Электронный журнал «Техническая акустика»
http://www.ejta.org
2013, 10

Н. А. Самойленко, В. П. Заец

Национальный технический университет Украины «Киевский политехнический институт», ул. Политехническая, 16, корпус 12, г. Киев, 03056, Украина,
e-mail: samijlenko.natalia@gmail.com

Влияние звукоизоляции ограждающих конструкций на разборчивость речи

Получена 30.09.2013, опубликована 06.11.2013

В статье приведены результаты исследования влияния звукоизоляции ограждающих конструкций на разборчивость речи. В условиях заглушенной камеры были воспроизведены элементы речи, предварительно обработанные фильтрами, которые моделируют звукоизоляцию ограждающих конструкций, с учетом действия разных источников фонового шума. Результаты артикуляционных испытаний сравниваются с результатами моделирования аналогичного процесса формантным и формантно-модуляционным методами. Исследование дает возможность оценить влияние звукоизоляции на разборчивость речи.

Ключевые слова: звукоизоляция, разборчивость речи, артикуляционные испытания, форманты, шум.

ВВЕДЕНИЕ

В связи с ускорением темпа жизни и большими психо-эмоциональными нагрузками воздействующими на человека, защита от шума стала одним из основных направлений прикладной акустики. В рамках этого направления оценка взаимосвязи звукоизоляции и разборчивости речи позволяет количественно оценить субъективные факторы, обусловленные недостаточной звукоизоляцией.

Изоляция воздушного шума ограждением определяется как десять десятичных логарифмов отношения интенсивности звука падающей на ограждение волны ($I_{\text{пад}}$) к интенсивности звука, прошедшего через это ограждение ($I_{\text{пр}}$):

$$R = 10\lg\frac{I_{\text{пад}}}{I_{\text{пр}}}, \text{ дБ}, \tag{1}$$

где $I_{\text{пад}}$ — интенсивность звука падающей на ограждение волны, $I_{\text{пр}}$ — интенсивность звука, прошедшего через ограждение.

В практических целях звукоизоляцию оценивают индексом изоляции воздушного шума R_W, который определяется по известной (рассчитанной или измеренной) частотной характеристике изоляции воздушного шума ограждением R, дБ, путем

сравнения этой характеристики со стандартной оценочной частотной характеристикой звукоизоляции в соответствии с методикой, приведенной в ISO 717-1 [1].

Разборчивость речи — величина, описывающая способность человека слышать и понимать речевой сигнал. Она должна учитывать: слуховое восприятие человека, частотное распределение речевого сигнала, возможность человека угадывать слова, исходя из контекста разговора. Поэтому, в отличие от звукоизоляции, разборчивость речи учитывает и влияние человека, для которого непосредственно и осуществляется оценка тракта передачи. Зная связь между разборчивостью речи и звукоизоляцией ограждающих конструкций можно упростить оценку защищенности помещения от прослушивания, и оценить звукоизоляционные свойства перегородок с учетом особенностей восприятия слушателем.

Оценку связи между разборчивостью речи и звукоизоляционными характеристиками ограждающих конструкций, проводили ученые из Канады [2]. Экспериментальные исследования ученых показали, что R_W и разборчивость речи имеют неоднозначную связь.

В данной статье представлены результаты экспериментальных исследований и математического моделирования влияния звукоизоляции различных ограждающих конструкций на разборчивость речи с учетом следующих аспектов:

1. Артикуляционные измерения проводились в заглушенной камере НИИСК в г. Киев, что позволило свести к минимуму влияние реверберационной помехи.
2. Диапазон частотной характеристики изоляции воздушного шума R, дБ увеличен до 31,5-10000 Гц. Значения звукоизоляции за пределами стандартного диапазона получены в соответствии с результатами исследования звукоизоляции в расширенном диапазоне частот [3].
3. Морфологические особенности мировых языков отличны друг от друга. В качестве исследуемого материала были использованы артикуляционные таблицы русских звукосочетаний [4].
4. В эксперименте учтено действие шумов с разными спектральными характеристиками:

- искусственно сгенерированный белый шум;
- искусственно сгенерированный розовый шум;
- естественный шум транспортного потока.

1. АРТИКУЛЯЦИОННЫЕ ИСПЫТАНИЯ

Для оценки влияния звукоизоляции на разборчивость речи, с помощью привлечения дикторов и слушателей, проведены артикуляционные испытания, включающие следующие основные этапы:

1. Диктор прочитал в заглушенной камере 40 артикуляционных таблиц [4]. Записанные звуковые файлы в формате wav сохранены в память ПК.

2. Звуковые wav-файлы пропущены через гребенку октавных фильтров, с коэффициентами ослабления, эквивалентными звукоизоляции ограждающих конструкций.

3. Респонденты слушали в заглушенной камере отфильтрованные сигналы, на фоне устойчивого шума, с уровнем 35 дБА. Разборчивость речи оценивалась в соответствии с процедурой [4], для вариантов воздействия белого, розового, и транспортного шума.

Для исследования отобраны частотные характеристики изоляции воздушного шума ограждающих конструкций с индексом изоляции воздушного шума в диапазоне 27-52 дБ. Частотные характеристики звукоизоляции ограждающих конструкций приведены на рис. 1.

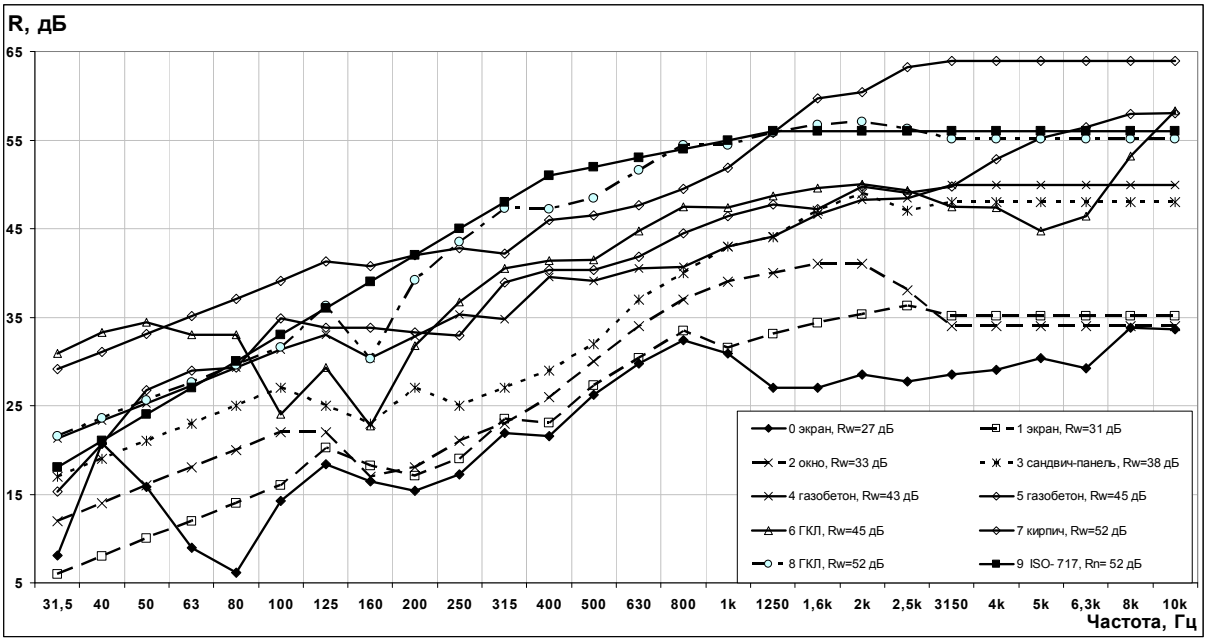

Рис. 1. Частотные характеристики звукоизоляции, отобранные для испытаний

Свойства ограждающих конструкций, взятые из [3] и протоколов испытаний [5–9] приведены в таблице 1.

Изоляция воздушного шума ограждающих конструкций зависит от характеристики спектра шума, воздействующего на ограждение. Для учета этого влияния вводят специальные показатели «спектральной адаптации», которыми дополняют, величины индексов звукоизоляции. Действие шума со спектром, близким к «розовому» шуму обусловливают показателем C, а со спектром, характерным для транспортного шума, обусловливают показателем C_{tr} [1]. Для моделирования отобраны конструкции с одинаковым индексом изоляции воздушного шума, но разными показателями спектральной адаптации.

Таблица 1. Свойства ограждающих конструкций, задействованных в испытаниях

№	Описание	Толщина, мм	Индекс изоляции воздушного шума, $R_{w,}$ (C, C_{tr}), дБ
0	Полотно шумопоглощающего экрана	130	27(–1, –3)
1	Полотно шумоизоляционного экрана	130	31(–2, –5)
2	Окно двустворчатое	70	33(–1, –3)
3	Сандвич-панель из OSB	225	38(–2, –5)
4	Монолитная газобетонная перегородка	120	43(–1, –3)
5	Монолитная газобетонная перегородка	300	45(–1, –4)
6	Каркасная гипсокартонная перегородка	100	45(–3, –8)
7	Монолитная двухслойная кирпичная перегородка	255	52(–2, –4)
8	Каркасная гипсокартонная перегородка	125	52(–3, –7)
9	Оценочная характеристика согласно ISO-717		52(0, –4)

2. МОДЕЛИРОВАНИЕ С ПОМОЩЬЮ ПК

Для оценки влияния звукоизоляции на разборчивость речи, инструментальными методами, с помощью средств ПК смоделирован процесс распространения звука через ограждающую конструкцию и рассчитана разборчивость прошедшего сигнала формантным и формантно-мдуляционным методами. Этапы моделирования приведены ниже.

1. Загружены Wav-файлы речевых фрагментов, записанные в заглушенной камере при проведении артикуляционных испытаний.
2. Сгенерирован модулированный речеподобный сигнал со спектром, соответствующим долговременному спектру речи [10].
3. Загруженные и сгенерированные сигналы пропущены через гребенку октавных фильтров с коэффициентами ослабления, эквивалентными звукоизоляции ограждающих конструкций.
4. Оценка разборчивости осуществлялась при воздействии белого, розового шумов и шума транспорта. Воздействие шума транспортного потока приближенно моделируется коричневым шумом. Приближение принято на основании результатов натурных измерений шума транспортных потоков, приведенных в [11];
5. Разборчивость речи рассчитана формантным [12] и формантно-модуляционным [10] методами.

Процесс оценки разборчивости речи, по известным значениям звукоизоляции схематически представлен на рисунке 2. Для моделирования отобраны те же ограждающие конструкции, что и в случае артикуляционных испытаний.

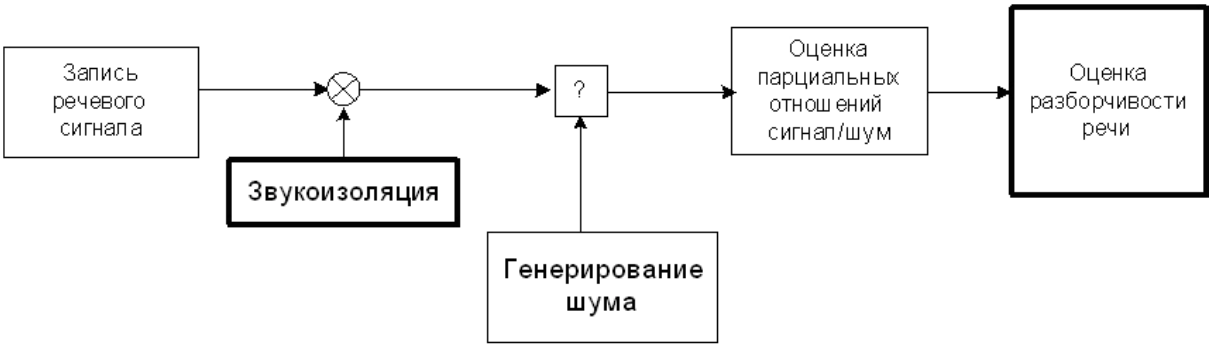

Рис. 2. Последовательность расчета разборчивости речи

3. РЕЗУЛЬТАТЫ

Результаты артикуляционных испытаний разборчивости речи в зависимости от звукоизоляции приведены в таблице 2.

Таблица 2. Значение разборчивости слов, полученные путем артикуляционных испытаний

Номер ограждающей конструкции	Разборчивость слов, при действии ТШ	Разборчивость слов, при действии РШ	Разборчивость слов, при действии БШ	Индекс изоляции воздушного шума, R_W , дБ
0	0,83	0,67	0,83	27
1	0,76	0,65	0,56	31
2	0,8	0,68	0,4	33
3	0,18	0,17	0,2	38
4	0,14	0,12	0,13	43
5	0,05	0,04	0,15	45
6	0,05	0,05	0,07	45
7	0	0	0,02	52
8	0,03	0,03	0,03	52
9	0,02	0,01	0	52

ТШ – шум транспорта, БШ – белый шум, РШ – розовый шум

Результаты математического моделирования разборчивости слов, в зависимости от индекса изоляции воздушного шума и метода расчета приведены на рис. 3-5.

На графиках приняты следующие обозначения:

Formant-modulated — разборчивость слов, рассчитанная формантно-модуляционным методом:

Формантная разборчивость в каждой полосе:

$$A = \sum_{k=1}^{N} p_k \cdot P(E'_k), \tag{2}$$

где p_k — вероятность пребывания формант в k-том частотном диапазоне; $P(E'_k)$ — коэффициент восприятия, которая учитывает потери разборчивости из-за наличия мешающих факторов, E'_k — эффективный уровень ощущения формант.

Эффективный уровень ощущения формант:

$$E_k = \overline{SNR}_k, \tag{3}$$

где $\overline{SNR}_k$ — эффективное отношение сигнал-шум.

Эффективное отношение сигнал-шум:

$$\overline{SNR}_k = \frac{1}{14}\sum_{i=1}^{14} SNR_{k,i}, \tag{4}$$

$$SNR_{k,i} = 10\lg\frac{m_k(F_i)}{1-m_k(F_i)}, \tag{5}$$

где $m_k(F_i)$ — коэффициент модуляции

Коэффициент модуляции, который в соответствии с [6] считается как

$$\tilde{m}_k(F_i) = \frac{1}{\sqrt{1+\left(\frac{2\pi F_i T}{13{,}8}\right)}}\frac{1}{1+10^{-0{,}1(S-R)/N}}, \tag{6}$$

где T — взаимное время реверберации двух помещений, $(S-R)/N$ — отношение сигнал-шум, с учетом звукоизоляции в дБ.

Для упрощения зависимость от частоты в формуле (6) пропущена.

Format-modulated modeling — разборчивость слов, полученная в результате моделирования форманто-модуляционным методом [10];

Formant modeling — разборчивость слов, полученная в результате моделирования формантным методом [12];

Articulated — разборчивость слов, полученная в результате артикуляционных испытаний (табл. 2).

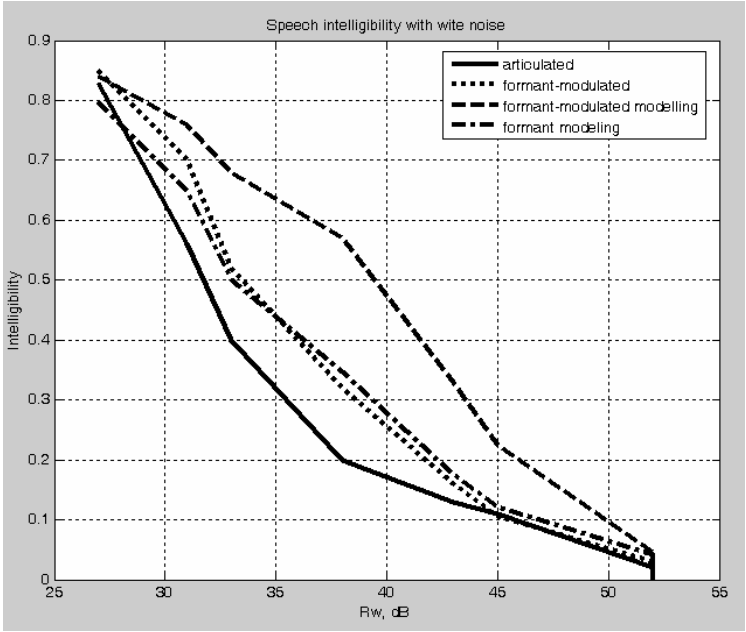

Рис. 3. Разборчивость слов в зависимости от звукоизоляции при воздействии белого шума

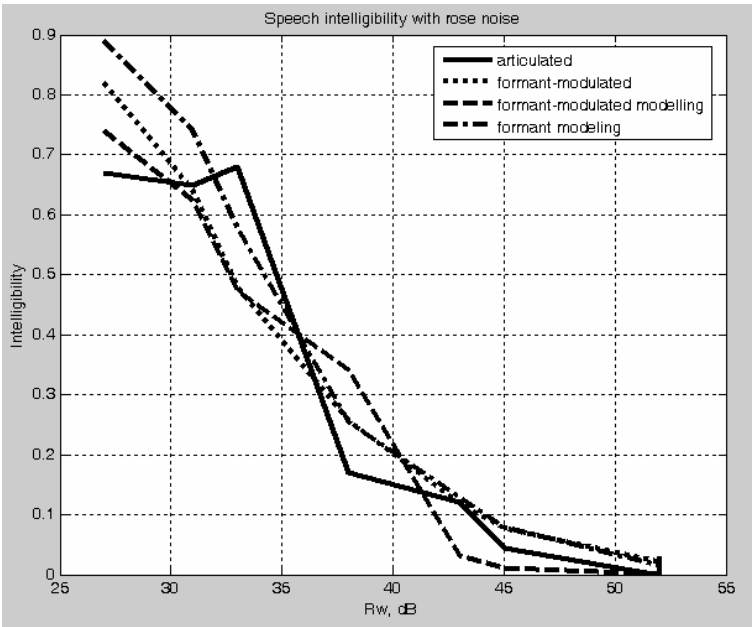

Рис. 4. Разборчивость слов в зависимости от звукоизоляции при воздействии розового шума

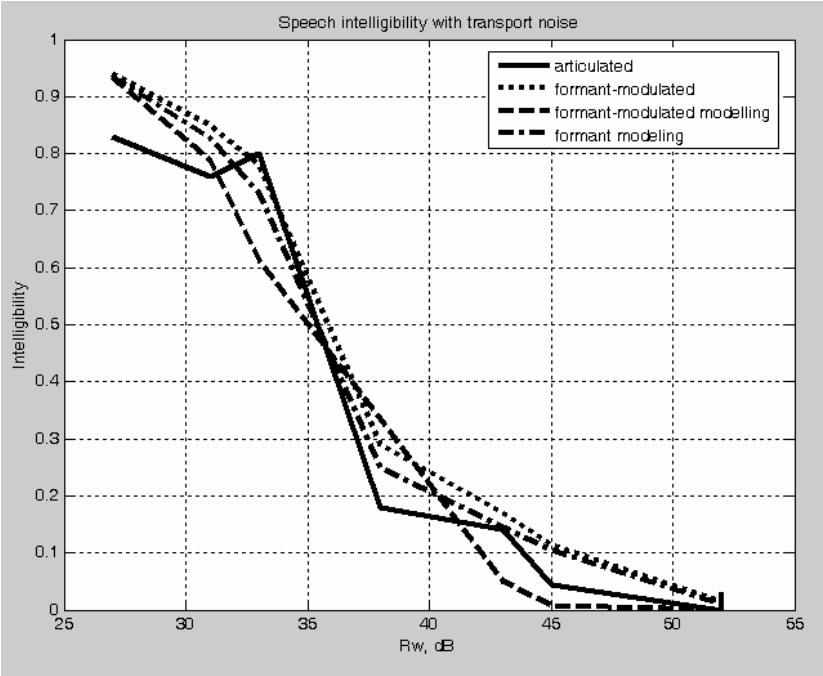

Рис. 5. Разборчивость слов в зависимости от звукоизоляции при воздействии шума транспорта

Как видно из графиков на рис. 3–5 при воздействии белого шума зависимость разборчивости речи от звукоизоляции носит наиболее линейный характер. Расчет разборчивости слов при действии белого шума, имеет также наибольшую погрешность для значения индекса звукоизоляции от 32 до 40 дБ, а для звукоизоляции от 45 дБ — наименьшую. При воздействии розового шума и шума транспортного потока результаты оценки разборчивости речи для малых значений звукоизоляции оказались завышенными, что нужно учитывать при использовании отмеченных методов. Характер зависимости разборчивости речи, полученной методом артикуляционных испытаний, совпадает с характером разборчивости речи, полученной с помощью методов моделирования.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

– Приведены расчеты разборчивости речи в зависимости от звукоизоляционных свойств ограждающих конструкций разными методами расчета. Отмечено, что наибольшее приближение к экспериментальным результатам обеспечивает методика с расчетом коэффициента модуляции.

– Обнаружено, что при действии шума транспортного потока наблюдается наиболее нелинейный характер зависимости разборчивости речи от звукоизоляции.

– Характер зависимости разборчивости речи от звукоизоляции совпадает, как для результатов полученных методом артикуляционных испытаний, так и для результатов, полученных с помощью моделирования. Для оценки разборчивости речи в зависимости от звукоизоляции рекомендуется использовать приведенные выше методики.

ЛИТЕРАТУРА

1. ISO 717-1:1996 Acoustics - Rating of sound insulation in buildings and of building elements - Part 1: Airborne sound insulation, Switzerland, 1996.

2. Park H. K., Bradley J. S. and Gover B. N. Evaluation of Airborne Sound Insulation in Terms of Speech Intelligibility// IRC Research Report, IRC RR-228, 2007.

3. Дидковский В. С., Заец В. П., Самойленко Н. А., Оценка изоляции воздушного шума ограждающих конструкций в расширенном диапазоне частот// Электроника и связь. Тематический выпуск «Электроника и нанотехнологии», ч 1, 2011.

4. ГОСТ 25902-83. «Зрительные залы. Методы определения разборчивости речи».

5. Протокол №96 к/10 лабораторных испытаний звукоизоляции каркасной перегородки из двойных гипсокартонных листов Lafarge с заполнением внутреннего пространства матами из стеклянного штапельного волокна марки Pure One 37 RN, 2010. –Киев, НИИСК.

6. Протокол №101 к/10 лабораторных испытаний звукоизоляции панели шумозащитного экрана, 2009. –Киев, НИИСК.

7. Протокол №71 к/10 лабораторных испытаний звукоизоляции перегородки из спаренных пустотелых блоков, 2010. –Киев, НИИСК.

8. Протокол №27 к/08 лабораторных испытаний изоляции воздушного шума фрагментом теплоизоляционной панели «Экосипан», 2008. –Киев, НИИСК.

9. Протокол №15 с/10 сертификационных акустических испытаний окон из ПВХ профилей с однокамерным стеклопакетом, 2010. –Киев, НИИСК.

10. Prodeus A. On Possibility of Advantages Join of Formant and Modulation Methods of Speech Intelligibility Evaluation. - Proceedings of the VI International Conference MEMSTECH 2010, 2010.

11. Котенко С. Г. Измерение акустических свойств шумозащитного экрана в г. Харькове// Восточно-Европейский журнал передовых технологий, 2012. - №6/10(60).

12. Дидковский В. С., Дидковская М. В., Продеус А. Н., Акустическая экспертиза каналов речевой коммуникации. - Киев, 2008.