

УДК 681.224:621.391:006.354

ЗАЩИТА РЕЧЕВОЙ ИНФОРМАЦИИ ОТ УТЕЧКИ ПО АКУСТИЧЕСКИМ КАНАЛАМ

Г.В. ДАВЫДОВ, Д.М. КАВАН, В.А. ПОПОВ, А.В. ПОТАПОВИЧ

Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники
П.Бровки, 6, Минск, 220013, Беларусь

Поступила в редакцию 23 января 2009

Выполнен анализ характеристик акустических каналов, по которым возможна утечка речевой информации, и механизмы их образования. Рассмотрены методы оценки разборчивости речи, на базе чего сформированы условия обеспечения защиты речевой информации. Экспериментальные исследования акустических характеристик ограждающих элементов конструкций выполнены для стен и систем отопления.

Ключевые слова: речевые и речеподобные сигналы (помехи), амплитудно-частотные характеристики, разборчивость речи, защита информации от утечки по акустическим каналам.

Введение

Защита речевой информации является одним из звеньев в системе защиты информации. Особенностью защиты речевой информации является то, что она тесно связана с источником речи и проявляется в виде акустических звуковых волн. Акустические волны, передающие речевую информацию от источника к приемнику, одновременно воздействуют и на ограждающие элементы конструкций помещений. При этом возникают вибрации ограждающих элементов конструкций помещений. Вибрации, несущие речевую информацию, распространяясь по конструкциям зданий создают каналы утечки речевой информации.

Особенности речевых сигналов, определяющие их дальность распространения по акустическим каналам, заключаются в следующем:

- речевой сигнал представляет собой процесс всплескового характера с частотным диапазоном от 50 Гц до 10 кГц;
- длительность всплесков — от 15 до 150 мс;
- всплески сгруппированы в пачки по 2–8 штук в каждой с промежутками между пачками от 10 мс до 1 с;
- наличие в спектре сигнала основного тона с частотой 75–800 Гц;
- наличие в спектре сигнала формант, частоты которых наиболее часто лежат в диапазонах $f_1=(300\dots1000)$ Гц, $f_2=(1000\dots2000)$ Гц, $f_3=(2000\dots3000)$ Гц, $f_4=(3000\dots4000)$ Гц, $f_5=(4000\dots5000)$ Гц.

На базе экспериментальных исследований установлено, что речевые сигналы, распространяясь по элементам ограждающих конструкций помещения, затухают с различными скоростями. Более высокочастотные составляющие спектра затухают быстрее, и речевой сигнал искажается. Для обеспечения защиты речевой информации в выделенном помещении могут применяться, в первую очередь, пассивные методы, которые реализуются при строительстве зданий и активные методы, основанные на создании в элементах ограждающих конструкций маскирующих сигналов со спектром частот, перекрывающим частоты речевых сигналов [1].

Оценка степени защищенности речевой информации в выделенном помещении выполняется на базе методов оценки звукоизоляции помещений и дальнейшего определения разбор-

чивости речи, распространяющейся по ограждающим элементам конструкций помещений, в местах ее возможного перехвата.

Каналы утечки речевой информации

Акустические волны, образующиеся в выделенном помещении в результате речевой деятельности, воздействуют на ограждающие элементы конструкций помещений с уровнями звукового давления порядка 70 дБ в частотном диапазоне от 50 Гц до 10 кГц. При этом акустические волны воздействуют на ограждающие элементы конструкций помещений под различными углами и имеет место наличие многократно отраженных акустических волн.

Из-за больших различий в волновых сопротивлениях (порядка 100 раз) акустической среды в помещении и ограждающих конструкциях прохождение акустических волн в смежные помещения через стены, потолок и пол за счет механизма прямого преломления звука весьма незначительно.

Механизм прохождения звука через граничную поверхность между двумя средами показан на рис. 1. Падающая звуковая волна с уровнем звукового давления P_n под углом φ_n частично отражается от плоской граничной поверхности А, разделяющей воздушную среду с удельной плотностью ρ_0 и скоростью звука в ней C_0 и твердым телом с удельной плотностью ρ_1 и скоростью звука в ней C_1 , и одновременно частично проходит через граничную поверхность.

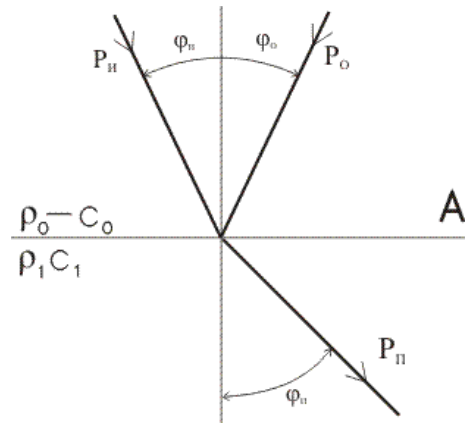


Рис. 1. Механизм прохождения звука через граничную поверхность

Уровень звукового давления P_0 в отраженной звуковой волне определяется [2]:

$$P_o = P_u \frac{\rho_1 c_1 \left[1 - \left(\frac{c_0}{c_1} \sin \varphi_n \right)^2 \right]^{-1/2} - \frac{\rho_0 c_0}{\cos \varphi_u}}{\rho_1 c_1 \left[1 - \left(\frac{c_0}{c_1} \sin \varphi_n \right)^2 \right]^{-1/2} + \frac{\rho_0 c_0}{\cos \varphi_u}}. \quad (1)$$

Прохождение звука за счет преломления через граничную поверхность определяется ориентировочно по формуле, не учитывающей явлений реверберации и ограничения размеров элементов конструкций [2].

$$P_n = P_u \left\{ 1 - \frac{\left[\rho_1 c_1 \left[1 - \left(\frac{c_0}{c_1} \sin \varphi_n \right)^2 \right]^{-1/2} - \frac{\rho_0 c_0}{\cos \varphi_u} \right]^2}{\left[\rho_1 c_1 \left[1 - \left(\frac{c_0}{c_1} \sin \varphi_n \right)^2 \right]^{-1/2} + \frac{\rho_0 c_0}{\cos \varphi_u} \right]^2} \right\}, \quad (2)$$

где P_n — звуковое давление в твердом теле.

Для оценки величины звукового давления за достаточно толстой разделяющей средой (например, стеной) без учета резонансных явлений и изгибных колебаний используются следующие соотношения:

$$P_c = P_u \frac{Z_0^2 - Z_1^2 \sin kh}{Z_0^2 + Z_1^2 \sin kh + 2jZ_0 Z_1 \cos kh}, \quad (3)$$

где $Z_0 = \rho_0 c_0 / \cos \varphi_u$, $Z_1 = \rho_1 c_1 \left[1 - c_0 / c_1 \cdot \sin^2 \varphi_u \right]^{-1/2}$, $k = \omega / c_1 \sqrt{1 - c_0 / c_1 \cdot \sin^2 \varphi_u}$, ω — частота; h — толщина разделяющей среды.

Рассчитанное значение звукового давления за счет преломления через железобетонную стену толщиной 200 мм ориентировочно составляет $P_c \approx 15$ дБ (при возбуждении звуковым давлением $P_u = 70$ дБ), а для гипсовой стены толщиной 100 мм $P_c \approx 18$ дБ. Как видно из расчетов, за счет преломления звука через ограждающие конструкции уровни почти одинаковы. На самом деле эксперименты показывают существенное различие, которое достигает 20 дБ.

Основное прохождение звука через элементы ограждающих конструкций происходит не из-за явления преломления звука, а из-за более сложного механизма, связанного с возбуждением изгибных колебаний элементов ограждающих конструкций с явно выраженными резонансными явлениями, что отражено на рис. 2.

Звуковые волны, распространяясь от источника речевой информации, по достижении элементов ограждающих конструкций создают динамическое распределенное воздействие на них и вызывают изгибные колебания (так называемую структурную вибрацию). Звуковые волны в зависимости от расположения источника могут проходить к различным областям элементов ограждающих конструкций с различными фазовыми соотношениями, вызывая широкий диапазон собственных форм колебаний.

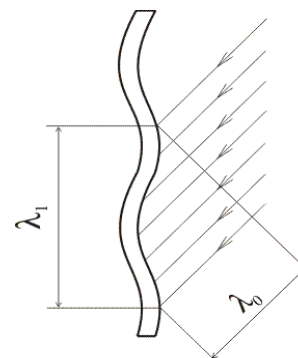


Рис. 2. Механизм прохождения звуковых волн через ограждающие элементы конструкций

Экспериментальная часть

Анализ экспериментальных амплитудно-частотных зависимостей и форм колебаний железобетонных стен показывает возможность возбуждения многих форм изгибных колебаний с достаточно большими амплитудами вибраций (до 80 дБ при возбуждении колебаний акустическим источником звука с уровнем звукового давления 90 дБ) из-за резонансного характера колебаний. Прохождение звука через железобетонные стены из-за возбуждения их изгибных колебаний оказывается значительно большим по сравнению с механизмом преломления звука через среды с различными волновыми сопротивлениями.

Аналогичные экспериментальные исследования были выполнены и для гипсоблочной стены толщиной 100 мм и размерами 3200×6000 мм, амплитудно-частотные характеристики вибраций которой представлены на рис. 3 для акустических воздействий с уровнями звуковых давлений 50 дБ, 70 дБ и 90 дБ. Измерительный акселерометр был установлен по центру стены, а возбуждающий колебания источник звука был расположен с обратной стороны стены.

Сравнение амплитудно-частотных характеристик стен с различными толщинами показывает, что в более тонких стенах амплитуды изгибных колебаний больше, а собственные частоты более тонких стен смещены в более низкую область частот.

На очень тонких элементах ограждающих конструкций, таких как оконные стекла, при акустическом воздействии возбуждаются колебания с диапазоном частот, перекрывающим диапазон частот речевых сигналов. При этом съем информационного сигнала с оконных стекол может осуществляться бесконтактным способом, используя лазерный луч [3]. Однако реализация этого метода на практике требует дорогостоящего оборудования и условий обеспечения прямой видимости. Дальность съема информации с помощью лазера в городских условиях, по материалам ряда публикаций, ограничивается 200 м.

Кроме рассмотренных механизмов прохождения звука через ограждающие конструкции может иметь место еще один, обусловленный некачественным выполнением строительных работ и наличием в стене сквозных воздушных каналов (возможно возле труб или телекоммуникационных сетей). Сквозные отверстия в стенах, даже небольших поперечных сечений (20 мм²), значительно снижают звукоизоляционные свойства между смежными помещениями.

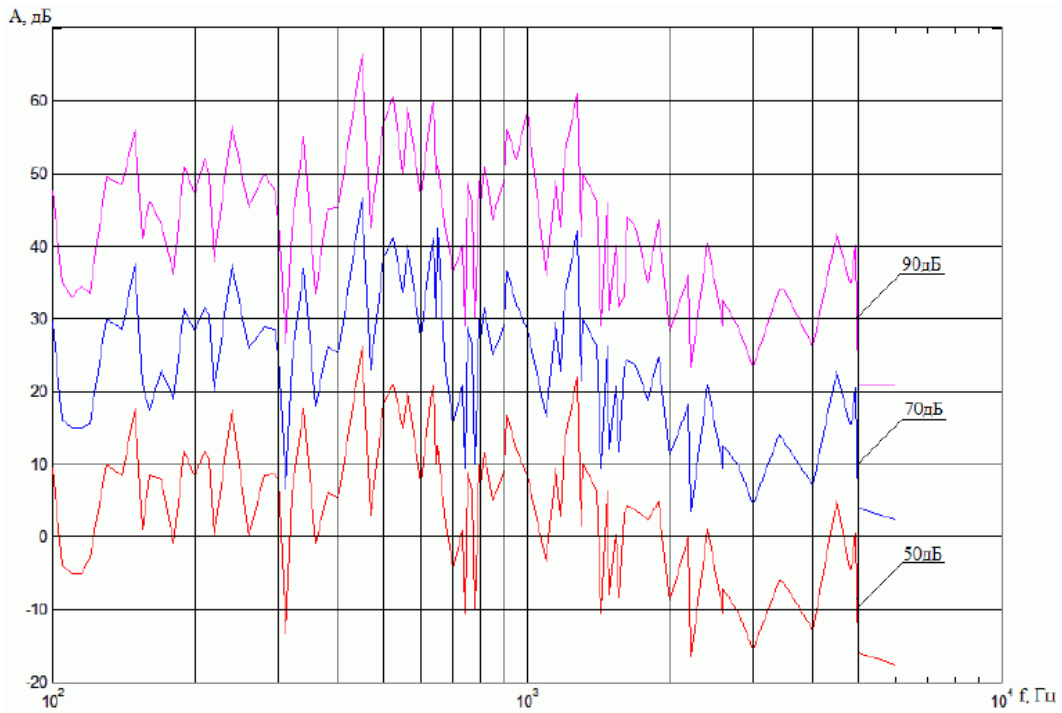


Рис. 3. Амплитудно-частотные характеристики вибраций гипсоблочной стены

Одним из каналов утечки речевой информации являются каналы, образованные стальными трубами различных коммуникаций (отопление, водопровод, газовые коммуникации и др.), проходящими через защищенные помещения. Так как затухание звука в стальных трубах значительно меньше, чем в элементах ограждающих конструкций, то они могут образовывать каналы утечки речевой информации с хорошими акустическими свойствами. Съём информации с таких каналов может выполняться различного вида стетоскопами, например, на базе пьезоэлектрических преобразователей.

Экспериментальные исследования были выполнены на трубах отопления диаметром один дюйм при возбуждении колебаний через акустическое воздействие на радиаторы отопления с уровнем звукового давления в 90 дБ. Измерение уровня вибраций выполнялось в помещении, расположенном ниже на два этажа. Амплитудно-частотная характеристика вибраций показана на рис. 4.

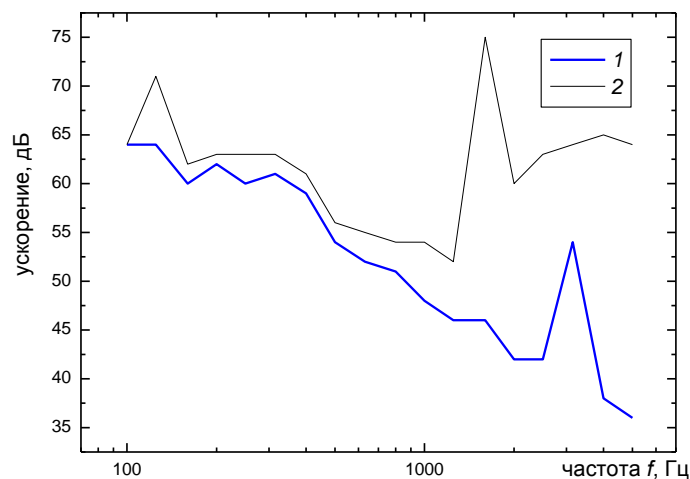


Рис. 4. Амплитудно-частотная характеристика передачи звука по системам отопления: 1 — спектр фоновых шумов в третьоктавных полосах; 2 — уровни вибраций при возбуждении колебаний тоном изменяющейся частоты

Каналы утечки речевой информации через вентиляционные каналы и дверные тамбуры характеризуются низкой защищенностью. Ослабление звука за счет его прохождения через дверь и воздушные щели рядом с дверью составляет порядка 12 дБ. Тамбурная дверь обеспечивает снижение уровня звука более чем на 40 дБ. Затухание звука в вентиляционных каналах определяется геометрией канала и наличием изгибов под углом 90°. При этом затухание звука на каждом из изгибов составляет от 9 до 12 дБ.

Кроме рассмотренных каналов утечки речевой информации непосредственно по акустическим каналам, могут иметь место и каналы утечки, образующиеся случайным образом, на базе микрофонных эффектов в конденсаторах (не ярко выраженные пьезоэлектрические свойства керамических конденсаторов), деформационных эффектов в полупроводниках, явлениях электромагнитной индукции в катушках индуктивности и других изделиях электронной техники [3, 4].

Разборчивость речи в каналах утечки речевой информации

Оценка защищенности речевой информации от утечки по акустическим каналам базируется на методах определения разборчивости речи и показателях затухания речевых сигналов при прохождении их через ограждающие конструкции помещений. Оценка разборчивости речи широко используется для определения качества телефонных каналов, радиосвязи [5–7]. Под разборчивостью речи понимается отношение количества правильно принятых элементов речи (слов, слогов, фраз) к общему числу произнесенных. Оценка разборчивости речи при испытаниях качества каналов передачи речевых сообщений в аналоговой форме и оценке степени защищенности помещений проводится методом артикуляционных измерений группой дикторов и аудиторов [8]. Однако при оценке защищенности помещений от утечки речевой информации этот метод весьма трудоемок. Для исключения субъективно-психологических факторов дикторов и аудиторов, а также для сокращения времени тестирования, были разработаны так называемые инструментально-расчетные методы, основанные на измерении физических величин, характеризующих звукоизолирующие свойства ограждающих элементов конструкций помещений [6, 9]. Эти методы имеют хорошую корреляцию с параметрами разборчивости речи, определенными по СТБ [8]. Основаны они на предположении, сделанном в [9] и заключающемся в том, что разборчивость речи пропорциональна среднему отношению между пиковыми уровнями речи и уровнями маскирующего шума (при этом речевой диапазон частот от 100 до 10000 Гц был разбит на 20 полос, исходя из их равноценного вклада в разборчивость речи).

Экспериментальные исследования различий между пиковыми значениями речи и среднеквадратичными значениями уровней речи были выполнены для 42 дикторов на двух текстах, содержащих по 200 слов. Среднее значение различий составило 19,5 дБ. Средний темп речи составлял 95 слов в минуту. Предложенный для оценки разборчивости речи индекс артикуляции [9] определялся как сумма произведений весового коэффициента для полосы частот на отношение между пиковым уровнем речи в данной полосе и уровнем маскирующего сигнала. В случае использования 20 полос равной разборчивости весовой коэффициент равен 0,05. Дальнейшее развитие предложенного метода нашло отражение в работах [6, 7].

Заключение

Защита речевой информации от утечки по акустическим каналам с использованием как пассивных, так и активных методов защиты может оказаться или недостаточной, или весьма избыточной из-за неадекватности принятых моделей возможных каналов утечки речевой информации, моделей источника речевого сигнала, моделей оценки степени защищенности. В первую очередь следует обращать внимание на нелинейность передаточных характеристик акустических каналов утечки речевой информации. С другой стороны, моделирование источника речевого сигнала в виде "белого" шума с заданным диапазоном частот и заданным уровнем звукового давления в 70 дБ не учитывает всплескового характера речевого сигнала. Расчет степени защищенности речевой информации в выделенном помещении на базе метода оценки разборчивости речи (в его различных вариантах) требует оценки достоверности и определения границ доверительных интервалов.

SPEECH INFORMATION PROTECTION AGAINST LEAKAGE THROUGH ACOUSTIC CHANNELS

H.V. DAVYDAU, D.M. KAVAN, V.A. PAPOU, A.V. PATAPOVICH

Abstract

Acoustic channels of speech information leakage and mechanisms for formation of such channels are characterized and analyzed. Methods of speech intelligibility evaluation are used to state the conditions for the speech information protection. Acoustic characteristics of walls and heating systems are studied experimentally and the results are performed.

Литература

1. *Хорев А.А.* Способы и средства защиты информации. Учебн. пособие. М., 2000.
2. Справочник по технической акустике / Под ред. М. Хекла и Х.А. Мюллера Пер. с нем. Б.Д. Виноградова, Н.М. Колянцева Л., 1980.
3. *Бузов Г.А., Калини С.В., Кондратьев А.В.* Защита от утечки информации по техническим каналам: Учебное пособие. М., 2005.
4. *Куприянов А.И., Сахаров А.В., Шевцов В.А.* Основы защиты информации: Учебное пособие для студ. высш. учеб. заведений. М., 2006.
5. *Давыдов Г.В. Потапович А.В., Давыдов А.Г.* // Докл. БГУИР. 2004. № 5. С. 76–78.
6. *Покровский Н.Б.* Расчет и измерение разборчивости речи. М., 1962.
7. *Сапожков М.А.* Речевой сигнал в кибернетике и связи. М., 1963.
8. СТБ ГОСТ 50840–2000 Передача речи по трактам связи. Методы оценки качества, разборчивости и узнаваемости. Минск, 2001.
9. *French N.R., Steinberg J.C.* // J. Acoust. Soc. Amer. 1947. Vol. 19. P. 90–119.