

doi: 10.17586/2226-1494-2025-25-2-354-361

УДК 004.056.53

Компьютерное моделирование защищенности помещения от утечки информации по виброакустическому каналу

Сергей Васильевич Скрыль¹, Михаил Владимирович Мурашов²,
Екатерина Сергеевна Голубцова³✉, Юлия Викторовна Грачёва⁴,
Мария Алексеевна Паротькина⁵

^{1,2,3,4,5} Московский государственный технический университет им. Н.Э. Баумана, Москва, 105005, Российская Федерация

¹ skryl@bmstu.ru, <https://orcid.org/0000-0002-4309-6255>

² murashov@bmstu.ru, <https://orcid.org/0000-0001-7564-0158>

³ golubeka@bmstu.ru✉, <https://orcid.org/0000-0003-4395-2135>

⁴ uvgracheva@bmstu.ru, <https://orcid.org/0000-0003-0884-5617>

⁵ masha20022811@gmail.com, <https://orcid.org/0000-0001-5418-3111>

Аннотация

Введение. Качество применения активных средств защиты информации от утечки по виброакустическому каналу традиционно оценивается по измеряемому значению соотношения уровня сигнал/шум. В этом случае для проверки защищенности выполняются измерения в нескольких контрольных точках, при этом размер выборки сравнительно мал, а процесс измерений является трудоемким. В настоящей работе учтены ранее полученные результаты исследований и моделирования распространения акустических волн в защищаемом помещении. Предлагается вместе с измеряемыми значениями соотношения сигнал/шум на поверхностях ограждающих конструкций рассчитывать речевую разборчивость в каждой точке внешней ограждающей поверхности. Заключение о защищенности помещения от утечки информации по виброакустическому каналу делается в результате сравнения полученных значений со шкалой оценки качества перехваченного речевого сообщения.

Метод. Предложенный метод оценки защищенности помещения основан на компьютерном моделировании распространения звука. Рассмотрено взаимодействие акустических колебаний воздуха со стеной как одного из базовых ограждающих элементов помещения. Представленный подход применим и для анализа других элементов конструкции помещения. Конечно-элементная модель стены реализована в программе ANSYS. Модель предусматривает закрепление виброакустического излучателя на поверхности стены с одной стороны, а источника звука на некотором расстоянии от ее поверхности. В каждой точке с противоположной стороны поверхности стены вычисляется соотношение сигнал/шум. Уровню сигнала соответствуют значения колебаний поверхности стены под действием источника звука, а уровню шума — под действием виброизлучателя, прикрепленного к стене с внутренней стороны.

Основные результаты. На основе экспериментального моделирования дана оценка полученных значений разборчивости речи на всей поверхности стены путем их сопоставления с принятой в практике защиты шкалой оценки качества перехваченного речевого сообщения.

Обсуждение. Разработанный метод позволяет определять наименее защищенные места исследуемого помещения путем составления карт распределения разборчивости речи на поверхностях стен и других ограждающих конструкций. Исследование может найти применение при создании системы защиты информации от утечки по виброакустическому каналу. Проверка защищенности ограждающих конструкций с применением предложенного метода компьютерного моделирования позволяет выбрать рациональное расположение средств защиты, их количество, а также уточнить защищенность помещений, оцениваемую с использованием традиционных методов.

Ключевые слова

акустика, защищенность, разборчивость речи, метод конечных элементов, технический канал утечки информации, виброакустический излучатель

Ссылка для цитирования: Скрыль С.В., Мурашов М.В., Голубцова Е.С., Грачёва Ю.В., Паротькина М.А. Компьютерное моделирование защищенности помещения от утечки информации по виброакустическому каналу // Научно-технический вестник информационных технологий, механики и оптики. 2025. Т. 25, № 2. С. 354–361. doi: 10.17586/2226-1494-2025-25-2-354-361

© Скрыль С.В., Мурашов М.В., Голубцова Е.С., Грачёва Ю.В., Паротькина М.А., 2025

Computer simulation of the protection of a room from information leakage through a vibroacoustic channel

Sergey V. Skryl¹, Mikhail V. Murashov², Ekaterina S. Golubtsova³✉, Julia V. Gracheva⁴,
Maria A. Parotkina⁵

^{1,2,3,4,5} Bauman Moscow State Technical University, Moscow, 105005, Russian Federation

¹ skryl@bmstu.ru, <https://orcid.org/0000-0002-4309-6255>

² murashov@bmstu.ru, <https://orcid.org/0000-0001-7564-0158>

³ golubeka@bmstu.ru✉, <https://orcid.org/0000-0003-4395-2135>

⁴ uvgracheva@bmstu.ru, <https://orcid.org/0000-0003-0884-5617>

⁵ masha20022811@gmail.com, <https://orcid.org/0000-0001-5418-3111>

Abstract

The quality of application of active means of information protection against leakage via vibroacoustic channel is traditionally assessed by the measured value of signal-to-noise ratio. In this case, measurements are taken at several control points to check the security, while the sample size is relatively small, and the measurement process is labor-intensive. Based on the studies previously conducted by the authors of the article and modeling of acoustic wave propagation in the protected room, this paper proposes to calculate speech intelligibility at each point of the external enclosing surface along with the measured values of the signal-to-noise ratio on the surfaces of enclosing structures. A conclusion on the security of the room from information leakage via vibroacoustic channel is made by correlating the obtained values with the scale for assessing the quality of the intercepted speech message. The proposed method for assessing the security of a room is based on computer modeling of sound propagation. The interaction of acoustic air vibrations with a wall as one of the basic enclosing elements of the room is considered. The proposed approach is also applicable to the analysis of other structural elements of the room. The finite element model of the wall is implemented in the ANSYS program. The model provides for fixing a vibroacoustic emitter on the wall surface on one side of the wall, and a sound source at some distance from this surface. At each point on the opposite side of the wall surface, the signal-to-noise ratio is calculated. The signal level corresponds to the values of wall surface vibrations under the action of the sound source, and the noise level corresponds to the values of wall surface vibrations under the action of a vibroemitter attached to the wall from the inside. Based on experimental modeling, an assessment is made of the obtained values of speech intelligibility on the entire wall surface by comparing them with the scale for assessing the quality of intercepted speech messages adopted in security practice. The method proposed in the paper allows one to determine the least protected places in the studied premises by compiling maps of speech intelligibility distribution on the surfaces of walls and other enclosing structures. The study can find application in creating a system for protecting information from leakage through a vibroacoustic channel. Checking the security of enclosing structures using the proposed computer modeling method allows choosing a rational arrangement of protective equipment, their quantity, and also clarifying the security of premises assessed using traditional methods.

Keywords

acoustics, security, speech intelligibility, finite element method, technical channel of information leakage, vibroacoustic emitter

For citation: Skryl S.V., Murashov M.V., Golubtsova E.S., Gracheva Ju.V., Parotkina M.A. Computer simulation of the protection of a room from information leakage through a vibroacoustic channel. *Scientific and Technical Journal of Information Technologies, Mechanics and Optics*, 2025, vol. 25, no. 2, pp. 354–361 (in Russian). doi: 10.17586/2226-1494-2025-25-2-354-361

Введение

Акустические сигналы в помещении распространяются в нескольких средах — воздушной и через конструкции здания (стены, пол, потолок). Для перехвата сигналов используют высокочувствительные микрофоны и стетоскопы. В зависимости от среды распространения сигнал при его перехвате имеет разное информационное содержание [1, 2]. В качестве активных средств защиты акустической информации от утечки через ограждающие конструкции часто используются устанавливаемые на конструкциях здания виброизлучатели, создающие шумовую помеху [3]. Оценка защищенности помещения производится при помощи измерения в контрольных точках соотношения сигнал/шум [4]. При этом процесс измерения является достаточно трудоемким, а выборка контрольных точек обычно мала [5].

Компьютерное моделирование широко распространено во многих областях исследований, однако его при-

менение в задачах акустического и виброакустического расчетов недостаточно оценено [6]. Компьютерное моделирование дает возможность получить данные в любой точке модели, что исключает необходимость многочисленных измерений в контрольных точках. Эту особенность можно использовать при защите помещений от утечки информации по виброакустическому каналу. Например, в [7] рассмотрено применение метода конечных элементов для расчета поля давлений в помещении. В [8] предложен метод оценки защищенности помещения, основанный на конечно-элементном моделировании распространения акустических колебаний через панорамное окно, рассмотрены вопросы отражения и переотражения акустических колебаний от стен, пола и потолка. Проведенные расчеты позволяют выявить незащищенные места на поверхности стекла, а значит, потенциально опасные для утечки информации и требующие дополнительной защиты. Но предложенный метод не показывает степень защищенности мест возможного съема информации, а отмечает лишь нали-

чие незащищенных мест и какую площадь поверхности они занимают.

В настоящей работе в качестве критерия защищенности была принята словесная разборчивость речи. В зависимости от условий проведения измерения и вида шумовой помехи зависимость разборчивости речи от отношения сигнал/шум может быть представлена различными формулами. Однако она достаточно точно аппроксимируется согласно исследованию [9].

Предложенный метод основан на конечно-элементном моделировании распространения звука и дает возможность оценить количественно и качественно защищенность помещения. В качестве примера рассмотрено распространение вибрационных колебаний в бетонной стене защищаемого помещения, возникающих под действием находящегося внутри помещения источника звука. Соотношение сигнал/шум на всей внешней поверхности стены получено из сопоставления значений амплитуды колебаний от источника звука с величиной вибрационных колебаний в стене, возникающих под действием только виброизлучателя. Качество защиты может быть охарактеризовано расчетом разборчивости речи на внешней стороне ограждающей конструкции, проводимом на основании ранее полученного соотношения сигнал/шум. Разработанный метод позволяет специалисту по защите информации, проектирующему систему защиты, понять, в какой степени возможна утечка информации, и определить уязвимые места защищаемого помещения.

Целью исследования является разработка и описание основанного на компьютерном моделировании метода анализа защищенности помещения от утечки информации по виброакустическому каналу, а также составление карты распределения разборчивости речи на поверхности защищаемой ограждающей конструкции помещения.

Описание метода анализа защищенности помещения от утечки информации по виброакустическому каналу

Предлагаемый метод включает в себя следующие этапы.

Этап 1. Создание модели защищаемого помещения по заданным размерам и с учетом материалов конструкции, источников сигнала и активных средств защиты информации, расположенных согласно требованиям. Следует учесть, что в защищенных помещениях не предусматривается перестановка мебели и крупногабаритных конструкций.

Этап 2. Разбиение модели на конечные элементы.

Этап 3. Задание нагрузок для решения математической модели.

Математическая модель решаемой задачи состоит из следующих уравнений [10]:

— уравнение звуковой волны в воздушной среде

$$\frac{1}{c^2} \frac{\partial^2 P}{\partial t^2} - \nabla^2 P = 0;$$

— уравнение колебаний в твердом теле

$$m \frac{\partial^2 \mathbf{x}}{\partial t^2} + b \frac{\partial \mathbf{x}}{\partial t} + k \mathbf{x} = 0;$$

— условия на границе контакта газ–твердое тело

$$\mathbf{n} \nabla P|_{\text{гр}} = -p_0 \mathbf{n} \frac{\partial^2 \mathbf{x}}{\partial t^2} \Big|_{\text{гр}},$$

где c — скорость звука; P — акустическое давление; t — время; m — масса; b — коэффициент поглощения; k — коэффициент жесткости; $\mathbf{x}$ — вектор амплитуды перемещения; $\mathbf{n}$ — нормаль к границе газ–твердое тело; p_0 — плотность газа.

Этап 4. Расчет значений виброперемещений при включенном источнике акустического сигнала и выключенном виброизлучателе, а затем расчет значений виброперемещений при включенном виброизлучателе и выключенном источнике звука.

Этап 5. Чтобы исключить погрешности метода конечных элементов и получить более точный результат в программе ANSYS, на данном этапе необходимо проанализировать различные варианты и выбрать рациональное разбиение объемов на конечные элементы.

Этап 6. Соотношение сигнал/шум Q вычисляется по отношению амплитуд колебаний (в метрах) на внешней стороне ограждающей конструкции от воздействия отдельно источника звука и виброизлучателя по формуле

$$Q = 20 \lg \frac{A_S}{A_N}, \quad (1)$$

где модули значений амплитуд виброперемещений на внешней стороне ограждающей конструкции: A_S — при включенном источнике звука и выключенном виброизлучателе; A_N — при включенном виброизлучателе и выключенном источнике звука.

Этап 7. Проведение расчета разборчивости речи на поверхности конструкции на основе полученных на этапе 6 значений соотношения (1). Так как значения виброперемещений не позволяют оценить защищенность, вычислим разборчивость речи W по значениям виброперемещений согласно формуле [11]

$$W = \frac{1}{1 + 0,21 Q^{-1}}. \quad (2)$$

Формула (2) носит общий характер, справедливый для интегральных значений разборчивости речи в полной полосе речевого сигнала. Также отметим, что формула (2) использована для построения модели в первом приближении, поскольку известно, что в практике возможны иные парциальные зависимости разборчивости речи от соотношения сигнал/шум в отдельных октавных полосах.

Этап 8. Сопоставление полученного значения разборчивости речи со шкалой оценки разборчивости. Составление заключения о защищенности помещения и, в случае необходимости, подготовка рекомендаций по улучшению качества системы защиты.

Численное моделирование элемента ограждающей конструкции

Описание численной модели. В качестве примера применения разработанного метода рассмотрим часть помещения, состоящую из стены, источника звука и генератора шума, состав которой соответствует типовой защищенной системе [12]. Моделью стены будет параллелепипед с прикрепленным к нему с внутренней стороны виброакустическим излучателем. Размеры построенной модели $4 \times 3 \times 1$ м (рис. 1). Отражения и переотражения акустических колебаний от стен, пола и потолка не рассматриваются.

Виброизлучатель и источник звука выполнены из стали. Источник звука, смоделированный в форме куба с длиной стороны $0,042$ м, находится на расстоянии одного метра от стены и отделен слоем воздуха.

Внесение изменений в компьютерную модель не представляет больших трудностей. В частности, можно учесть перемещения источника звука, виброизлучателя, изменение размеров стены и других геометрических параметров, а также свойства материалов стены и неоднородность или многослойность конструкции.

В центре стены с внутренней стороны закреплен виброизлучатель. За его основу был принят широко распространенный в практике системы защиты речевой информации виброизлучатель модели СВ-4Б — генератор вибраций производства НПО «АННА» с полосой воспроизводимых частот $175\text{--}11\,200$ Гц¹. Контакт виброизлучателя с поверхностью стены представляет собой неидеальный контакт двух шероховатых тел, конечно-элементное моделирование которого требует значительных вычислительных ресурсов [13, 14]. Для упрощения расчетов в первом приближении контакт виброизлучателя и стены соответствует соединению двух плоских поверхностей.

Установлено, что виброизлучатель и источник звука вызывают колебания, исходящие в перпендикулярном направлении от их поверхностей (нагрузки приложены к поверхностям источника звука и виброизлучателя по оси z). Чтобы оценить защищенность, нужно рассматривать случай наиболее благоприятный для злоумышленника. Зададим амплитуду колебаний на источнике звука, соответствующую верхней границе громкости человеческого голоса или шумного обсуждения в группе людей (80 дБ). Расчеты выполнены с использованием конечно-элементной программы ANSYS.

Проведен цикл расчетов для разных среднегеометрических октавных частот (500, 1000, 2000, 4000 и 8000 Гц). Так как численное моделирование широкополосных сигналов в данной задаче затруднительно из-за высокой вычислительной стоимости расчетов, предположим, что виброизлучатель и источник звука генерируют гармонический тональный сигнал на выбранных частотах. Для краткости представим результат для частоты 500 Гц. Ему соответствует амплитуда колебаний источника звука $2,97 \cdot 10^{-4}$ м. Амплитуда коле-

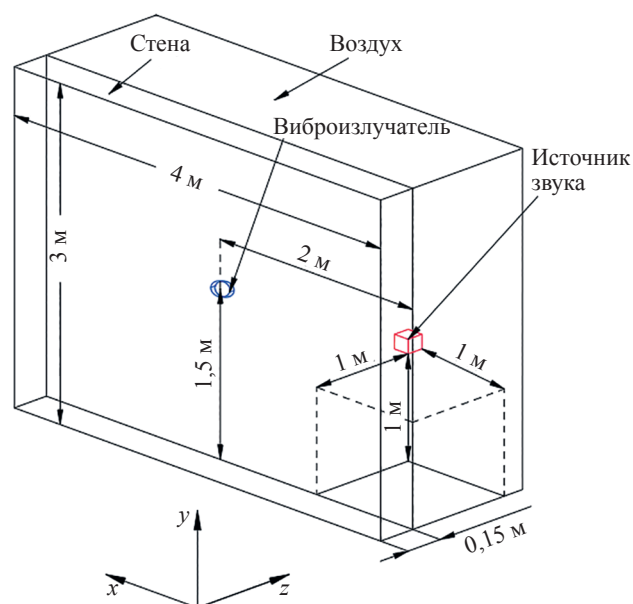


Рис. 1. Модель исследуемой стены

Fig. 1. Model of the investigated wall

баний виброизлучателя на частоте 500 Гц составляет $1 \cdot 10^{-4}$ м [15]. Результаты для других частот качественно не отличаются и соответствуют сделанным в работе выводам.

Исходные данные моделирования. Источник звука и виброизлучатель выполнены из легированной стали. Материал стены — бетон.

Размеры (длина $\times$ высота $\times$ толщина): стена $4 \times 3 \times 0,15$ м; воздушное пространство перед стеной $4 \times 3 \times 1$ м; источник звука $0,042 \times 0,042 \times 0,042$ м; виброизлучатель цилиндрической формы с радиусом $0,025$ м и высотой $0,025$ м.

Конечно-элементная модель сформирована в программе ANSYS. Стена и источник звука разбиты на конечные элементы типа SOLID186, а воздушное пространство — на элементы FLUID220 [6].

В целях снижения возможной погрешности аппроксимации был проведен анализ моделей с различной плотностью сетки конечных элементов. Принято, что по толщине стена должна быть разбита на два слоя. Увеличение количества элементов по толщине до трех дало выигрыш в точности на 6 %, но существенно уве-

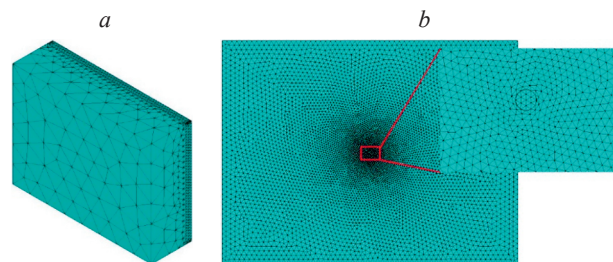


Рис. 2. Разбиение модели на конечные элементы:

воздушного пространства и стены (a); внутренней стороны стены и виброизлучателя (b)

Fig. 2. Splitting the model into finite elements: the air space and the wall (a); the inner side of the wall and the vibroemitter (b)

¹ Защита переговоров, видеонаблюдение, контроль доступа, охранно-пожарная безопасность [Электронный ресурс]. — URL: https://detsys.ru/catalog/vibroakusticheskaya_zashchita_generator_vibroizluchatel_sv_4b/ (дата обращения: 23.01.2025).

личило время расчета модели. Уменьшение количества элементов до одного элемента по толщине дало уменьшение точности расчета на 30 %. Подобранный рациональный сеточное разбиение показано на рис. 2.

Результаты численного моделирования. Рассмотрим модель с включенным генератором шума и выключенным источником звука. Результаты расчета виброперемещений на стене (внешнем слое) представлены на рис. 3, *a*. Результаты расчета модели с включенным источником звука и выключенным виброизлучателем показаны на рис. 3, *b*.

Измерение уровня помех для речи является одним из широко используемых методов прогнозирования ее разборчивости и вычисляется как разность уровня

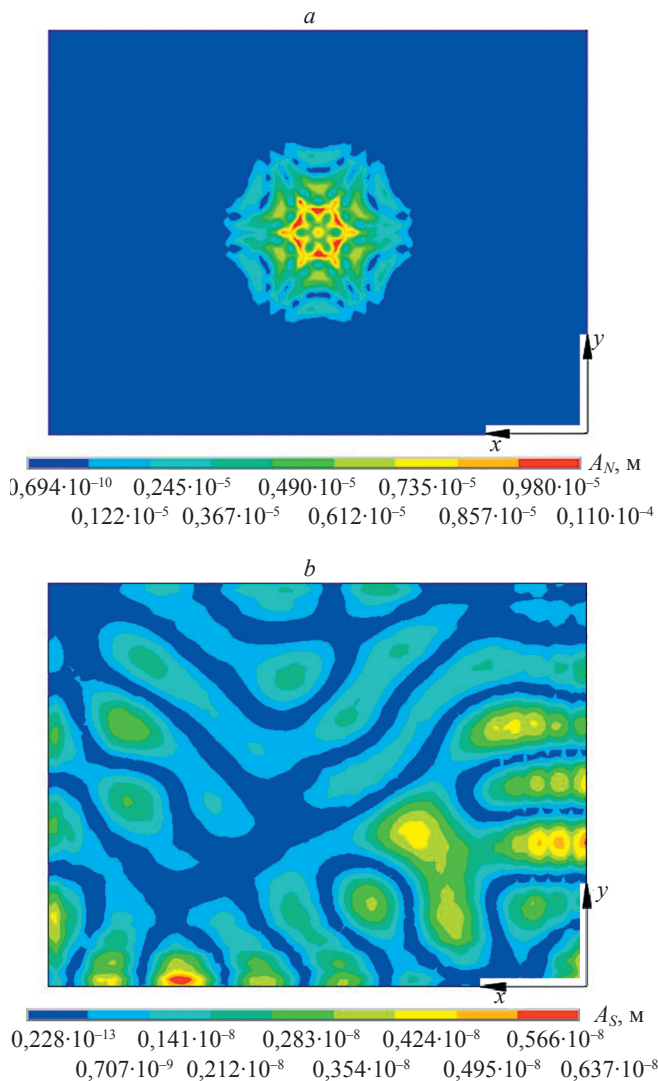


Рис. 3. Амплитуда виброперемещений на внешней стороне стены по оси z , м, при включенном виброизлучателе и выключенном источнике звука (A_N) (a); при включенном источнике звука и выключенном виброизлучателе (A_S) (b) (значения взяты по модулю)

Fig. 3. Amplitude of vibration displacements on the outer side of the wall along the z axis, m, with the vibration emitter turned on and the sound source turned off (A_N) (a); with the sound source turned on and the vibration emitter turned off (A_S) (b) (the values are taken by the absolute value)

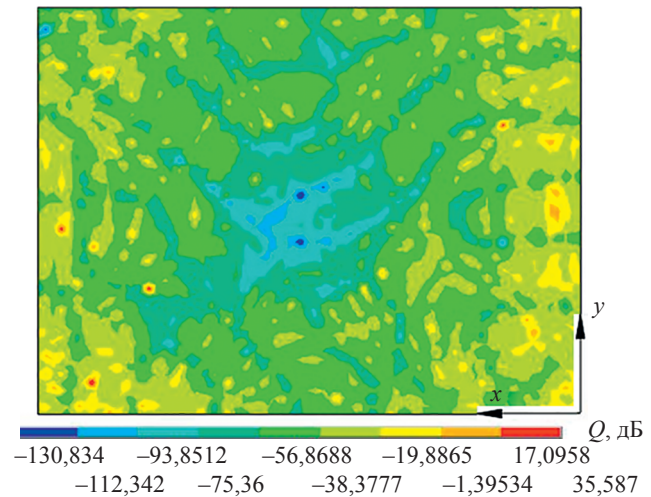


Рис. 4. Соотношение сигнал/шум (Q), дБ

Fig. 4. Signal-to-noise ratio (Q), dB

звукового давления речи и уровня шумовых помех, измеренных в месте предполагаемого считывания информации¹. Уровень разборчивости речи является удовлетворительным, если уровень сигнала превышает уровень шумовых помех на величину более 10 дБ.

На рис. 4 показан уровень превышения сигнала над шумом. Он был рассчитан по формуле (1).

Сами значения виброперемещений не позволяют оценить защищенность, поэтому по формуле (2) была рассчитана разборчивость речи на поверхности конструкции на основе полученных значений соотношения (1).

На рис. 5 показаны значения разборчивости речи на внешней стороне стены, которые могут принимать значения от 0 до 1. Для каждой точки поверхности мож-

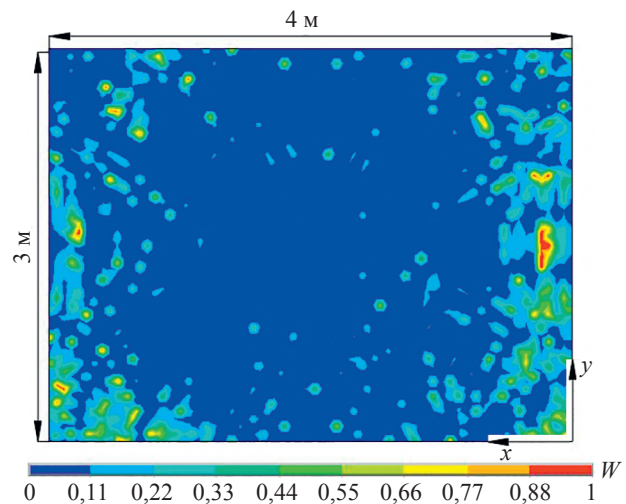


Рис. 5. Полученные при расчете значения разборчивости речи (W) на внешней стороне стены

Fig. 5. The speech intelligibility values (W) obtained from the calculation on the outer side of the wall

¹ ГОСТ Р ИСО 9921-2013 Эргономика. Оценка речевой связи. Введен. 01.12.2014. М.: Стандартинформ, 2014. 24 с.

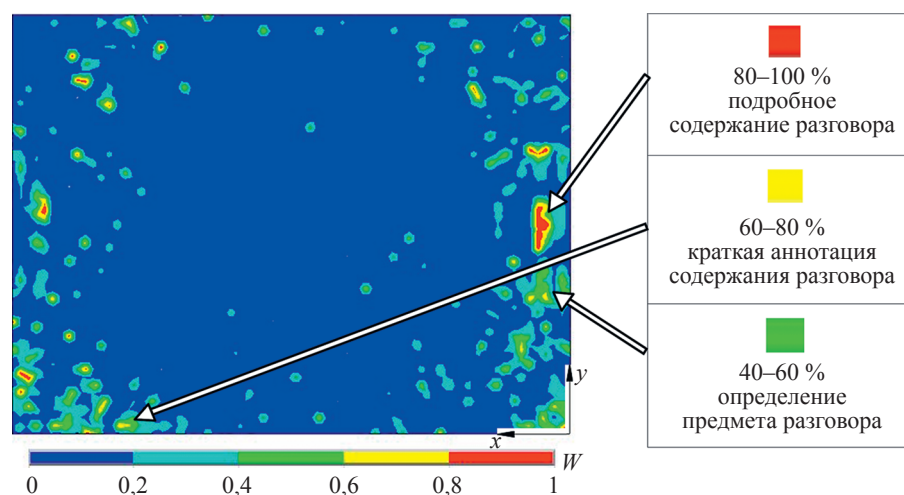


Рис. 6. Распределение разборчивости речи на поверхности стены (в области синего цвета невозможно установление факта наличия речи)

Fig. 6. Distribution of intelligibility on the surface of the wall (in the blue area it is impossible to establish the fact of the speech presence)

но увидеть и качественно оценить значение речевой разборчивости.

На рис. 6 различными цветами подробно показаны диапазоны в соответствии с возможной для перехвата информацией. Практический опыт показывает, что при показателе словесной разборчивости более 40 % возможно установление предмета ведущегося разговора и его содержание [4].

Обсуждение результатов численного моделирования

Размер пятен с максимальной степенью разборчивости достаточен для того, чтобы, не имея специальной аппаратуры для определения размеров поверхности, определить «на глаз» незащищенные места и закрепить акселерометр для съема информации. Синим обозначены места, где нет утечки информации. Для специалиста по защите информации очень важна такая карта, поскольку вероятность того, что измерения покажут незащищенные места в выбранных контрольных точках, крайне мала. Но для злоумышленника достаточно наличия одного незащищенного места, чтобы с него можно было снять информацию. На рис. 6 отчетливо видны эти пятна. Наиболее опасные места обозначены красным. Пятна занимают большую площадь и удалены от центра, где расположен виброизлучатель.

Полученное распределение соотношения сигнал/шум (рис. 4) показало достаточно логичную картину с минимальными величинами в центре стены, обусловленными действием шума от виброизлучателя. При этом картина распределения соотношения сигнал/шум достаточно сложна даже при геометрически простой форме ограждающей конструкции. Полученное распределение разборчивости речи показало защиту от установления предмета ведущегося разговора в зоне крепления виброизлучателя. Вместе с этим получено наличие незащищенных зон, разбросанных у границ ограждающей конструкции, в виде небольших пятен

размером порядка 5 см. Тем не менее, они достаточно крупные для того, чтобы злоумышленник, получив с помощью моделирования места их расположения и закрепив там датчик, мог вести запись разговора с подробным восстановлением его содержания. Без заранее известных сведений о форме и расположении этих зон их экспериментальное нахождение может оказаться затруднительно, так как доля суммарной площади пятен в площади стены невелика. Этот факт может также способствовать получению ложноположительного заключения о защищенности помещения при контрольных измерениях в случайно выбранных точках.

Заключение

В работе предложен основанный на компьютерном моделировании распространения акустических колебаний метод анализа защищенности помещения от утечки информации по виброакустическому каналу. Он позволяет определить уязвимые места защищенного помещения, составить карту распределения разборчивости речи на поверхности защищаемой ограждающей конструкции помещения. Данное исследование должно оказаться крайне полезным для специалиста по защите информации, который будет создавать систему защиты информации от утечки по виброакустическому каналу. Использование компьютерного моделирования позволяет вывести на новый уровень организацию системы защиты и повысить ее качество. Проверка с применением компьютерного моделирования сможет подтвердить или опровергнуть защищенность, в том числе для мест, незащищенность которых могла быть пропущена при проведении измерений классическим методом.

К основным ограничениям применения данного метода можно отнести сложность моделирования широкополосных сигналов. В качестве дальнейших исследований авторами запланировано проведение эксперимента для проверки полученных результатов.

Литература

References

1. Wegener K., Bleicher F., Heisel U., Hoffmeisterd H.-W., Möhring H.-C. Noise and vibrations in machine tools // *CIRP Annals*. 2021. V. 70. N. 2. P. 611–633. <https://doi.org/10.1016/j.cirp.2021.05.010>
2. Насибуллаева Э.Ш. Моделирование акустического рассеяния от множества звукопроницаемых сфер в трехмерном пространстве // *Вычислительные технологии*. 2022. Т. 27. № 2. С. 19–36. <https://doi.org/10.25743/ICT.2022.27.2.003>
3. Yamamoto K., Masatoshi T., Nakagawa S. Privacy protection for speech signals // *Procedia Social and Behavioral Sciences*. 2010. V. 2. N. 1. P. 153–160. <https://doi.org/10.1016/j.sbspro.2010.01.029>
4. Хорев А.А. Защита информации от утечки по техническим каналам. Часть 1. Технические каналы утечки информации. М.: Гостехкомиссия России, 1998. 320 с.
5. Бурлаков М.Е., Осипов М.Н. Акустические и виброакустические каналы утечки информации. Теоретические основы и базовый практикум. Самара: Издательство Самарского университета, 2021. 96 с.
6. Howard C.Q., Cazzolato B.S. *Acoustic Analyses Using MATLAB and ANSYS*. CRC Press, 2014. 708 p.
7. Мурашов М.В. Численное моделирование в ANSYS поля давлений при мероприятиях по обеспечению защиты информации от утечки по акустоэлектрическому каналу // *Наука и образование: научное издание МГТУ им. Н.Э. Баумана*. 2009. № 10. С. 2.
8. Мурашов М.В., Голубцова Е.С., Капитонова Л.И., Федорова В.А., Савина Т.Т. Исследование защищенности помещения от утечки информации по виброакустическому каналу с помощью программы ANSYS // *Защита информации. Инсайд*. 2022. № 3 (105). С. 5–9.
9. Horev A., Margarian T. Experimental studies of voice messages intelligibility // *Proc. of the Conference of Russian Young Researchers in Electrical and Electronic Engineering (EIConRus)*. 2019. P. 1538–1543. <https://doi.org/10.1109/EIConRus.2019.8657302>
10. Щевьев Ю.П. Основы физической акустики. СПб.: Лань, 2021. 364 с.
11. Герасименко В.Г., Лаврухин Ю.Н., Тупота В.И. Методы защиты акустической речевой информации от утечки по техническим каналам. М.: РЦИБ «Факел», 2008. 258 с.
12. Lukmanova O., Horev A.A., Vorobeyko E., Volkova E.A. Research of the analog and digital noise generators characteristics for protection device // *Proc. of the IEEE Conference of Russian Young Researchers in Electrical and Electronic Engineering (EIConRus)*. 2020. P. 2093–2096. <https://doi.org/10.1109/EIConRus49466.2020.9039193>
13. Murashov M.V., Panin S.D. Numerical modelling of contact heat transfer problem with work hardened rough surfaces // *International Journal of Heat and Mass Transfer*. 2015. V. 90. P. 72–80. <https://doi.org/10.1016/j.ijheatmasstransfer.2015.06.024>
14. Мурашов М.В. Выбор параметров вычислительных алгоритмов при решении задачи контактного деформирования шероховатых тел в ANSYS // *Вестник МГТУ им. Н.Э. Баумана. Серия Естественные науки*. 2016. № 1 (64). С. 111–121. <https://doi.org/10.18698/1812-3368-2016-1-111-121>
15. Коробейников А.Г., Калинкина М.Е., Ткалич В.Л., Пирожникова О.И., Гришенцев А.Ю. Моделирование состояния поверхности мембраны при точечном воздействии // *Научно-технический вестник информационных технологий, механики и оптики*. 2020. Т. 1. № 1. С. 155–161. <https://doi.org/10.17586/2226-1494-2020-20-1-155-161>
1. Wegener K., Bleicher F., Heisel U., Hoffmeisterd H.-W., Möhring H.-C. Noise and vibrations in machine tools. *CIRP Annals*, 2021, vol. 70, no. 2, pp. 611–633. <https://doi.org/10.1016/j.cirp.2021.05.010>
2. Nasibullaeva E.Sh. Simulation of acoustic scattering from a set of sound-permeable spheres in 3D space. *Computational Technologies*, 2022, vol. 27, no. 2, pp. 19–36. (in Russian). <https://doi.org/10.25743/ICT.2022.27.2.003>
3. Yamamoto K., Masatoshi T., Nakagawa S. Privacy protection for speech signals. *Procedia Social and Behavioral Sciences*, 2010, vol. 2, no. 1, pp. 153–160. <https://doi.org/10.1016/j.sbspro.2010.01.029>
4. Khorev A.A. *Protection of Information from Leakage via Technical Channels. Part 1. Technical Channels of Information Leakage*. Moscow, Gostehkomissija Rossii Publ., 1998, 320 p. (in Russian)
5. Burlakov M.E., Osipov M.N. *Acoustic and Vibroacoustic Channels of Information Leakage. Theoretical Foundations and Basic Practical Training*. Samara, SSAU Publ., 2021. 96 p. (in Russian)
6. Howard C.Q., Cazzolato B.S. *Acoustic Analyses Using MATLAB and ANSYS*. CRC Press, 2014, 708 p.
7. Murashov M.V. Numerical modeling in ANSYS of the pressure field during measures to ensure information protection from leakage through an acoustoelectric channel. *Science and Education of the Bauman MSTU*, 2009, no. 10, pp. 2 (in Russian)
8. Murashov M.V., Golubtsova E.S., Kapitonova L.I., Fedorova V.A., Savina T.T. Investigation of the room protection from information leakage through the vibroacoustic channel using the ANSYS program. *Zashita informacii. Inside*, 2022, no. 3 (105), pp. 5–9. (in Russian)
9. Horev A., Margarian T. Experimental studies of voice messages intelligibility. *Proc. of the Conference of Russian Young Researchers in Electrical and Electronic Engineering (EIConRus)*, 2019, pp. 1538–1543. <https://doi.org/10.1109/EIConRus.2019.8657302>
10. Shcheviev Iu.P. *Fundamentals of Physical Acoustics*. St. Petersburg, Lanbook Publ., 2021, 364 p. (in Russian)
11. Gerasimenko V.G., Lavrukhin Iu.N., Tupota V.I. *Methods of Protecting Acoustic Speech Information from Leakage via Technical Channels*. Moscow, RCIB «Fakel», 2008, 258 p. (in Russian)
12. Lukmanova O., Horev A.A., Vorobeyko E., Volkova E.A. Research of the analog and digital noise generators characteristics for protection device. *Proc. of the IEEE Conference of Russian Young Researchers in Electrical and Electronic Engineering (EIConRus)*, 2020. pp. 2093–2096. <https://doi.org/10.1109/EIConRus49466.2020.9039193>
13. Murashov M.V., Panin S.D. Numerical modelling of contact heat transfer problem with work hardened rough surfaces. *International Journal of Heat and Mass Transfer*, 2015, vol. 90, pp. 72–80. <https://doi.org/10.1016/j.ijheatmasstransfer.2015.06.024>
14. Murashov M.V. Selection of parameters for computational algorithms while solving the problem of rough bodies contact with ANSYS. *Herald of the Bauman Moscow State Technical University, Series Natural Sciences*, 2016, no. 1 (64), pp. 111–121. (in Russian). <https://doi.org/10.18698/1812-3368-2016-1-111-121>
15. Korobeynikov A.G., Kalinkina M.E., Tkach V.L., Pirozhnikova O.I., Grishentcev A.Yu. Modeling of membrane surface state under point impact. *Scientific and Technical Journal of Information Technologies, Mechanics and Optics*, 2020, vol. 20, no. 1, pp. 155–161. (in Russian). <https://doi.org/10.17586/2226-1494-2020-20-1-155-161>

Авторы

Authors

Скрыль Сергей Васильевич — доктор технических наук, профессор, профессор, Московский государственный технический университет им. Н.Э. Баумана, Москва, 105005, Российская Федерация, <https://orcid.org/0000-0002-4309-6255>, skryl@bmstu.ru

Мурашов Михаил Владимирович — доктор технических наук, профессор, доцент, Московский государственный технический университет им. Н.Э. Баумана, Москва, 105005, Российская Федерация, <https://orcid.org/0000-0001-7564-0158>, murashov@bmstu.ru

Голубцова Екатерина Сергеевна — ассистент, Московский государственный технический университет им. Н.Э. Баумана, Москва, 105005, Российская Федерация, <https://orcid.org/0000-0003-4395-2135>, golubeka@bmstu.ru

Sergey V. Skryl — D.Sc., Full Professor, Bauman Moscow State Technical University, Moscow, 105005, Russian Federation, <https://orcid.org/0000-0002-4309-6255>, skryl@bmstu.ru

Mikhail V. Murashov — D.Sc., Professor, Associate Professor, Bauman Moscow State Technical University, Moscow, 105005, Russian Federation, <https://orcid.org/0000-0001-7564-0158>, murashov@bmstu.ru

Ekaterina S. Golubtsova — Assistant, Bauman Moscow State Technical University, Moscow, 105005, Russian Federation, <https://orcid.org/0000-0003-4395-2135>, golubeka@bmstu.ru

Грачёва Юлия Викторовна — старший преподаватель, Московский государственный технический университет им. Н.Э. Баумана, Москва, 105005, Российская Федерация, <https://orcid.org/0000-0003-0884-5617>, uvgracheva@bmstu.ru

Паротькина Мария Алексеевна — лаборант, Московский государственный технический университет им. Н.Э. Баумана, Москва, 105005, Российская Федерация, [sc 59397043700](https://orcid.org/0000-0001-5418-3111), <https://orcid.org/0000-0001-5418-3111>, masha20022811@gmail.com

Julia V. Gracheva — Senior Lecturer, Bauman Moscow State Technical University, Moscow, 105005, Russian Federation, <https://orcid.org/0000-0003-0884-5617>, uvgracheva@bmstu.ru

Maria A. Parotkina — Laboratory Assistant, Bauman Moscow State Technical University, Moscow, 105005, Russian Federation, [sc 59397043700](https://orcid.org/0000-0001-5418-3111), <https://orcid.org/0000-0001-5418-3111>, masha20022811@gmail.com

Статья поступила в редакцию 26.12.2022

Одобрена после рецензирования 05.02.2025

Принята к печати 21.03.2025

Received 26.12.2022

Approved after reviewing 05.02.2025

Accepted 21.03.2025



Работа доступна по лицензии
Creative Commons
«Attribution-NonCommercial»