проводилось в лабораторных условиях (температура  $22 \pm 1^\circ\text{C}$ , влажность  $60 \pm 5\%$ ) на бетонной плите толщиной 30 см с искусственно созданными дефектами: пустотами диаметром  $>5$  мм, трещинами шириной  $>0,5$  мм и инородными включениями. Размер исследуемого участка составил  $30 \times 30$  см, шаг сканирования – 1 см (900 точек). Частота тестового сигнала – 1000 Гц, уровень звукового давления – 90 дБ. В качестве эталонного образца использовалась однородная бетонная плита аналогичных размеров без дефектов.

Визуализация акустического поля. На рисунке 2 представлена цветовая карта распределения уровня звукового давления ( $L_2$ ) на поверхности исследуемой стены. Зоны синего цвета ( $L_2 < 28$  дБ) соответствуют областям с резким падением сигнала – в этих зонах вскрыты пустоты. Зеленые зоны ( $L_2 > 35$  дБ) соответствуют областям с повышенным уровнем сигнала, что интерпретируется как резонанс на границах инородных включений. На карте четко идентифицированы 12 аномальных зон, что подтверждено последующим разрушающим контролем.

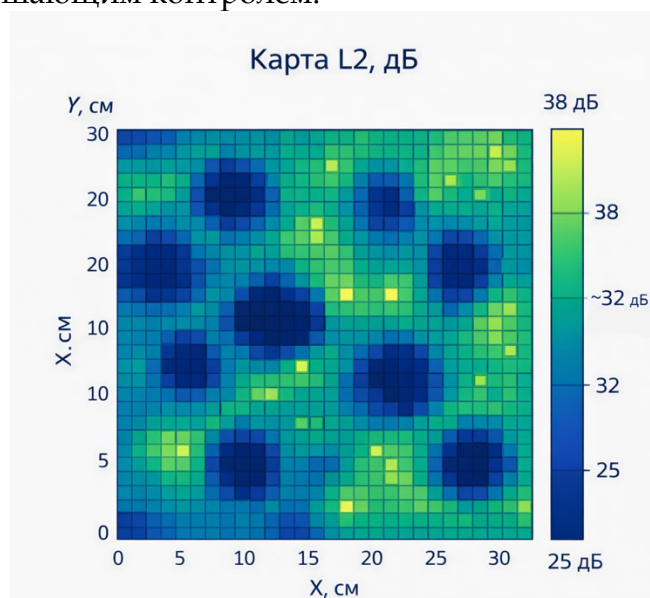


Рисунок 2. Визуализированная карта распределения уровня звукового давления  $L_2$  [Разработано авторами].

Статистический анализ показал, что средний уровень  $L_2$  на исследуемом образце (28,7 дБ) статистически значимо ниже ( $p < 0,05$ ), чем на эталонном (32,5 дБ). Стандартное отклонение для дефектного образца (3,8 дБ) более чем в 3 раза превышает эталонное значение (1,2 дБ), что свидетельствует о высокой неоднородности акустического поля. Результаты статистической обработки измерений представлены в таблице 1.

Таблица 1. Статистические характеристики акустического поля

Параметр	Эталонный образец	Исследуемый образец	Разница (%)
Среднее $L_2$ , дБ	32,5 ± 0,3	28,7 ± 0,5	-11,7
СКО, дБ	1,2	3,8	+216,7
Коэффициент вариации, %	3,7	13,2	+256,8
Количество аномальных зон	0	12	—

Спектральный анализ сигналов в аномальных зонах выявил снижение амплитуды основной гармоники (1000 Гц) на 12–15 дБ, появление дополнительных спектральных пиков в диапазоне 1500–2000 Гц (резонанс на пустотах) и увеличение шумовой составляющей на 8–10 дБ. Эти признаки являются диагностическими маркерами наличия дефектов.

Оценка точности. Корреляционный анализ подтвердил высокую связь между акустическими аномалиями и дефектами: коэффициент корреляции Пирсона для пустот составил 0,89, для трещин — 0,76, для инородных включений — 0,82. Погрешность локализации дефектов не превысила ±1,5 см по координатам X и Y. Чувствительность метода составила: для пустот диаметром ≥3 мм — 98%, для трещин шириной ≥0,3 мм — 92%.

#### 5. Практические рекомендации по оперативной оценке

На основе проведенных исследований предложен следующий алгоритм оперативной оценки качества САВЗ с использованием компьютерной визуализации:

Экспресс-сканирование: проводится sweeper-сигналом в диапазоне 175–11200 Гц с шагом 1–2 см.

Построение карты аномалий: программное обеспечение автоматически выделяет зоны с отклонением  $L_2$  более чем на 7,5 дБ от среднего уровня по всей поверхности.

Классификация: на основе спектрального анализа (появление дополнительных пиков, изменение амплитуды) дефект идентифицируется как пустота, трещина или инородное включение.

Принятие решения: для зон с выявленными неоднородностями рекомендуется установка дополнительных локальных виброизлучателей системы зашумления или проведение пассивных звукоизоляционных мероприятий.

Предложенный метод позволяет сократить время обследования типового выделенного помещения (площадью до 20 м<sup>2</sup>) с 4–6 часов до 40–60 минут без потери точности [3].

#### Заключение

Разработанный метод оперативной оценки качества систем активного виброакустического зашумления на основе компьютерной визуализации акустического поля позволяет решить ключевую проблему существующих методик — учет влияния скрытых неоднородностей ограждающих конструкций. Экспериментально подтверждено, что переход от точечных измерений к сплошному картированию с использованием sweeper-сигнала и последующей визуализацией в виде сонограмм обеспечивает:

- выявление дефектов размером от 3 мм с чувствительностью до 98%;
- локализацию каналов утечки с погрешностью не более 1,5 см;
- снижение трудоемкости обследования в 5–6 раз.

Предложенный подход может быть рекомендован для внедрения в практику работы организаций, имеющих лицензию на техническую защиту информации, а также для модернизации существующих нормативно-методических документов в части требований к контролю эффективности активных средств защиты акустической информации.

**Список литературы:**

1. Методические рекомендации по обеспечению безопасности объектов информатизации и защищенных помещений: Учебное издание / Р. Н. Андреев, И. В. Кузьмин, Ю. В. Рауткин, М. И. Черезов. – Москва: ООО «ДПК Пресс», 2018. – 40 с.
2. Подход к оценке неоднородностей в ограждающих конструкциях выделенного помещения / С. Н. Смирнов, А. С. Васильев, С. С. Рыжиков, И. А. Агуреев // Современная наука: актуальные проблемы теории и практики. Серия: Естественные и технические науки. – 2022. – № 11-2. – С. 146-150. DOI: 10.37882/2223-2966.2022.11-2.29
3. Патент № 2807009 С1 Российская Федерация, МПК G01H 11/06. Способ и система оценки неоднородностей в ограждающих конструкциях: № 2023106231: заявл. 16.03.2023; опубл. 08.11.2023 / И. А. Агуреев, С. Н. Смирнов, С. С. Рыжиков, А. С. Васильев.
4. Комашинский, В. В. Методика оценки защищенности речевого сигнала от утечки по акустическим и виброакустическим каналам / В. В. Комашинский, Г. М. Сазонов // Информационные системы и технологии. – 2012. – № 4(72). – С. 132-137.

**References:**

1. Methodological recommendations for ensuring the security of information technology facilities and secure premises: Textbook / R. N. Andreev, I. V. Kuzmin, Yu. V. Rautkin, M. I. Cherezov. - Moscow: ООО "DPK Press", 2018. - 40 p.
2. Approach to assessing inhomogeneities in the enclosing structures of a dedicated room / S. N. Smirnov, A. S. Vasiliev, S. S. Ryzhikov, I. A. Agureev // Modern science: current problems of theory and practice. Series: Natural and technical sciences. - 2022. - No. 11-2. - P. 146-150. DOI: 10.37882/2223-2966.2022.11-2.29
3. Patent No. 2807009 C1 Russian Federation, IPC G01H 11/06. Method and system for assessing inhomogeneities in enclosing structures: No. 2023106231: declared 16.03.2023: published 08.11.2023 / I. A. Agureev, S. N. Smirnov, S. S. Ryzhikov, A. S. Vasiliev.
4. Komashinsky, V. V. Methodology for assessing the protection of a speech signal from leakage via acoustic and vibroacoustic channels / V. V. Komashinsky, G. M. Sazonov // Information systems and technologies. – 2012. – No. 4(72). – pp. 132-137.