

ISSN 2412-8627

Vol. 4 No. 2

(12+)

Noise Theory and Practice

Scientific Journal



II
2018

Acoustic Design Institute

Редакционная коллегия

Главный редактор

Иванов Николай Игоревич



Доктор технических наук, профессор, заведующий кафедрой "Экология и безопасность жизнедеятельности" Балтийского государственного технического университета "ВОЕНМЕХ" им. Д.Ф. Устинова, заслуженный деятель науки РФ (г. Санкт-Петербург, РФ)

Члены редакционной коллегии

Дроздова Людмила Филипповна



Кандидат технических наук, профессор кафедры "Экология и безопасность жизнедеятельности" Балтийского государственного технического университета "ВОЕНМЕХ" им. Д.Ф. Устинова (г. Санкт-Петербург, РФ)

Элеонора Карлетти



Директор Института сельскохозяйственной и землеройно-транспортных машин (IMAMOTER-CNR) и руководитель исследовательской группы IMAMOTER, работающей в предметной области акустики и вибрации (г. Ферара, Италия)

Тюрин Александр Павлович



Доктор технических наук, профессор кафедры "Техносферная безопасность", зам. начальника Управления научно-исследовательских работ ФГБОУ ВПО "ИжГТУ имени М.Т. Калашникова" (г. Ижевск, РФ)

Тупов Владимир Борисович



Доктор технических наук, профессор кафедры "Тепловые электрические станции" Национального исследовательского университета "Московский энергетический институт" (г. Москва, РФ)

Шапурин Александр Евгеньевич



Кандидат технических наук, доцент кафедры "Экология и безопасность жизнедеятельности" Балтийского государственного технического университета "ВОЕНМЕХ" им. Д.Ф. Устинова (г. Санкт-Петербург, РФ)

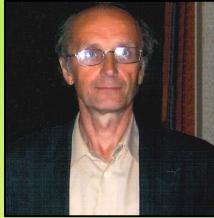
Рассошенко Юлия Сергеевна



Кандидат технических наук, ассистент кафедры "Экология и безопасность жизнедеятельности" Балтийского государственного технического университета "ВОЕНМЕХ" им. Д.Ф. Устинова (г. Санкт-Петербург, РФ)

Заместитель главного редактора

Курцев Геннадий Михайлович



Кандидат технических наук, профессор кафедры "Экология и безопасность жизнедеятельности" Балтийского государственного технического университета "ВОЕНМЕХ" им. Д.Ф. Устинова (г. Санкт-Петербург, РФ)

Члены редакционной коллегии

Заплетников Игорь Николаевич



Доктор технических наук, профессор, заведующий кафедрой оборудования пищевых производств Донецкого национального университета экономики и торговли имени Михаила Туган-Барананского (г. Донецк, Украина)

Серджио Луцци



Профессор и лектор в Университете Флоренции. Руководитель Курса "Акустика и контроль транспортного шума" в UNISER в Италии г. Пистоя (г. Флоренция, Италия)

Васильев Андрей Витальевич



Доктор технических наук, профессор, заведующий кафедрой "Химическая технология и промышленная экология" Самарского государственного технического университета, почетный работник высшего профессионального образования РФ (г. Самара, РФ)

Цукерников Илья Евсеевич



Доктор технических наук, профессор, главный научный сотрудник Научно-исследовательского института строительной физики, профессор Московского государственного университета печати имени Ивана Федорова (г. Москва, РФ)

Тюрина Наталья Васильевна



Доктор технических наук, руководитель службы главного инженера ЗАО "Институт "Трансэкопроект" (г. Санкт-Петербург, РФ)

Noise Theory and Practice

Научный журнал

Том 4 №2

Учредитель - Общество с ограниченной
ответственностью "Институт акустических
конструкций"(ООО "Институт акустических
конструкций") при БГТУ "ВОЕНМЕХ"
им. Д.Ф. Устинова

Сетевой Научный Журнал

'Noise Theory and Practice'

выпускается с 2015 г.

Основателем Журнала является
д.т.н., профессор, зав. кафедрой
"Экология и безопасность
жизнедеятельности"
Балтийского государственного
технического университета
"ВОЕНМЕХ" им. Д.Ф. Устинова
основатель транспортной
акустики в России -
Иванов Николай Игоревич.

"Noise Theory and Practice"
посвящен фундаментальным
проблемам в области
виброакустики и принимает
работы по направлениям:
- 29.00.00 Физика
- 29.37.00 Акустика
- 43.00.00 Общие и комплексные
проблемы естественных и
точных наук
- 87.00.00 Охрана окружающей
среды. Экология человека

Все статьи, поступающие в
редакцию, проходят
обязательное рецензирование.
Журнал является открытым
сетевым ресурсом и издается
с периодичностью четыре раза
в год.

Фактический адрес редакции
Россия, г. Санкт-Петербург,
ул. Промышленная, д.19, лит. Р,
оф. 444
+7 (812) 500-08-26
www.noisetp.com
e-mail: noise.science@gmail.com
Ответственный секретарь
Рассошенко Ю.С.

Зарегистрировано в Федеральной
службе по надзору в сфере связи,
информационных технологий
и массовых коммуникаций
Свидетельство
ЭЛ № ФС 77-71448

Содержание

Шашурина А.Е.

Определение эффективной высоты и
акустических характеристик шумозащитного
экрана
стр. 5-10

РУС

Дроздова Л.Ф., Чеботарева Е.Ю., Кудаев А.В.

Обзор современных компрессорных установок
и материалов для снижения их шума
стр. 11-20

РУС

Иванов Н.И., Рассошенко Ю.С., Крылов В.В.

Проблема оценки вибрационных полей,
создаваемых поверхностными волнами Рэлея
высокоскоростными железнодорожными линиями
стр. 21-29

РУС

Безверхая Е.А., Чеботарева Е.Ю.

Анализ методик расчета эффективности
шумозащитных экранов
стр. 30-39

РУС

Маслова С.С., Иванов Н.И., Рассошенко Ю.С.

Предложения по расчету акустической
долговечности шумозащитных экранов
стр. 40-49

РУС

Editorial Board

Editor-in-chief

Nickolay Ivanov



Doctor of Engineering Science,
Professor, Head of Department
'Ecology and life safety' of the Baltic
State Technical University
'VOENMEH' named after
D.F. Ustinov, Honored Scientist of the
Russian Federation
(St. Petersburg, Russia)

Deputy Editor-in-Chief

Gennadiy Kurzhev



Ph.D. of Engineering Science, Professor of
Environment and Safety chair of the Baltic
State Technical University
'VOENMEH' named after D.F. Ustinov
(St. Petersburg, Russia)

Members of the Editorial Board

Lyudmila Drozdova



Ph.D. of Engineering Science,
Professor of Environment and Safety
chair of the Baltic State Technical
University 'VOENMEH' named after
D.F. Ustinov
(St. Petersburg, Russia)

Eleonora Carletti



Director of the Institute of Agricultural
and Earth-Moving Machinery
(IMAMOTER-CNR) and leader of the
IMAMOTER Research Group working
in the Acoustics and Vibration subject
area (Ferrara, Italy)

Alexander Tyurin



Doctor of Engineering Science,
Professor of Technosphere Safety
Department, Deputy Head of
Research and Development Office of
the FSBEI HPO 'Izhevsk State
Technical University' named after
M.T.Kalashnikov (Izhevsk, Russia)

Vladimir Tupov



Doctor of Engineering science,
Professor of the 'Thermal power
plants' Department of the National
Research University 'Moscow Power
Engineering Institute' (MPEI)
(Moscow, Russia)

Aleksandr Shashurin



Ph.D. of Engineering Science,
Assistant Professor of Environment
and Safety chair of the Baltic State
Technical University
'VOENMEH' named after
D.F. Ustinov (St. Petersburg, Russia)

Iuliia Rassoshenko



Ph.D. of Engineering Science,
Assistant of Environment and Safety
chair of the Baltic State Technical
University 'VOENMEH' named after
D.F. Ustinov (St. Petersburg, Russia)

Igor Zapletnikov



Doctor of Engineering Science, Professor,
Head of Department of Food production
equipment of the Donetsk National
University of Economics and Trade
named after Mikhail Tugan-Baranovsky
(Donetsk, Ukraine)

Sergio Luzzi



Contract Professor and Lecturer at the
University of Florence. Honorary Visiting
Professor at USURT University of
Ekaterinburg. Visiting Lecturer at the
School of Architecture of the Royal College
of Art in London (Florence, Italy)

Andrey Vasilyev



Doctor of Engineering Science, Professor,
Head of Chemical technology and
industrial ecology chair of the Samara State
Technical University, Honorary Worker of
Higher Professional Education of the
Russian Federation, honored ecologist of
the Samara region (Samara, Russia)

Ilya Tsukernikov



Doctor of Engineering Science, Professor,
Chief Researcher at the Research Institute
of Construction Physics, Professor of the
Moscow State University of Printing Arts
named after Ivan Fyodorov
(Moscow, Russia)

Natalya Tyurina



Doctor of Engineering Science, Head of the
Chief Engineer's office of JSC 'Institute
'Transekoproekt' (St. Petersburg, Russia)

Scientific Journal
Vol. 4 No. 2

Noise Theory and Practice

The founder - LLC 'Acoustic Design Institute'
in cooperation with Baltic State Technical
University 'VOENMEH' named after
D. F. Ustinov

The Online Scientific Journal
'Noise Theory and Practice'
has been published since 2015.
The founder of the journal
is Nikolay Igorevich Ivanov,
Doctor of Engineering Sciences,
Professor, Head of 'Environmental
studies and health and safety'
department of the Baltic State
Technical University 'VOENMEH'
named after D. F. Ustinov, the
founder of the transport acoustics
in Russia.

'Noise Theory and Practice'
is devoted to the fundamental
problems in the field of
vibroacoustics and accepts papers
in the following areas:
- 29.00.00 Physics
- 29.37.00 Acoustics
- 43.00.00 General and complex
issues of natural and exact sciences
- 87.00.00 Environmental protection.
Human ecology.

All articles submitted to the
editorial office are subject
to mandatory review. The journal
is an open network resource
and published four times a year.

Location address of the Editorial
office
19 building 'R' Promyshlennaya str.,
office 444
+7 (812) 500-08-26
www.noisetp.com
e-mail: noise.science@gmail.com
Executive Secretary
Rassoshenko Iuliia

Journal is registered in Federal
service for supervision of
communications, information
technology, and mass media
The certificate of registration
ЭЛ № ФС 77-71448

Contents

Shashurin A.E.	RUS
Determination of the effective height and acoustic characteristics of the noise barriers p. 5-10	
Drozdova L.F., Chebotareva E.Y., Kudaev A.V.	RUS
Overview of compressor units and materials for noise reduction p. 11-20	
Ivanov N.I., Rassoshenko I.S., Krylov V.V.	RUS
The problem of estimating the vibrational fields produced by surface Rayleigh waves by high-speed railways p. 21-29	
Bezverkhaya E.A., Chebotareva E.Y.	RUS
Analysis of calculation of efficiency noise barriers methodologies p. 30-39	
Maslova S.S., Ivanov N.I., Rassoshenko I.S.	RUS
Proposals for calculation of the noise barriers acoustic durability p. 40-49	

УДК 534.833.5

OECD 01.03.AA

Определение эффективной высоты и акустических характеристик шумозащитного экрана

Шашурин А.Е.

К.т.н., доцент каф. «Экология и безопасность жизнедеятельности»
БГТУ «ВОЕНМЕХ» им. Д.Ф. Устинова, г. Санкт-Петербург

Аннотация

Шумозащитный экран является самой распространенной мерой в борьбе с вредным шумовым воздействием, однако разница в расчетах при определении эффективности экрана в зависимости от выбранной методики может составлять до 6 дБА. Учитывая высокую стоимость шумозащитных экранов определение достаточной и достоверной высоты экрана крайне важно. С учетом того, что источники шума и защищаемые объекты могут находиться на различных высотах, необходимо внедрить понятие «эффективная высота шумозащитного экрана», которая отображает реальную рабочую высоту экрана по отношению к источнику шума. При применении различных видов панелей необходимо учитывать акустические характеристики экрана.

Ключевые слова: шумозащитный экран, эффективная высота, акустические характеристики, звукопоглощение, звукоизоляция.

Determination of the effective height and acoustic characteristics of the noise barriers

Shasharin A.E.

*PhD, Assistant Professor of Environment and Safety chair, Baltic State Technical University «VOENMEH»
named after D.F. Ustinov, Saint-Petersburg, Russia*

Abstract

The noise barrier is the most common measure in the struggle against harmful noise exposure, but the difference in the calculations for determining the barrier efficiency depending on the chosen methodology can be up to 6 dBA. Taking into consideration the high noise barriers cost, determining a sufficient and reliable barrier height is extremely important. Taking into account that noise sources and protected facilities can be located at different heights, it is necessary to introduce the concept of the ‘effective noise barrier height’, which shows the actual working height of the barrier in relation to the noise source. When different types of panels are used, it is necessary to take into account the acoustic performance of the barrier.

Key words: noise barrier, effective height, acoustic performance, sound absorption, sound insulation.

Введение

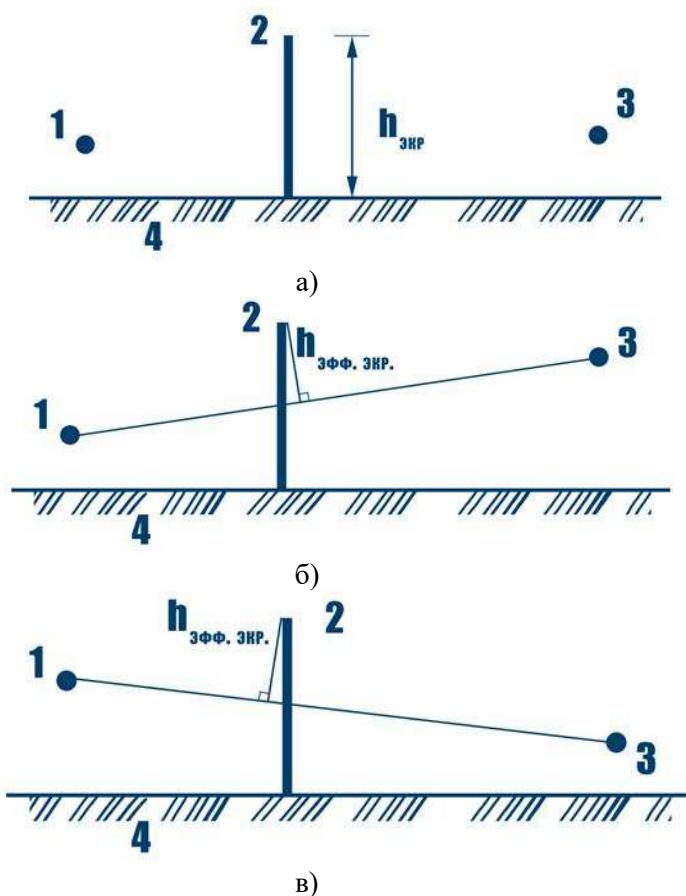
Увеличение плотности потока транспортных средств за счет роста численности населения в развитых и развивающихся странах вызывает интенсивное шумовое загрязнение, что оказывает негативное экологическое воздействие на окружающую среду. Существуют различные методы, направленные на снижение шума, вызванного автомобильным, железнодорожным и промышленными источниками шума, однако наиболее эффективным мероприятием, снижающим шум на пути от источника до защищаемого объекта, являются шумозащитные экраны. Шумозащитные экраны представляют собой сборно-разборную конструкцию, состоящую из опорных стоек и акустического полотна, в свою очередь представленного системой горизонтальных

*E-mail:kb_iak@mail.ru (Шашурин А.Е.)

профилей и акустических панелей. По своим свойствам шумозащитные экраны могут быть как шумопоглощающие, так и шумоотражающие. Важными параметрами при проектировании шумозащитных экранов являются его длина, высота и материал.

1. Эффективная высота

Важной особенностью при рассмотрении расчётных схем для определения эффективности шумозащитного экрана (далее – ШЭ) является возможное расположение расчетной точки (далее – РТ) не только на высоте 1,5 м над уровнем земли, но и на других высотах, соответствующих высотам нормируемых этажей в защищаемом здании. В таком случае, только часть высоты шумозащитного экрана является рабочей и представляет собой препятствие, и тогда вместо $h_{\text{экр}}$ необходимо вводить в расчёты понятие эффективной высоты экрана $h_{\text{эфф.экр}}$ – перпендикуляра из вершины свободного ребра на линию, соединяющую источник шума (далее – ИШ) и РТ (рисунок 1) [1].



а) эффективная высота ШЭ совпадает с фактической высотой ШЭ
б), в) определение эффективной высоты ШЭ при различных высотах РТ и ИШ

Рис. 1. Определение эффективной высоты ШЭ:

1 – ИШ, 2 – ШЭ, 3 – РТ, 4 – опорная поверхность

В настоящее время в России действует несколько нормативно-технических документов, представляющих методы расчета эффективности шумозащитных экранов, основными из которых являются:

- ОДМ 218.2.013-2011 «Методические рекомендации по защите от транспортного шума территорий, прилегающих к автомобильным дорогам» [2];
- ГОСТ 31295.2 «Шум. Затухание звука при распространении на местности. Часть 2. Общий метод расчета» [3];

- СП 276.1325800.2016 «Здания и территории. Правила проектирования защиты от шума транспортных потоков» [4].

Однако, ни в одном из вышеперечисленных документов, нет упоминания о понятии «эффективная высота ШЭ». Данный термин был впервые предложен проф., д.т.н. Ивановым Н.И. [5], а также встречается в работах Тюриной. Н.В. [1, 6]. Методика расчета акустической эффективности ШЭ, установленного на эстакаде, предложенная Н.Н. Мининой и Н.В. Тюриной, также основывается на понятии эффективной высоты ШЭ [7].

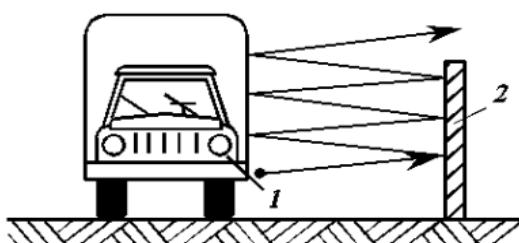
Понятие эффективной высоты также встречается в зарубежных источниках, содержащих технические требования к акустическим экранам [8-11]. Но следует заметить, что само понятие «эффективная высота» не регламентировано однозначно и имеет различную смысловую нагрузку в различных источниках [12], а расчет эффективной высоты был рассмотрен лишь немногими зарубежными коллегами [13, 14].

2. Акустические характеристики шумозащитного экрана

К акустическим характеристикам экрана относят его звукоизоляцию и звукопоглощение. Под звукопоглощением понимается ослабление звука вследствие перехода звуковой энергии в тепловую в звукопоглощающих материалах и конструкциях. Звукоизоляция является количественной характеристикой метода защиты от воздушного шума, основанного на отражении звука от плотной преграды. Эти характеристики в немалой степени сказываются на эффективности экранов.

2.1. Понятие усреднённого коэффициента звукопоглощения экрана

Важным элементом в конструкции ШЭ является звукопоглощающий материал, расположенный со стороны источника звука для исключения многократных отражений, схематично представленных на рисунке 2.



*Рис. 2. Схема переотражений для ШЭ без звукопоглощения:
1 – источник шума; 2 – отражающий экран*

Разница в акустической эффективности отражающих и отражающе-поглощающих ШЭ может достигать 3–4 дБА. Величина поглощения звука определяется значениями коэффициента звукопоглощения ШЭ и эквивалентной площадью звукопоглощения ШЭ.

Немалая часть шумозащитных экранов выполняется в виде комбинаций из панелей, содержащих звукопоглощающий материал в нижней части экрана, с панелями из прозрачного стекла в верхней части экрана, работающими только на отражение звука, а также звукоотражающего фундамента (рисунок 3).

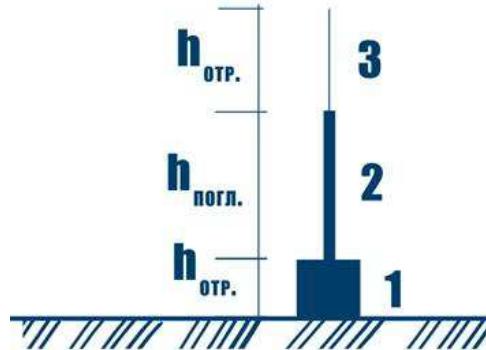


Рис. 3. Схема комбинированных шумозащитных экранов:

1 – отражающий звук фундамент, 2 – отражающе-поглощающие панели,
3 – отражающие звук светопрозрачные панели

В таком случае в расчётах вместо $\alpha_{\text{экр}}$ вводится понятие усреднённого коэффициента звукопоглощения экрана $\bar{\alpha}_{\text{экр}}$, равного:

$$\bar{\alpha}_{\text{экр}} = \frac{h_{\phi}\alpha_{\phi} + h_{\text{погл}}\alpha_{\text{погл}} + h_{\text{отр}}\alpha_{\text{отр}}}{h_{\phi} + h_{\text{погл}} + h_{\text{отр}}} \quad (1)$$

где h_{ϕ} – высота фундамента, м;

$h_{\text{погл}}$ – высота отражающе-поглощающих панелей, м;

$h_{\text{отр}}$ – высота отражающих светопрозрачных панелей, м;

α_{ϕ} – коэффициент звукопоглощения материала фундамента;

$\alpha_{\text{погл}}$ – коэффициент звукопоглощения материала отражающе-поглощающих панелей;

$\alpha_{\text{отр}}$ – коэффициент звукопоглощения материала отражающих светопрозрачных панелей.

2.2. Звукоизолирующие свойства экрана

Звукоизоляция шумозащитных экранов, измеренная в натурных условиях, заметно ниже звукоизоляции акустических панелей этих экранов, измеренной в акустической камере. Так, необходимо оценивать звукоизоляцию именно в натурных условиях, с учетом, в том числе, имеющихся щелей (проемов) через приведенную звукоизоляцию экрана ($3\bar{I}$), которая определяется по формуле:

$$3\bar{I} = 3I_{\text{экр}} - 10 \lg \frac{\frac{S_{\text{экр}}}{S'_{\text{пр}}} + 10^{0,1(3I_{\text{экр}} - 3I_{\text{пр}})}}{1 + \frac{S_{\text{экр}}}{S'_{\text{пр}}}}, \text{дБ} \quad (2)$$

где $S_{\text{экр}}$ – площадь шумозащитного экрана, м^2 ;

$S'_{\text{пр}}$ – площадь проёма (щели), м^2 ;

$3I_{\text{экр}}$ – звукоизоляция экрана, дБ;

$3I_{\text{пр}}$ – звукоизоляция проёма (щели), дБ.

Снижение эффективности экрана ($\Delta 3I_{\text{экр}}$) при слабой звукоизоляции определяется по рисунку 4 [5].

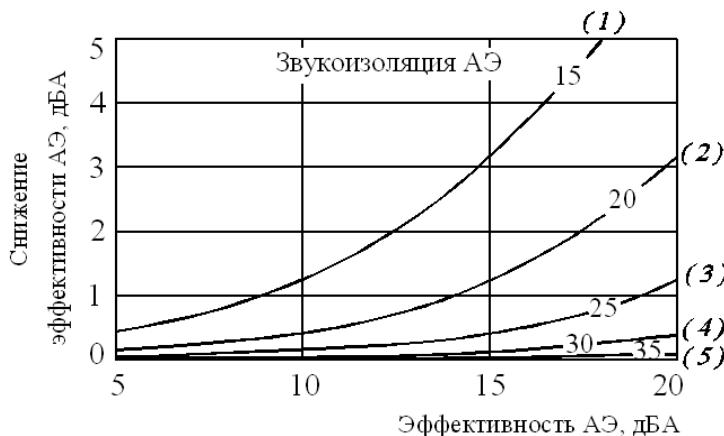


Рис. 4. Снижение эффективности ШЭ при уменьшении его звукоизоляции:
 (1) – (5) звукоизоляция ШЭ [5]

Акустическая эффективность экрана с поправкой на звукоизоляцию $\Delta L_{\text{экр}}^{\Delta \text{ЗИ}}$ определяется формулой:

$$\Delta L_{\text{экр}}^{\Delta \text{ЗИ}} = \Delta L_{\text{экр}} - \Delta \text{ЗИ}_{\text{экр}}, \text{дБ} \quad (3)$$

где $\Delta L_{\text{экр}}$ – акустическая эффективность экрана, дБ;
 $\Delta \text{ЗИ}_{\text{экр}}$ – поправка на звукоизоляцию экрана, дБ.

Заключение

Определение корректной прогнозируемой эффективности шумозащитного экрана является важнейшим этапом при проектировании шумозащитных мероприятий. Разнообразие действующих методик зачастую дает завышенные результаты, недостижимые в реальных условиях. Для повышения точности расчетов в статье предлагается понятие эффективной высоты шумозащитного экрана – перпендикуляр из вершины свободного ребра на условную линию, соединяющую источник шума и расчётную точку, и метод ее определения. Также предлагается использование приведенной звукоизоляции шумозащитного экрана ($\bar{\Delta} \text{ЗИ}$) и средний коэффициент звукопоглощения экрана ($\bar{\alpha}_{\text{экр}}$), получаемые в натурных условиях, вместо акустических характеристик, получаемых в лабораторных условиях в акустических камерах.

Список литературы

1. Тюрина, Н.В. Решение проблемы снижения шума на селитебных территориях и рабочих местах в помещениях акустическими экранами: автореф. дис. на соиск. уч. степени доктора техн. наук: 01.04.06 / Тюрина Наталья Васильевна. – СПб., 2014. – 54 с.
2. ОДМ 218.2.013-2011. Методические рекомендации по защите от шума территорий, прилегающих к автомобильным дорогам.
3. ГОСТ 31295.2 «Шум. Затухание звука при распространении на местности. Часть 2. Общий метод расчета»/
4. СП 276.1325800.2016 здания и территории. Правила проектирования защиты от шума транспортных потоков
5. Иванов, Н.И. Инженерная акустика. Теория и практика борьбы с шумом: учебник / Н. И. Иванов. – 4-е изд., перераб. и доп. – Санкт-Петербург: изд-во Логос, 2015. – 432 с.

6. Тюрина Н.В. Исследование акустических экранов// XXVII сессия Российского акустического общества, посвященная памяти ученых-акустиков ФГУП «Крыловский государственный научный центр» А. В. Смольякова и В. И. Попкова Санкт-Петербург, 16-18 апреля 2014 г.
7. Тюрина Н.В. и Минина Н.Н. Снижение шума акустическими экранами, установленными на эстакадах// Безопасность жизнедеятельности, 2012. Выпуск №6. С.262-27
8. Richard E. Klingerm Michael T. Mc Nerney, Ilene Busch-Vinshniac. Design Guide for Highway Barriers// Center For Transportation Research// The University of Texas at Austin// November 2003. p.96.
9. Noise wall design guideline. Design guideline to improve the appearance of noise walls in NSW// March 2016.
10. A Guide to the Reduction of Traffic Noise (For use by Builders, Designers and Residents)// VicRoads Publication Number 01224. 2003.
11. Bahman Daee. Application of Polyurethane Products in Accelerated Construction of Innovative Noise Barrier//Western Graduate and Postdoctoral Studies// Electronic Thesis and Dissertation Repository, 2864. 2015.
12. Hans Bendtsen. Noise Barrier Design: Danish and Some European Examples// The Sanish Road Institute – Road Directorate and University of California Pavement Research Center. May 2010.
13. Rafal Zuchowski, Michal Marchacz. Evaluation of the effectiveness of screening with noise barriers with account to an edge noise reducer//Architecture civil engineering environment (The Silesian University of Technology). No.3/2009.
14. Dispense di Fisica Tecnica 2. Parte I: Acustica// Ing. Oreste BOCCIA// Università degli Studi di Chieti-Pescara// A.A. 2013/14. P. 62-72.

УДК 534.23

OECD 01.03.АА

Обзор современных компрессорных установок и материалов для снижения их шума

Дроздова Л.Ф.^{1*}, Чеботарева Е.Ю.², Кудаев А.В.³

¹ Профессор кафедры «Экология и безопасность жизнедеятельности»

² Магистрант кафедры «Экология и безопасность жизнедеятельности»

³ Доцент кафедры «Экология и безопасность жизнедеятельности»

^{1,2,3} БГТУ «ВОЕНМЕХ» им. Д.Ф. Устинова,

г. Санкт-Петербург, ул. 1-я Красноармейская, д. 1

Аннотация

В работе рассмотрены компрессорные установки отечественных и зарубежных производителей. Приведены акустические характеристики и диапазон производительностей рассмотренного компрессорного оборудования. Рассмотрен метод снижения шума как стационарных, так и передвижных компрессорных установок. Проведен анализ материалов, применяемых для увеличения эффективности средств снижения шума компрессорных установок.

Ключевые слова: компрессорная установка, шум, кожух, звукоизоляция, звукопоглощающие материалы, вибродемпфирующие материалы, эффективность.

Overview of compressor units and materials for noise reduction

Drozdova L.F^{1}, Chebotareva E.Y.², Kudaev A.V.³*

¹Professor of the Department ‘Ecology and life safety’

²Undergraduate student of the Department ‘Ecology and life safety’

³Associate Professor of the Department ‘Ecology and life safety’

^{1,2,3}BSTU «VOENMEH» named after D.F. Ustinov, Saint-Petersburg, 1 Krasnoarmeyskaya, 1

Abstract

In this article the compressor units of domestic and foreign manufacturers are considered. Shows the range of throughputs and acoustic characteristics of compressor equipment examined. Noise reduction method is considered as fixed and mobile compressor units. The analysis of the materials used to increase the effectiveness of means for reducing noise of compressor units.

Key words: compressor unit, noise, enclosure, sound insulation, sound-absorbing materials, vibration-damping, effectiveness.

Введение

Одной из наиболее острых проблем настоящего времени является проблема защиты от шума. В крупных населенных пунктах с ростом числа жителей увеличивается количество источников шума. Повышенный шум – это вредный фактор, крайне негативно влияющий на человека в любом месте его пребывания. Нарушение нервной и сердечно-сосудистой деятельности, повышенное артериальное давление, снижение скорости усвоивания информации – вот неполный список негативных последствий, возникающих при воздействии на человека повышенного шума.

*E-mail:drozdovalf@yandex.ru (Дроздова Л.Ф.)

1. Современные компрессорные установки

Применяемые компрессорные станции, как передвижные, так и стационарные являются одним из основных источников шума, загрязняющих окружающую среду и создающих повышенный уровень шума на рабочих местах, что приводит к профессиональным заболеваниям обслуживающего персонала, а иногда и к аварийным ситуациям. На сегодняшний день компрессорное оборудование применяется в различных отраслях производства и промышленности: стройиндустрия, машиностроение, авиа- и судостроение, мебельное производство и др. Вырабатываемый ими сжатый воздух используется для осуществления различных операций: пескоструйная обработка, привод механизмов, устройство обдува и т.д. Исходя из этого, на многочисленных отечественных заводах разрабатываются и производятся компрессорные установки различной мощности, назначения, с разной себестоимостью, производительностью и соответственно уровнем шума (табл. 1).

Таблица 1
Отечественные компрессорные установки

Производитель	Выпускаемое оборудование	Марка	Производительность, м ³ /мин	Давление, бар	Уровень шума, дБА
ОАО Казанский завод компрессорного машиностроения «Казанькомпрессормаш», г. Казань	Компрессорное оборудование	32ГЦ2-63/4,5-41 УХЛ4	62	4,4	-
		Аэровик-55	7	1,0-13	-
		Аэровик-250	28,5	1,0-13	не более 77
ООО «Орелкомпрессормаш», г. Орел	Винтовые, поршневые и роторные компрессоры	ВВ-80/8	80	8	-
		ВВ-52/10С	52	11	75
		ВВП-10/7 У1	10	7	не более 80
		ПКС-7 АМ	7	7	80
ОАО Пензенский компрессорный завод «Пензкомпрессормаш», г. Пенза	Компрессорное оборудование	2ВВ-6/8М1	6	7,8	не более 78
		ДВК-315	37	12,7	-
		СА-8,4-202,5.01	7,6	4	-
АО «Цеприкон», г. Пенза	Компрессорные системы	RSW 18,5	3,69	5	71
		ZR 132	22	7,5	62
		7/41	4	7	98
АО Бежецкий завод «Автоспецоборудование», Пензенская область с. Бессоновка	Поршневые и винтовые компрессоры	K11	0,28	10,1	72
		K25M	0,83-0,5	6	-
		ACO-BK22	3,5	8,1	76
ООО Ростовский компрессорный завод «РКЗ», г. Ростов	Винтовые и поршневые компрессоры	Airrus 7	1,1	8	до 70
		Airrus 55	8,5	10	до 70
		MIG 55	9,0	8	-

Производитель	Выпускаемое оборудование	Марка	Производительность, м ³ /мин	Давление, бар	Уровень шума, дБА
ООО Арсенал Машиностроение «АРСМАШ», г. Санкт-Петербург	Винтовые компрессорные установки	ЗИФ-ПВ-5/1,0	5	10	не более 96
		ЗИФ-СВЭ 3,5/0,7ШР	3,5	7	не более 68
		ЗИФ-СВЭ 16/0,7ШМ	16	7	не более 74
ООО Санкт-Петербургский компрессорный завод «Илком», г. Санкт- Петербург	Винтовые и поршневые компрессоры	ESM7	7,5	1,30	70
		VS 40	1,38-5,28	13	-
		ESM29	4,82	10	69
ООО «Тегас», г. Санкт-Петербург	Компрессоры и компрессорное оборудование	ВП3-20/9	7,6	21,5	-
		505ВП-20/18	20	18,6	-
ООО Челябинский компрессорный завод «ЧКЗ», г. Челябинск	Компрессорное оборудование	ДЭН-7,5Ш	1,05	7	70
		ДЭН-90Ш	13,8	7,5	80
		КВ-12/10	12	10	не более 80

Тем не менее, доля российского рынка компрессорного оборудования принадлежит и иностранным производителям. Рассмотрим основные зарубежные предприятия, поставляющие этот вид техники в РФ (табл. 2).

Таблица 2
Зарубежные производители компрессорных установок

Производитель, страна	Выпускаемое оборудование	Марка	Производительность м ³ /мин	Давление, бар	Уровень шума, дБА
«Ремеза», Беларусь	Винтовые компрессорные станции	ДК-6/7	6	7	85
		ДК-10/10	10	10	85
		ДК-12/7	12	7	85
«Irmair», Германия	Винтовые компрессоры	CPS 90	2,5	7	-
		IRMAIR 11.0	11,1	7	99
		CPS 850	23,9	7	83
«Kraftmann», Германия	Компрессорное оборудование	Taurus 45	6,96	8	-
		Taurus 450 W	64,10	10	-
		Sirius 315 W	48	10	77
«Berg compressors», Германия	Винтовые компрессоры	BK-22P	3,8	7	68

Производитель, страна	Выпускаемое оборудование	Марка	Производительность м ³ /мин	Давление, бар	Уровень шума, дБА
		BK-37P	5,6	10	68
		BK-5.5PO-500	0,55	12	62
«Rotair», Италия	Поршневые и винтовые компрессоры	MDVN 21 AK	2,1	7	-
		MDVS 255 P8	25,3	8	-
		E 02 en-9,5	0,2	9,5	-
«AVAC Group», Италия	Поршневые и винтовые компрессоры	Montecarlo O20P	0,23	8	97
		V 34/50 CM3	0,33	10	73
		GENESIS 22 - 10/500	3	10	74
«Fini», Италия	Винтовое оборудование	Tera 125-SV	16,9	10	76
		MC 5008	5,7	8	70
		CUBE SD 5-TA	0,46	10	63
«Ingersoll Rand», США	Компрессорное оборудование	N-5,5-8	0,88	8	68
		IRN160K-7-OF	12,8	7	72
		IRN37K-8-OF	5,0	8,1	74
«Sullair», США	Винтовые компрессоры	300HH	8,5	14	-
		S38	2	7	не более 76
		375H	10,6	10	не более 76
«Atlas Copco», Швеция	Поршневые и винтовые компрессоры	LE 20-10	1,90	10	73
		ZT 22 VSD	1,2-3,4	7	69
		LFx 2.0	9,1	10	62
«Denyo», Япония	Винтовые компрессоры	DENYO DIS-70LB-C	2	6,9	64,5
		DENYO DIS-90SB	2,5	6,9	67
		DENYO DIS-800ESS	52,4	6,9	72
«Airman», Япония	Компрессорное оборудование	PDS70S	2,0	6,8	70
		PDS390S	11,0	6,8	-
		PDS130S	3,5	6,8	-
«Hitachi», Япония	Компрессорные установки	7.5VA (R)	0,82-1,03	4,5-8,3	53
		100VA	4,5-7	14,48-18	72

Анализ вышеприведенных таблиц (1 и 2) показывает, что диапазон производительностей компрессорных установок колеблется от 0,2 до 80 м³/мин. Часть компрессорных установок выпускается в шумозаглушенном исполнении, и их уровень звука достигает 62 дБА, а в не шумозаглушенных уровня звука колеблется от 80 до 98 дБА. При

условии использования большинства выше указанных компрессорных установок на площадках, непосредственно прилегающих к жилым домам, зданиям поликлиник, домов отдыха, школ и других учебных заведений, на открытых площадках и в производственных помещениях, требуются разработки мероприятий по снижению шума и применения средств шумоглушения.

2. Применяемые материалы для снижения шума

Шум компрессорных установок зависит от многих факторов, в том числе: вида привода: двигатель внутреннего сгорания (дизель или карбюраторный) или электродвигатель;

типа применяемого компрессора: винтовой, поршневой, мембранный, лопастной, ротационный;

– режима работы;

производительности;

наличия шумозаглашающих средств [1].

Для снижения шума как стационарных, так и передвижных компрессорных установок в качестве основных средств защиты от шума применяются звукоизолирующие кожухи, полностью или частично закрывающие шумные агрегаты. Существенное преимущество этого способа – возможность снижения шума на любую требуемую величину как на рабочих местах, так и в окружающей среде. При выборе конструкций шумозащитных устройств, в частности кожуха, очень важным является правильный выбор конструкционных материалов. В качестве основных материалов для них могут использоваться звукоизолирующие, звукопоглощающие и вибродемпфирующие материалы.

2.1. Звукоизолирующие материалы

В качестве основного конструкционного материала для ограждающих поверхностей кожуха применяется металлический лист, в основном стальной (толщиной от 0,5 до 3 мм), иногда предпочтение отдается алюминиевым сплавам, легко обрабатываемым, имеющим малый удельный вес и хорошие тепло- и звукоотражающие свойства.

Целесообразно применение в конструкции кожуха и стеклопластика. Кожухи, изготавливаемые из стеклопластика, в основном изготавливаются одностенными и могут иметь любую пространственную конфигурацию, обладая высокими звукоизолирующими свойствами, кроме того, стеклопластик — коррозионно стойкий материал. Применение стеклопластика также снижает металлоемкость кожуха в среднем на 30-35%, не ухудшая при этом его эксплуатационные качества.

Могут применяться и конструкционные материалы типа «сэндвич», представляющие собой материал, наружный слой которого выполнен из металла, пластмассы, стеклопластика, а внутренний — из вибропоглощающего материала.

Звукоизолирующая способность материалов для ограждающих конструкций оценивается значением индекса звукоизоляции, дБ (табл. 3).

Таблица 3
Звукоизолирующие материалы

Материал	Толщина материала, мм	Индекс звукоизоляции R_w , дБ
Сталь	0,7	25
	1	28

Материал	Толщина материала, мм	Индекс звукоизоляции R_w, дБ
	2	32
	3	35
	5	35
Алюминиево-магниевый Сплав	0,8	18
	1	20
	2	26
	4	29
Стеклопластик	2	25
	3	27
	5	30
Фанера	3	23
	4	24
	5	25
Органическое стекло	3	22
	5	27
	10	33

Как видно из таблицы 3, наиболее высокую звукоизолирующую способность на всех толщинах имеет стальной лист (от 25 до 35 дБ). Увеличение толщины стального листа от 3 до 5 мм не изменяет его звукоизолирующую способность. Диапазон индекса звукоизоляции стеклопластика, оргстекла и фанеры колебается в пределах от 22 до 30 дБ, он зависит от толщины и имеет более низкие значения относительно стального листа одинаковой толщины.

2.2 Звукоглощающие материалы (ЗПМ)

Звукоглощающая облицовка поверхностей кожуха является дополнительным средством увеличения его акустической эффективности, в особенности на высоких частотах, когда в воздушном пространстве кожуха укладывается целое число половин длин волн звука и образуется резонанс стоячей волны. Такие резонансы можно устранить при помощи звукоглощающих материалов [2].

Эффективность использования звукоглощающих материалов тесно связана с толщиной основного материала кожуха и тем, насколько кожух является эффективным с точки зрения герметичности. Увеличение толщины звукоглощающего материала в основном проявляется в области низких и средних частот для кожухов с высокой степенью изоляции.

ЗПМ имеют волокнистое, зернистое или ячеистое строение.

К волокнистым материалам относятся:

- маты прошивные теплоизоляционные из базальтового холста - фольгированные или облицованные стеклотканью;
- маты из стеклянных волокон, изготовленные по клеевой или прошивной технологии с облицовкой стеклотканью.

К вспененным материалам относятся:

- напыляемый пенополиэтилен различной плотности;
- пенополиуретан эластичный трудносгораемый на основе полиэфира.

В конструкциях кожухов могут найти применение такие материалы как звукоглощающие базальтовые маты (БЗМ), представляющие собой изделия, изготовленные из рыхлого слоя холстов базальтовых супертонких волокон в оболочке из стеклянной, базальтовой или кремнеземной ткани и акустические

теплозвукоизоляционные и звукопоглощающие маты марки ATM, представляющие собой прошитые холсты из супертонкого базальтового волокна.

Звукопоглощающий материал на основе пенополиуретана марки K-Fonik авторами был рассмотрен в двух вариантах.

материал с развитой поверхностью волнообразной формы с шероховатой текстурой. Сочетание разбитых пор на поверхности материала, закрытых пор внутри и волнообразной поверхности, позволяет широко использовать материал в качестве поглощающего и рассеивающего звуковую энергию;

материал с выпуклой пирамидальной поверхностью.

Наиболее значимым параметром для звукопоглощения является коэффициент звукопоглощения. В таблице 4 представлены коэффициенты звукопоглощения различных материалов.

Таблица 4

Коэффициенты звукопоглощения различных материалов

Материал	Толщина, мм	Среднегеометрическая частота, Гц					
		125	250	500	1000	2000	4000
Стекловолокно	25	0,07	0,23	0,48	0,83	0,88	0,80
	50	0,20	0,55	0,89	0,97	0,83	0,79
	100	0,39	0,91	0,99	0,97	0,94	0,89
Войлок	25	0,06	0,31	0,80	0,88	0,87	0,87
	50	0,05	0,07	0,29	0,63	0,83	0,87
Минеральные вата	50	0,20	0,45	0,90	1,00	1,00	0,95
	100	0,50	0,75	1,00	1,00	0,95	1,00
Пенополиуретан с открытыми порами	20	0,23	0,16	0,25	0,65	0,75	0,81
	50	0,16	0,24	0,67	0,81	0,74	0,80
Пенополиуретан с выпуклой пирамидальной поверхностью	20	0,13	0,24	0,43	0,62	0,66	0,68
	50	0,15	0,39	0,78	0,79	0,73	0,73
Маты БЗМ	30	0,11	0,17	0,50	0,88	0,83	0,83
	50	0,25	0,45	0,61	0,76	0,87	0,87
	100	0,52	0,86	0,86	0,81	0,86	0,86
Маты ATM	15	0,08	0,10	0,40	0,77	0,62	0,62

2.3. Вибродемптирующие покрытия (ВДП)

Увеличение эффективности кожуха достигается также при применении вибродемптирующего покрытия в сочетании со звукопоглощающим, что увеличивает коэффициент потерь стенки кожуха и снижает влияние собственных частот ограждающих конструкций кожуха на его звукоизолирующие свойства за счет сдвига собственной резонансной частоты кожуха в область низких частот. Основное назначение вибродемптирующих покрытий – снижение интенсивности звукоизлучения

металлических ограждающих конструкций. По характеру деформации, определяющей поглощение вибрации, все ВДП можно разбить на 4 группы [3]:

- 1) жесткие;
- 2) армированные;
- 3) мягкие;
- 4) комбинированные.

Вибродемпфирующие покрытия могут применяться в виде мастик, листовых прокладок и их сочетаний.

Мягкие ВДП мастичного типа состоят из слоя вязкоупругого материала с малым динамическим модулем сдвига и (или) включением в мастичный массив воздушных полостей, повышающих его сжимаемость.

В настоящее время наиболее широкое применение находят вибродемпфирующие материалы таких марок как «Адем», «Nowelle®», «Випоком», «Мавип» и др.

Вибропоглощающая (вибродемпфирующая) мастика «Адем» представляет собой однокомпонентную высоковязкую пасту, предназначенную для получения вибродемпфирующих покрытий для снижения вибраций и обусловленного ими шума.

Вибродемпфирующие эластомеры «Nowelle®» изготавливаются из компаундов (резиновых смесей) на основе синтетических каучуков и хлористого винила по технологическому процессу высокотемпературной вулканизации при избыточном давлении. Эластомеры Nowelle® не содержат асбестовые, стеклянные и другие волокна, что сводит выбросы вредных веществ при эксплуатации продукта практически до нуля.

Полимерная вибропоглощающая мастика «Мавип» предназначена для снижения шума и вибрации конструкций и оборудования, а также для повышения их долговечности и представляет собой однородную пасту тёмно-серого цвета. Покрытие является нетоксичным и невоспламеняющимся, медленно распространяет пламя по поверхности и не выделяет чрезмерное количество дыма.

«Комби Стандарт БМН» вибродемпфирующий материал со сдвоенной структурой из слоев мастик (бутилкаучуковой и битумно-полимерной) с лицевым слоем из нетканого полизэфирного материала. Благодаря сдвоенному мастиочно-битумному составу материал характеризуется высоким эффектом по снижению шума.

Мастика «Випоком» содержит эпоксидную основу и представляет собой густую однородную массу серовато-черного цвета.

Нанесение мастики увеличивает звукоизоляцию стенки кожуха на средних и низких частотах на 1-2 дБ, а на высоких частотах от 3 до 8 дБ.

Армированные ВДП представляют собой диссипативный слой вязкоупругого материала, сверху которого наносится тонкий (армирующий) слой металла. Так, например, у вибродемпфирующего мультиполимерного мастичного материала «SGM Броня М2» и вибродемпфирующего битумно-мастичного материала «Биталюм Люкс (СГМ-вибро (SGM))» в качестве лицевого слоя используется алюминиевая фольга толщиной 100 мкм.

В качестве листовых прокладок применяют битумные листовые материалы, на одну сторону которых наносится липкий или термореактивный клей или жесткие ВДП, представляющие собой слой жесткой пластмассы, наносимой на вибрирующую конструкцию.

Как правило, толщина вибродемпфирующего покрытия выбирается равной 2-3 толщины основного конструкционного материала.

Основным параметром, характеризующим эффективность ВДП, является коэффициент механических потерь, приведенный в таблице 5.

Таблица 5
Виброремпфирующие материалы

Виброремпфирующие материалы	Плотность покрытия, кг/м ³	Коэффициент механических потерь
Адем – 1 ДФК	не более 1350	0,18
Nowelle® mod 1	1300	0,25-0,31
Nowelle® mod 3	2200	0,24
Випоком	1500	0,18
Мавип	1210	0,10
SGM Броня М2	3750	0,45
Биталюм Люкс (СГМ-вибро (SGM))	3300	0,32
Комби Стандарт БМН	4100	0,40

Анализ данных, приведенных в Табл. 5, показывает, что с увеличением плотности большинства ВДП коэффициент механических потерь растет. Это позволяет сделать вывод о возможном увеличении и эффективности кожуха. Но при этом следует отметить, что применение виброремпфирующего покрытия большой плотности повлечет за собой увеличение массы кожуха, что часто является неприемлемым для передвижных компрессорных установок.

Для снижения массы ВДП, за счет уменьшения толщины как диссипативного, так и армированного слоя, и увеличения звукопоглощающей эффективности могут применяться вибропоглощающие покрытия с диссипативным слоем из синтетического материала на основе поливинилацетата (полимерной ВПС плёнки). Из результатов работы [4] видно, что на резонансных частотах изгибных колебаний уровни входной вибровозбудимости всех пластин с вибропоглощающими покрытиями (ВПП) много меньше соответствующих уровней, зарегистрированных при испытаниях пластины без ВПП. Нанесение на одну из поверхностей стальной пластины ВПП с толщиной диссипативного слоя 0,2 мм уменьшает максимальные уровни её вибрации в среднем на ~18 дБ (частоты до ~500 Гц) и ~25 дБ (частоты больше ~500 Гц).

Заключение

Проведенный анализ акустических характеристик компрессорного оборудования, выпускаемого в настоящее время отечественными и зарубежными производителями, позволяет сделать вывод, что большая часть компрессорных установок в не шумозаглушенном исполнении требует разработки мероприятий по снижению шума и применению средств шумозащиты. Для снижения шума от компрессорного оборудования в качестве одного из основных средств их шумозащиты применяют звукоизолирующие кожухи. Авторами приведены характеристики ряда звукоизолирующих, звукопоглощающих и виброремпфирующих материалов, позволяющих выбрать их оптимальное сочетание для разработки средств шумозащиты компрессорных установок требуемой акустической эффективности.

Список литературы

1. . Дроздова Л.Ф., Кудаев А.В. Оценка и анализ шума компрессорных станций. NOISE Theory and Practice. Vol. 2, №3, 2016. с. 30-37.

2. Техническая акустика транспортных машин: Справочник/ Л.Г. Балишанская, Л.Ф. Дроздова, Н.И. Иванов и др.; Под ред. Н.И. Иванова. – СПб.: Политехника, 1992. – 365 с.
3. Безопасность технологических процессов и производств: учебник/ под ред. Н.И. Иванова, И.М. Фадина и Л.Ф. Дроздовой Логос, 2016. 608 с.
4. Кирпичников В.Ю., Сятковский А.И. Уменьшение вибрации конструкций тонкими армированными покрытиями на основе полимерной ВПС пленки // Сборник докладов VI Всероссийской научно-практической конференции с международным участием «Защита от повышенного шума и вибрации» под редакцией Н.И. Иванова. Санкт-Петербург, 2017. с. 382-388.

УДК 534-16

OECD 01.03.UB

Проблема оценки вибрационных полей поверхностных волн Рэлея, создаваемых высокоскоростными железнодорожными линиями

Рассошенко Ю.С.^{1*}, Иванов Н.И.², Крылов В.В.³

¹ К.т.н., старший научный сотрудник, старший преподаватель кафедры «Экология и безопасность жизнедеятельности», БГТУ «ВОЕНМЕХ» им. Д.Ф. Устинова

² Д.т.н., профессор, заведующий кафедрой «Экология и безопасность жизнедеятельности», БГТУ «ВОЕНМЕХ» им. Д.Ф. Устинова

³ Д. ф.-м.н., профессор, Кафедра авиационной и автомобильной техники, Университет Лондон

^{1,2}РФ, г. Санкт-Петербург, ул. 1-я Красноармейская. д.1

³ Великобритания, LE11 3TU, Лестершир, Лондон

Аннотация

В статье рассмотрены типы волн вибрации, создаваемых поездами, обозначены основные характеристики каждого из них. Описан процесс образования и распространения волн Рэлея с указанием основных проблем по их снижению и возможностью резкого увеличения вследствие достижения поездом сопоставимой скорости движения. По результатам обнародованных исследований систематизированы факторы, влияющие на уровни вибраций, сделаны выводы об отсутствии теоретического исходного спектра, применимого как эталонного для предсказания уровней вибрации. Описаны методы прогнозирования вибрационного воздействия в Российской Федерации и зарубежных странах, а также приведен краткий перечень виброзащитных мероприятий, практикуемых на действующих железнодорожных дорогах.

Ключевые слова: вибрация, высокоскоростной поезд, волны Рэлея, методика, оценка, прогнозирование.

The problem of estimating the vibrational fields of Rayleigh surface waves produced by high-speed railways

*Rassoshenko I.S.*¹, Ivanov N.I.², Krylov V.V.³*

¹PhD, Senior Researcher, Senior Lecturer, Department 'Ecology and life safety' BSTU 'VOENMEH' named after D.F. Ustinov

²DSc, Professor, Head of the Department 'Ecology and life safety' BSTU 'VOENMEH' named after D.F. Ustinov

³DSc, Professor, Department of Aeronautical and Automotive Engineering, Loughborough University

^{1,2}Russia, St. Petersburg, 1-st Krasnoarmeyskaya str., h.1

³UK, LE11 3TU, Leicestershire, Loughborough

Abstract

The article examines the types of vibration waves generated by trains; major characteristics of each of them are indicated. The process of generation and propagation of Rayleigh waves is described stating the main issues of their reduction and possibility of a sharp increase when the train reaches a commensurate speed. According to the findings of the published studies, the factors affecting vibration levels are systematized, conclusions are made about the absence of a theoretical initial spectrum applicable as a reference for vibration level prediction. Methods of vibration impact prediction in the Russian Federation and foreign countries are described; vibration protection measures applied in practice on existing railways are also briefly listed.

Key words: vibration, high-speed train, Rayleigh waves, method, estimating, prediction.

*E-mail: iulia.boyko@gmail.com (Рассошенко Ю.С.)

Введение

Высокоскоростной железнодорожный транспорт в современном мире развивается крайне быстро, создавая конкуренцию авиационному транспорту, и соединяя не только города внутри одного государства, но и страны между собой. Так, в Китае с 2010 г. эксплуатируются поезда серии CRH со скоростью движения до 350 км/ч; во Франции поезда серии TGV могут достигать 320 км/ч, при этом в 2007 г. на экспериментальном участке TGV POS установил рекорд скорости [1] для поездов в 574 км/ч. Из-за высоких объемов транспортных потоков и стоимости автомобильного транспорта, в Японии основной акцент сделан на железные дороги, в том числе известные во всем мире высокоскоростные поезда Shinkansen. В России в настоящее время проектируется первая высокоскоростная железнодорожная линия, которая будет соединять г. Москва и г. Казань с эксплуатационной скоростью 360 км/ч.

Однако такое стремительное развитие высоких скоростей движения вызывает повышение сопутствующих воздействий физических факторов на прилегающие территории. Так, максимальные уровни звука на расстоянии 25 м от оси железнодорожного пути могут достигать 95 дБА [2], что на 25 дБА выше норм в дневное время суток в Российской Федерации согласно СН 2.2.4/2.1.8.562-96 [3] и Японии согласно Technical Regulatory Standards on Japanese Railways [4], на 15 дБА выше норм в Испании согласно 37/2003 Noise Law [5]. Не смотря на то, что во многих европейских странах максимальный уровень звука не нормируется, превышения по эквивалентным уровням в зависимости от интенсивности движения также могут достигать 20 дБА и более.

С оценкой вибрации вопрос является не менее острым, в первую очередь в связи со сложностью ее оценки и прогнозирования из-за влияния множества факторов, в числе которых тип верхнего строения пути, вид и температура грунта, масса и скорость движения поезда, глубина залегания подземных вод и др. В России нормирование вибрации осуществляется по СН 2.2.4/2.1.8.566-96 [6], однако, следует отметить, что данные санитарные нормы регламентируют уровни виброскорости и виброускорения только внутри нормируемых объектов (жилых помещениях, палатах больниц, санаториев, административно-управленческих помещениях и др.), и не предъявляют требования к уровням вибрации на прилегающей селитебной территории, т.е. на площадках отдыха, а также на территории перспективной жилой застройки.

В РФ нормируемыми параметрами вибрации согласно СН 2.2.4/2.1.8.566-96 [6] являются при частотном (спектральном) анализе – средние квадратические значения виброскорости и виброускорения или их логарифмические уровни, измеряемые в 1/1 и 1/3 октавных полосах частот, при интегральной оценке по частоте – корректированное значение виброскорости и виброускорения или их логарифмические уровни, измеряемые с помощью корректирующих фильтров.

Согласно СН 2.2.4/2.1.8.566-96 [6] допустимый уровень вибрации в жилых и общественных зданиях – это уровень фактора, который не вызывает у человека значительного беспокойства и существенных изменений показателей функционального состояния систем и анализаторов, чувствительных к вибрационному воздействию. Корректированный уровень вибрации представляет собой одночисловую характеристику вибрации, а эквивалентный (по энергии) корректированный уровень – корректированный уровень постоянной во времени вибрации [6].

Общие принципы оценки вибраций в европейских странах представлены в ISO 2631 [7, 8], в Британии BS 6472 [9], BS 6841 [10], в Германии DIN 4150–2 [11],

DIN 45669–1 [12]. Так, для оценки вибрации в стандартах зарубежных стран применяются такие показатели как пиковое значение выброскорости, среднеквадратичное значение корректированной выброскорости с использованием иных функций коррекции, доза вибрации, параметры статистического распределения значений корректированной выброскорости при выброускорении.

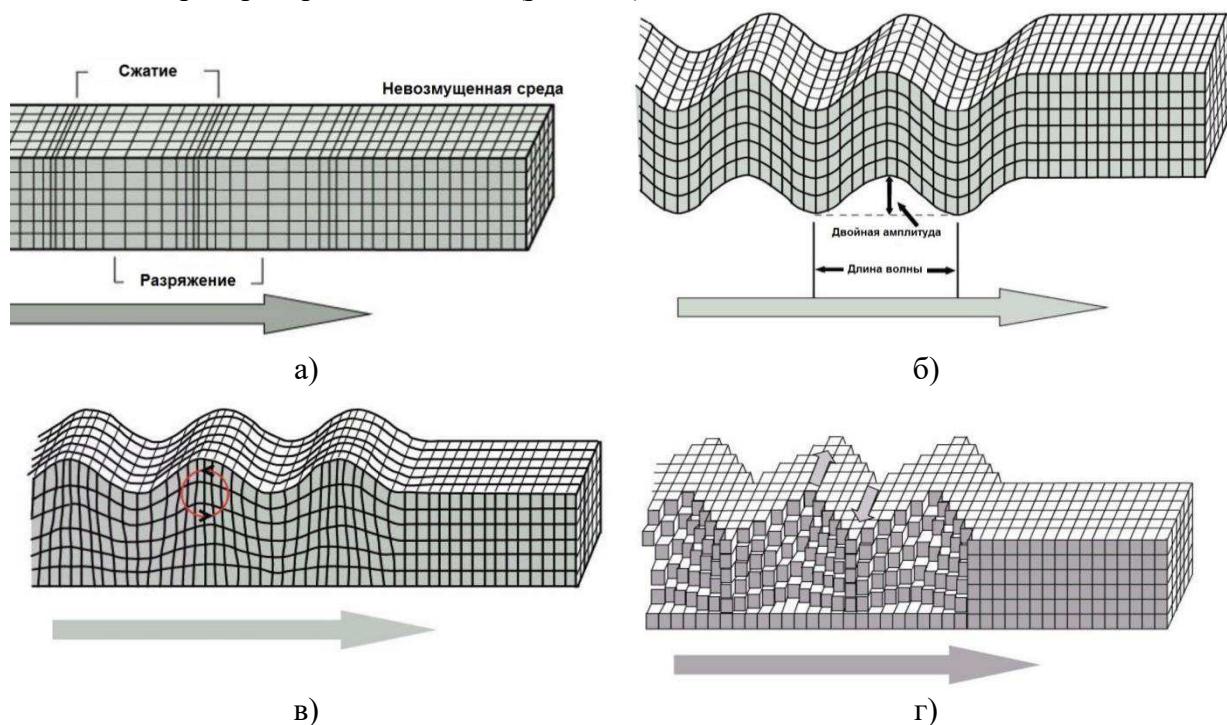
В работе [13] также выдвигались предложения по дополнительному нормированию в РФ максимальных корректированных значений выброскорости или выброускорения или их логарифмических уровней, но в настоящее время данные характеристики в перечень нормируемых параметров в РФ не включены.

1. Образование и распространение вибрации при движении поездов

Изучением вибрации от поездов, в том числе скоростных, занимались многие исследователи (см. например [14-26]).

Как известно, выделяют четыре основных типа волн вибрации в грунтах [14, 15]:

- волны сжатия (продольные волны), с движением частиц в виде колебаний в направлении распространения волны (рис. 1, а);
- волны сдвига (поперечные волны), с движением частиц в виде колебаний в плоскости, перпендикулярной к направлению распространения волны (рис. 1, б);
- волны Рэлея (поверхностные волны), с эллиптическим движением частиц в вертикальной плоскости, проходящей по направлению распространения волны и затухающие с глубиной (рис. 1, в);
- волны Лава (горизонтально поляризованные поверхностные волны распространяющиеся в слоистой среде), с движением частиц в виде колебаний в плоскости, перпендикулярной к направлению распространения волны (рис. 1, г).



а) волны сжатия (продольные волны), б) волны сдвига (поперечные волны)

в) волны Рэлея, г) волны Лава

Rис.1. Виды волн вибрации в грунте [15]

При рассмотрении идеального случая, когда грунт является условно однородной эластичной средой, продольные и поперечные волны распространяются во всех направлениях и затухают за счет пройденного расстояния и поглощающих свойств грунта. Волны Рэлея затухают за счет пройденного расстояния в меньшей степени чем продольные и поперечные (объемные) волны, т.к. их амплитуды обратно пропорциональны квадратному корню из пройденного расстояния, в то время как для объемных волн амплитуды обратно пропорциональны пройденному расстоянию.

Волны Рэлея являются самыми медленными волнами, однако могут содержать большую часть передаваемой энергии, чем другие волны. Скорость их распространения определяется упругостью и плотностью грунта и находится в пределах от 50 до 300 м/с (до 130 м/с – для мягких почв, до 300 м/с – для твердых почв). При этом мягкие почвы могут быть укреплены за счет свай и насыпей из более твердых материалов. Результаты исследований [16] показывают, что наклонные поверхности балласта и насыпи вместе со сваями создают эффект ловушки, с помощью которого вызванные поездом волны, особенно высокочастотные, падающие на наклонные поверхности, оказываются в «ловушке» и рассеиваются в системе «насыпь-свайное основание», таким образом значительно уменьшая амплитуды вибрации за пределами насыпи. Другим существенным фактором является то, что высокие частоты затухают гораздо быстрее, чем низкие, так что низкие частоты доминируют в спектре на расстоянии более нескольких метров от источника.

В реальных же условиях грунт представлен неоднородным составом, в котором могут выделяться отдельные слои различной плотности, и тогда вибрационные волны будут распространяться по границе определенного слоя (волны Стоунли) и преобразовываться при переходе из одного типа волн в другие.

Также, как было отмечено ранее, вибрация зависит от массы поезда, скорости движения, геологических условий, устройства верхнего строения пути (типа и материала шпал, материала балластного слоя, толщины песчаной подушки) и др.

В работе [15], являющейся одним из отчетов Шведского национального испытательного и научно-исследовательского института, были выделены дефекты колеса, приводящие к нестабильному движению транспортного средства (подпрыгивание, раскачивание, бросание и колебания вокруг вертикальной оси) и влияющие на базовое поле напряжений под поездом: эксцентричное колесо, несбалансированное колесо, колесо с выбоинами. Более того, статический вес поезда обеспечивает основное поле напряжений, создаваемое поездом, в то время как неподпрессоренные массы и характеристики подвески подвижного состава, связанные с их скоростью, будут определять, в какой степени характеристики путей и подвижного состава усилият это поле напряжений [15].

Наглядно оценить влияние исходных параметров на уровни вибрации можно по рисунку 2. Так, одном из американских документов [17], посвященных оценке уровней шума и вибрации при движении высокоскоростных поездов, и разработанном при поддержке Департамента транспорта США, в качестве примера был представлен спектральный состав вибрации различных поездов [17]: TGV при скорости движения 290 км/ч (Франция), X2000 при скорости движения 185 км/ч (Швеция), Pendolino при скорости движения 195 км/ч (Италия). Как видно из рисунка 2 даже при небольшой разности в скорости (10 км/ч между поездами X2000 и Pendolino), разница в уровнях может достигать 15 дБ, и в то же время на некоторых частотах уровни вибрации при разности скорости движения в 100 км/ч на некоторых частотах могут быть сопоставимы, что объясняется различиями исходных параметров при проведении

экспериментов (модели и массы поезда, наличия дефектов колесных пар, прямолинейности участка, геологических условий, состояния железнодорожного пути и т.д.). Более того, например, износ или неровности колесной пары или волнообразный износ рельса могут увеличивать уровни вибрации до 10 дБ, в то время как безбалластная конструкция пути – уменьшать ее на 3 дБ. Таким образом, никакой спектр не должен приниматься за «типовочный» уровень вибрации, производимый поездами.

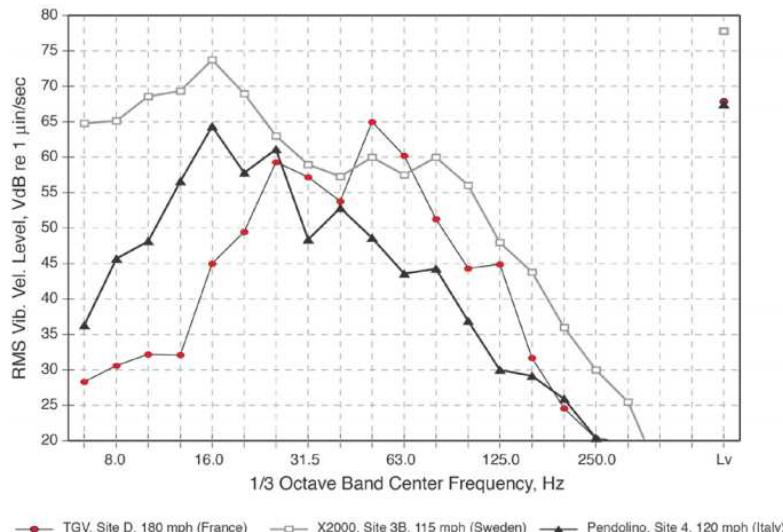


Рис. 2. Сравнение третьоктавных спектров вибрации различных поездов на расстоянии 30,5 м от оси железнодорожного пути [17]

Воздействие вибрации становится особенно заметным, когда скорость поезда достигает «критического» значения и превышает волновую скорость Рэлея в опорном грунте, в результате чего может произойти резкий рост вибрации грунта, как следствие резонансно-подобного явления, называемый «вибрационный удар», теоретически предсказанный соавтором статьи Крыловым В.В. в 1994-1996 гг. При этом «критическая» скорость может регулироваться высотой насыпи. Исследовательская работа [18] по изучению вибрации, проведенная на китайской скоростной железной дороге Пекин → Шанхай с тестовыми скоростями поездов CRH380AL и CRH380BL 300-425 км/ч, также подтвердила наличие пиковых значений вибрации на безбалластном участке железной дороги, сосредоточенных в основном в диапазоне 20-60 Гц.

Добавочное усиление вибрации при наличии вибрационного удара может происходить при наличии изгиба железнодорожного пути [19, 21].

2. Методы прогнозирования и снижения вибрации при движении поездов

Согласно ГОСТ Р ИСО 14837-2007 (ISO 14837-1:2005) [20] все прогностические модели можно разделить на параметрические, эмпирические (локальные и глобальные) и полуэмпирические. Точность прогностической модели зависит от полноты учета всех влияющих факторов и комплектности используемых в расчете параметров.

В настоящее время в РФ ведется разработка СП «Защита от вибрации железнодорожных линий. Правила проектирования», проект которого доступен на официальном сайте Росстандарта РФ (общественные слушания проходили в июне-августе 2018 г., в соответствии с пунктом 5 Постановления Правительства Российской Федерации №624 от 1 июля 2016 г «Об утверждении Правил разработки, утверждения,

опубликования, изменения и отмены сводов правил»), где предлагаются две прогностические методики: оценочная и детальная. Оценочная методика приводит формулу для вычисления выброскорости, исходя из измеренного (эмпирическая модель) или рассчитанного (параметрическая модель) октавного спектра вертикальной составляющей скорости колебаний поверхности грунта и поправочных коэффициентов, учитывающих количество одновременно двигающихся поездов; скорость движения поезда; износ пути, колесных пар; наличие стрелочных переводов; наличие систем виброизоляции; вид фундамента; резонанс ограждающих поверхностей помещений; изменение колебаний по высоте. Детальная методика основывается на разработке конкретной математической модели, путем применения метода конечных элементов, метода граничных элементов или их совмещения.

Аналогичный подход используется в американском документе [17], где представлены два способа расчета вибрации: предварительный (ориентировочный) и детальный.

В предварительной (ориентировочной) модели [17] выделяются два типа поездов: маглев и колесные подвижные составы. В модели представлены поправки на ряд факторов: скорость, тип колес (для колесных поездов), износ рельс (для колесных поездов), тип верхнего строения пути, наличие подбалластных матов, геологические условия, конструкция и этажность строения, внутри которого оценивается вибрация, Опорной скоростью поездов являются 240 км/ч, отклонения от которых дают поправку от +6 дБ до -6 дБ для колесных поездов и +14 дБ до -10 дБ при скорости движения поезда 120 км/ч и 480 км/ч соответственно.

Детальный метод [17] также направлен на изучение и исследование максимального количества исходных данных и состоит из трех этапов: обследование существующих вибраций, прогнозирование будущих вибраций и их воздействия, разработка виброзащитных мероприятий.

При разработке собственных прогностических моделей соавтор статьи Крылов В.В. использовал метод функций Грина в своих работах [21-23]. Решение было основано на положениях: поезд аппроксимирован набором нагрузок постоянной величины, движущихся по рельсам, представленных как последовательность изменяющихся во времени эквивалентных сосредоточенных сил, направленных вертикально вниз в полупространство. Вертикальная скорость перемещения поверхности, вызванная эквивалентной силой, была найдена с помощью функции Грина, а поле вибрации, создаваемое движущимся поездом, было рассчитано с помощью наложения полей, создаваемых каждой эквивалентной силой. Описание результатов расчета вибрации методами конечных и граничных элементов различных размеров, а также сравнение с методом Крылова В.В. представлено в статье Pham-Ngoc Thach, Han-Long Liu и Gang-Qiang Kong [16].

Отдельными малоисследованными вопросами являются процессы шумообразования при прохождении высокоскоростного поезда в туннелях и на эстакадах.

Методы борьбы с вибрацией зависят в первую очередь от преобладающего механизма возбуждения. Так, может применяться устройство траншей или «подземных экранов» между защищаемым объектом и железнодорожными путями (рис. 3) [24-26], эффект которых зависит от частоты вибрации и параметров сооружения/ сооружений (глубина, ширина, материал заполнения). Согласно проведенным исследованиям эффективность данного мероприятия может достигать до 10 дБ на высоких частотах [14].

Другими методами снижения вибрации являются применение механизмов, препятствующих распространению волн путем придания жесткости мягкому грунту, и

механизмов, повышающих жесткость основания железной дороги, что особенно актуально для высокоскоростных железных дорог [14].

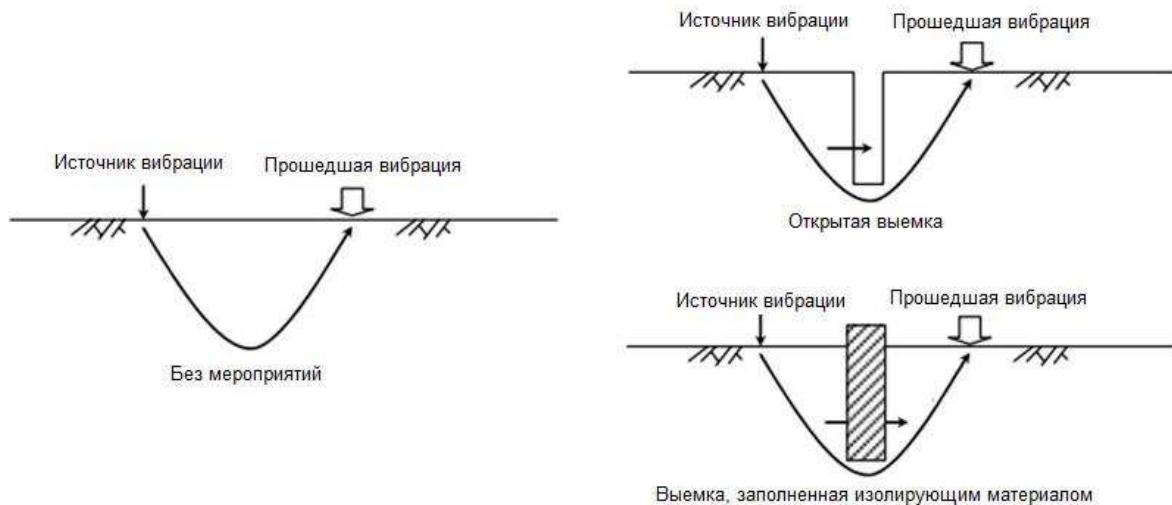


Рис. 3. Устройство виброизолирующих траншей [26]

Заключение

Прогнозирование вибрации на прилегающей к железным дорогам, в частности и в особенности, высокоскоростным, селитебной территории, является крайне важным, как для соблюдения санитарно-гигиенических норм внутри жилых помещений, так и для оценки уровней воздействия и обеспечения целостности конструкций близлежащих зданий и сооружений. Сложность оценки вибрации, в большей степени волн Рэлея, вызванная влиянием множества факторов, индивидуальных для каждого конкретного рассматриваемого случая, не позволяет разработать типовую модель для расчета вибрации. Должны учитываться тип грунта, тип подвижного состава, верхнее строение пути, скорость движения поезда, повороты железной дороги и другие факторы для проведения корректной оценки вибрационных полей. Более того, крайне важно учитывать явления вибрационного удара на высоких скоростях движения поезда, особенно в мягких грунтах. Таким образом, обнародованные исследования по изучению образования и распространения волн Рэлея при движении высокоскоростных поездов не могут быть напрямую использованы при прогнозировании уровней вибрации при проектировании новых железных дорог без предварительной адаптации под конкретные условия, как минимум путем проведения лабораторных исследований грунта и особенностей подвижного состава.

Литература

1. Fernando Puent. Francia acelera hasta los 574 Km/h. Интернет-ресурс: https://elpais.com/tecnologia/2007/04/03/actualidad/117558881_850215.html/
Режим доступа: свободный. Дата посещения – 01.11.2018.
2. The problem of high-speed railway prediction and reduction/ Ivanov N.I., Boiko I.S., Shashurin A.E/ (2017) Procedia Engineering, 189, pp. 539-546. / Transportation Geotechnics and Geoecology, TGG 2017, 17-19 May 2017, Saint Petersburg, Russia
3. СН 2.2.4/2.1.8.562-96 «Шум на рабочих местах, в помещениях жилых, общественных зданий и на территории жилой застройки»

4. Technical Regulatory Standards on Japanese Railways. Railway Bureau. Ministry of Land, Infrastructure, Transport and Tourism, March, 31, 2012/ Online resource:
http://www.mlit.go.jp/english/2006/h_railway_bureau/Laws_concerning/14.pdf/
Access: free. Visit Date – 28.11.2016.
5. Royal Decree 1367/2007, October 19, 37/2003 Noise Law, of November 17, National State Bulletin (BOE) num. 254, of October 23, 2007.
6. СН 2.2.4/2.1.8.566-96 «Производственная вибрация, вибрация в помещениях жилых и общественных зданий»
7. ISO 2631–1: 1997, Mechanical vibration and shock – Evaluation of human exposure to whole-body vibration – General requirements. International Organization for Standardization.
8. ISO 2631–2: 2002, Mechanical vibration and shock – Evaluation of human exposure to whole-body vibration – Part 2: Vibration in buildings (1 Hz to 80 Hz). International Organization for Standardization
9. BS 6472: 1992, Evaluation of human exposure to vibration in buildings (1 Hz to 80 Hz), British Standards Institution.
10. BS 6841: 1987, Measurement and evaluation of human exposure to whole-body vibration, mechanical vibration and repeated shock. British Standards Institution.
11. DIN 4150–2: 1999, Structural vibration – Part 2: Human exposure to vibration in buildings, (English version). Deutsches Institut fur Normung
12. DIN 45669–1: 1995, Mechanical vibration and shock measurement – Part 1: Measuring equipment, (English version). Deutsches Institut fur Normung.
13. Цукерников И.Е., Шубин И.Л., Невенчанная Т.О. Особенности нормирования и оценки вибрации от рельсового транспорта в помещениях жилых и общественных зданий/ NOISE Theory and Practice, Vol. 4, No 3, стр. 22-29.
14. David Thompson, Railway noise and vibration: mechanisms, modelling and means, Elsevier, First edition 2009 , ISBN-13: 978-0-08-045147-3
15. S.A. Suhairy, Prediction of ground vibration from railways, SP Swedish National Testing and Research Institute Acoustics, SP REPORT 2000:25, Boras 2000, ISBN 91-7848-823-0, ISSN 0284-5172, 103 p.
16. Pham-Ngoc Thach, Han-Long Liu, Gang-Qiang Kong. Vibration analysis of pile-supported embankments under high-speed train passage/ Soil Dynamics and Earthquake Engineering, 55 (2013), p. 92–99
17. High-Speed Ground Transportation Noise and Vibration Impact Assessment, DOT/FRA/ORD-12/15
18. Wanming Zhai, Kai Wei, Xiaolin Song, Minghe Shao. Experimental investigation into ground vibrations induced by very high speed trains on a non-ballasted track/ Soil Dynamics and Earthquake Engineering 72 (2015), p. 24–36
19. V.V. Krylov. Focusing of ground vibrations generated by high-speed trains/ Proceedings of ISMA2014 including USD2014, pp.2007-2015
20. ГОСТ Р ИСО 14837-2007 (ISO 14837-1:2005) «Вибрация. Шум и вибрация, создаваемые движением рельсового транспорта. Часть 1. Общее руководство».
21. V.V. Krylov. Focusing of ground vibrations generated by high-speed trains travelling at trans-Rayleigh speeds, Soil Dynamics and Earthquake Engineering, 100, 389-395 (2017)
22. V.V. Krylov. Generation of ground vibration by superfast trains, Applied Acoustics, 44: 149-164 (1995).

23. V.V. Krylov, Vibrational impact of high-speed trains. I. Effect of track dynamics, Journal of the Acoustical Society of America, Vol. 100, No. 5, American Institute of Physics (1996), pp. 3121-3134; Erratum, Vol. 101, No. 6, (1997), pp. 3810.
24. F.E. Richart, J.R. Hall, and R.D. Woods. Vibrations of Soils and Foundations. Prentice Hall International Series in Theoretical and Applied Mechanics, 1970
25. Schiappa F., Domingues O., Castro J. & Sequeira S. High speed trains in Portugal. Vibration Impact Assessment. 39th Intern. Congress on Noise Control Engineering, 2010. Lisbon, Portugal, 2010, pp. 4417–4429.
26. Kiyoshi Hayakawa. The Latest Ground Vibration Countermeasure by using Isolation Wave Barrier/ INTER-NOISE 2006, 3-6 December 2006, Honolulu, Hawaii, USA

УДК 534.833.522

OECD 01.03.АА

Анализ методик расчета эффективности шумозащитных экранов

Безверхая Е.А.^{1*}, Чеботарева Е.Ю.²

^{1, 2} Магистрант кафедры «Экология и безопасность жизнедеятельности»

^{1, 2} БГТУ «ВОЕНМЕХ» им. Д.Ф. Устинова,

г. Санкт-Петербург, ул. 1-я Красноармейская, д. 1

Аннотация

В работе проведен анализ существующих методик расчета эффективности экрана и результатов натурных измерений. Приведены значения расчетной акустической эффективности шумозащитных экранов высотой 2 м, 3.5 м до 5 м для ближней и дальней полос движения автомобильных дорог, а также при изменении расстояния от экрана до расчетной точки от 25 м до 100 м.

Сравнение фактической и расчетной эффективностей приведенных шумозащитных экранов показало, что значения расчетной эффективности существенно завышены, и при применении разных методик дают отличия между собой в диапазоне от 2 до 4 дБ. Сделан вывод о необходимости усовершенствования и внесения корректировок в расчетные формулы действующей нормативно-технической документации и рекомендованы материалы для учета выполненных ранее исследований.

Ключевые слова: шумозащитные экраны, эффективность, расчетные методики, нормативно-техническая база.

Analysis of calculation of efficiency noise barriers methodologies

Bezverkhaya E.A.^{1}, Chebotareva E.Y.²*

^{1, 2} Undergraduate student of Environment and Safety chair

^{1,2} BSTU «VOENMEH» named after D.F. Ustinov, Saint-Petersburg, 1 Krasnoarmeyskaya, 1

Abstract

The paper analyses the existing methods of calculating the noise barrier efficiency and field measurement results. The values of the calculated acoustic efficiency of the noise barriers with a height of 2 m, 3,5 m and 5 m for the near and distant lanes of the roads and when changing the distance from the barrier to reference point from 25 m to 100 m are given.

Comparison of the actual and calculated efficiency of the given noise barriers showed that the values of the calculated efficiency are significantly overestimated, and when different methodologies are used, they differ from 2 to 4 dB. The conclusion is made about the need to improve and make adjustments to the calculation formulas of the current regulatory and technical documentation and materials to take previous studies into consideration are recommended.

Key words: *noise barriers, efficiency, calculation methods, regulatory and technical base.*

Введение

Урбанизация территорий, непрерывный рост населения и инфраструктуры городов в последние десятилетия неизбежно приводит к существенному росту количества автотранспортных средств, что является одним из основных источников шума, негативно влияющего на окружающую среду и селитебные территории. Вместе с числом автомобильного транспорта увеличивается и скорость движения: например, на КАД, ЗСД и МКАД, где предусмотрены участки с повышенным скоростным режимом. Кроме того, на трассах федерального значения в отдельных районах было увеличено

*E-mail:katebzv@mail.com (Безверхая Е.А.)

количество полос движения. Все эти изменения повлекли за собой превышение норм уровней шума на территориях, непосредственно прилегающих к автомагистралям, что неизбежно приводит к возрастанию численности людей, ежедневно находящихся под воздействием шума, превышающего санитарные нормы. Постоянный рост автотранспортных потоков говорит о необходимости проведения шумозащитных мероприятий для соблюдения санитарных норм. Самым распространённым методом шумозащиты на сегодняшний день стали шумозащитные экраны. Принцип работы шумозащитного экрана основан на создании зоны звуковой тени за ним в результате частичного отражения звука от его поверхности. Эффективность шумозащитных экранов колеблется в основном в диапазоне от 5 до 15 дБА. Одной из основных задач при проектировании шумозащитных экранов является установление его эффективности при изменении высоты ШЭ и положения до расчетной точки. К сожалению, на сегодняшний день нет единой методики по расчету эффективности ШЭ, а существующая нормативно-техническая документация требует внесения корректировок, т.к. дает различные результаты.

1. Обзор существующих методик расчета эффективности шумозащитных экранов

На сегодняшний день существуют разнообразные подходы по определению эффективности шумозащитных экранов. Одним из наиболее распространенных является подход, предложенный японским ученым З. Маекавой еще в 1969 году [1, 2], опирающийся на зависимость эффективности шумозащитного экрана (далее – ШЭ) от числа Френеля (N). Эффективность ШЭ, $\Delta L_{экр}$, согласно выведенной Маекавой формуле, определяется, как:

$$\Delta L_{экр} = 10 \lg 20N, \text{ дБА} \quad (1)$$

где N – число Френеля, определяемое выражением (2).

$$N = 2\delta/\lambda \quad (2)$$

где λ – длина звуковой волны, м;

δ – разность длин путей звукового луча, м.

Разность длин звукового луча δ вычисляется по формуле:

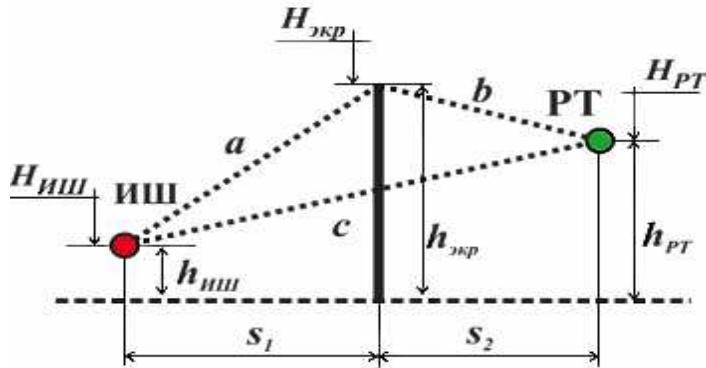
$$\delta = a + b - c, \text{ м} \quad (3)$$

где a – кратчайшее расстояние между акустическим центром источника шума (далее – ИШ) и верхней кромкой ШЭ, м;

b – кратчайшее расстояние от верхней кромки ШЭ до расчетной точки (далее – РТ), м;

c – кратчайшее расстояние от акустического центра ИШ до расчетной точки, м.

Графически расстояния a , b , c представлены на рисунке 1.



$h_{ИШ}$ – высота ИШ над поверхностью проезжей части; $h_{экр}$ – высота ШЭ; $h_{РТ}$ – высота РТ над поверхностью земли; $H_{ИШ}$ – отметка ИШ; $H_{экр}$ – отметка верхней кромки ШЭ; $H_{РТ}$ – отметка РТ

Рис. 1. Расчетная схема определения разности длин путей звукового луча для экрана-стенки [3]

В соответствии с ОДМ 218.2.013-2011 [3], расстояния a , b и c определяют с точностью до сотых долей метра по следующим формулам

$$a = \sqrt{S_1^2 + (h_{экр} - h_{ИШ})^2}, \text{ м} \quad (4)$$

$$b = \sqrt{S_2^2 + (h_{экр} - h_{РТ})^2}, \text{ м} \quad (5)$$

$$c = \sqrt{(S_1 + S_2)^2 + (h_{РТ} - h_{ИШ})^2}, \text{ м} \quad (6)$$

где $h_{ИШ}$ – высота ИШ над уровнем проезжей части, м;

$h_{экр}$ – высота ШЭ, м;

S_1 – расстояние от ИШ до экрана, м;

S_2 – расстояние от экрана до РТ, м.

Принцип вычисления эффективности ШЭ в ОДМ 218.2.013-2011 [3] и СП 276.1325800.2016 [4] один и тот же, опирающийся на число Френеля, однако формулы, предлагаемые для определения эффективности ШЭ, различны.

ОДМ 218.2.013-2011 [3], предлагает следующую формулу снижения шума посредством экранирования (т.е. его эффективность, $\Delta L_{экр}$):

$$\Delta L_{экр} = 18,2 + 7,8 \lg(\delta + 0,02), \text{ дБА} \quad (7)$$

где δ – разность длин путей звукового луча, определяемая по формуле (3), м.

В свою очередь, СП 276.1325800.2016 [4] предлагает метод расчета эффективности, опираясь на теорию Курце, и имеет два варианта: определение эффективности ШЭ в соответствии с монограммой, вычисленной методом Маекавы для линейного источника, или использование расчета по формуле (8).

$$\Delta L_{экр} = 20 \lg \frac{\sqrt{2\pi|N|}}{th \sqrt{2\pi|N|}} + 5, \text{ при } N \geq -0,2, \text{ дБА} \quad (8)$$

$$\Delta L_{экр} = 0, \text{ при } N < -0,2, \text{ дБА}$$

где N – число Френеля, определяемое выражением (2).

Согласно СП 276.1325800.2016 [4], формула (8), предлагаемая для расчета, применима для расстояний от ИШ до РТ не более 200 м. Для больших расстояний эффективность ШЭ согласно СП 276.1325800.2016 [4] рассчитывается по методике, изложенной в ГОСТ 31295.2-2005 [5].

Расчеты уровней звука проводятся для длины волны $\lambda=0,84$ м (для потоков автомобилей, автобусов и троллейбусов) согласно СП 276.1325800.2016 [4].

Еще одним из наиболее применяемых на практике способов расчета эффективности ШЭ является метод, представленный в ГОСТ 31295.2-2005 [5], в соответствии с которым вычисление эффективности экрана, D_z , определяется по следующему выражению:

$$D_z = 10\lg[3 + (C_2/\lambda)C_3zK_{met}], \text{дБ} \quad (9)$$

где: C_2 – константа, учитывающая эффект отражения от земли ($C_2 = 20$). Если в особых случаях (твердый грунт, скальные породы и т.п.) во внимание принимают отражение от земли звука мнимых источников, то $C_2 = 40$;

C_3 – константа, учитывающая дифракцию на верхних кромках. При дифракции на одной кромке (рисунок 2) $C_3 = 1$;

λ – длина звуковой волны с частотой, равной среднегеометрической частоте октавной полосы, м;

z – разность длин путей распространения звука через дифракционную кромку (кромки) и прямого звука, вычисляемая по формуле (10), м;

K_{met} – коэффициент, учитывающий влияние метеорологических условий, определяемый согласно ГОСТ 31295.2 [5, формула (18)].

Разность длин путей, z , распространения звука через дифракционную кромку и прямого звука (см. рисунок 2) определяется в соответствии с формулой

$$z = \sqrt{(d_{ss} + d_{sr})^2 + a^2} - d, \text{м} \quad (10)$$

где d_{ss} – расстояние от источника шума до дифракционной кромки (до первой дифракционной кромки в случае дифракции на двух кромках), м;

d_{sr} – расстояние от дифракционной кромки (от второй дифракционной кромки в случае дифракции на двух кромках) до приемника, м;

a – проекция на кромку экрана траектории распространения звука от источника к приемнику через верхнюю кромку экрана, м.

В соответствии с ГОСТ 31295.2-2005 [5] расстояния d_{ss} и d_{sr} измеряют по перпендикулярам, опущенным из источника шума и приемника на верхнюю кромку экрана. Значение равно расстоянию между основаниями этих перпендикуляров вдоль верхней кромки. Кроме того, в случае если линия, соединяющая ИШ и приемник, проходит над верхней кромкой ШЭ, то значению приписываю знак минус [5].

ГОСТ 31295.2-2005 [5] рассчитывает эффективность ШЭ для всего нормируемого частотного диапазона: от 31,5 до 8000 Гц.

Согласно ГОСТ 31295.2-2005 [5], затухание на экране в любой октавной полосе частот не следует принимать более 20 дБ в случае дифракции на одной кромке (тонкие экраны) и 25 дБ в случае дифракции на двух кромках (толстые экраны, экраны-здания).

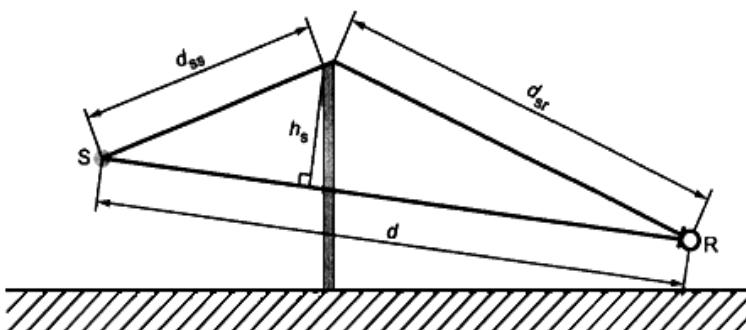


Рис. 2. Геометрические величины для определения разности длин путей распространения звука при дифракции на одной кромке [5]

2. Определение эффективности шумозащитных экранов

С целью получения информации о точности выбранных методик расчета помимо теоретических расчетов были проведены натурные измерения эффективности установленных экранов.

Динамика изменения эффективности ШЭ в зависимости от изменения различных параметров (высоты, удаленности РТ от ИШ и др.), а также сравнение теоретических расчетов с натурными данными были представлены графически (рис. 3-6).

2.1. Расчет теоретической эффективности шумозащитного экрана по СП 276.1325800.2016, ОДМ 218.2.013-2011, ГОСТ 31295.2-2005

Расчет эффективности ШЭ различной высоты для расчетных точек, расположенных на разных расстояниях от ШЭ (РТ 1 – 25 м, РТ 2 – 50 м, РТ 3 – 100 м), были произведены по трем методикам для двухполосной дороги: для дальней и ближней полос. Согласно ГОСТ Р 52399-2005 [6] ШЭ может быть установлен не ближе, чем 2,5 м от автодороги, а ширина полосы (для двухполосной дороги) должна быть не менее 3,75 м. Таким образом, расстояния от источника шума до ШЭ будут равны 4,37 м и 8,12 м для ближней и дальней полос соответственно. Расчет производился для ШЭ высотой 2 м, 3,5 м, 5 м.

Результаты расчета эффективности ШЭ различной высоты по трем описанным выше нормативно-техническим документам (далее – НТД), представлены в таблице 1.

Таблица 1

Эффективность ШЭ различной высоты для ближней и дальней полос по трем исследуемым расчетным методикам

Расчетная точка (расстояние от ИШ)	НТД	Эффективность ШЭ при различной высоте, дБ					
		2 м		3,5 м		5 м	
		Ближняя полоса	Дальняя полоса	Ближняя полоса	Дальняя полоса	Ближняя полоса	Дальняя полоса
РТ1 (25 м)	СП 276. 1325800.2016 [4]	10	7	15	13	19	17
	ОДМ 218. 2.013-2011 [3]	11	10	17	16	20	19

Расчетная точка (расстояние от ИШ)	НТД	Эффективность ШЭ при различной высоте, дБ					
		2 м		3,5 м		5 м	
		Ближняя полоса	Дальняя полоса	Ближняя полоса	Дальняя полоса	Ближняя полоса	Дальняя полоса
РТ2 (50 м)	ГОСТ 31295.2-2005 [5]	8	6	13	12	17	15
	СП 276. 1325800.2016 [4]	10	7	15	13	19	17
	ОДМ 218. 2.013-2011 [3]	11	10	17	15	20	18
	ГОСТ 31295.2-2005 [5]	8	6	13	11	16	14
РТ3 (100 м)	СП 276. 1325800.2016 [4]	10	7	15	13	19	16
	ОДМ 218. 2.013-2011 [3]	11	10	17	15	20	18
	ГОСТ 31295.2-2005 [5]	8	6	13	11	16	14

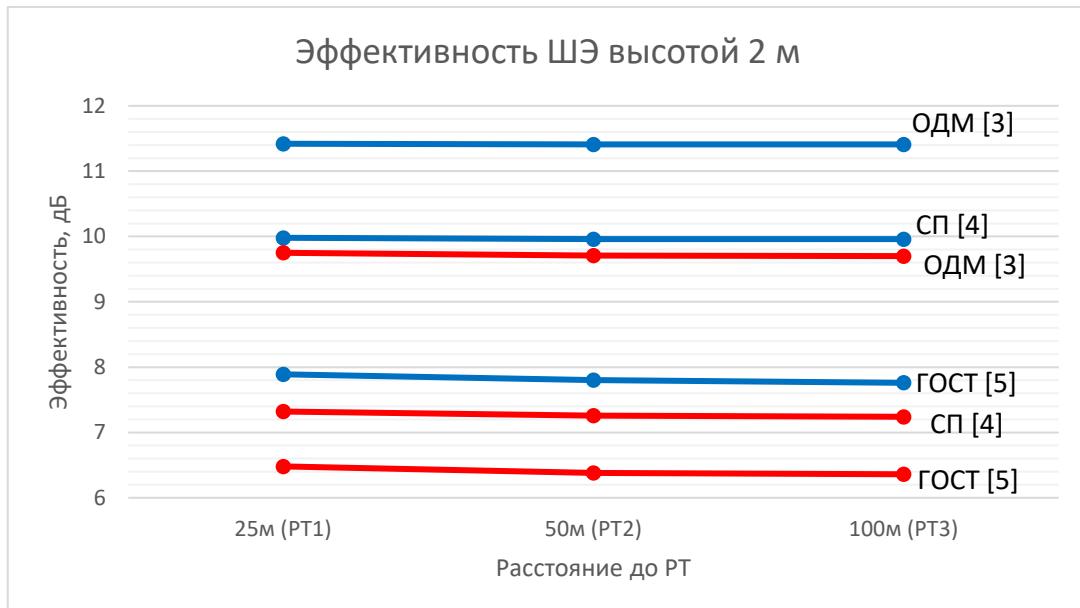
Сравнивая результаты, полученные по разным методикам, видим, что в среднем разница в эффективности для ближней и дальней полос составляет:

- 2-3 дБ, согласно СП 276. 1325800.2016 [4];
- 2 дБ, согласно ГОСТ 31295.2-2005 [5];
- 1-2 дБ, согласно ОДМ 218.2.013-2011 [3].

Анализ, теоретической эффективности ШЭ различной высоты, подтвердил, что эффективность возрастает с увеличением высоты ШЭ:

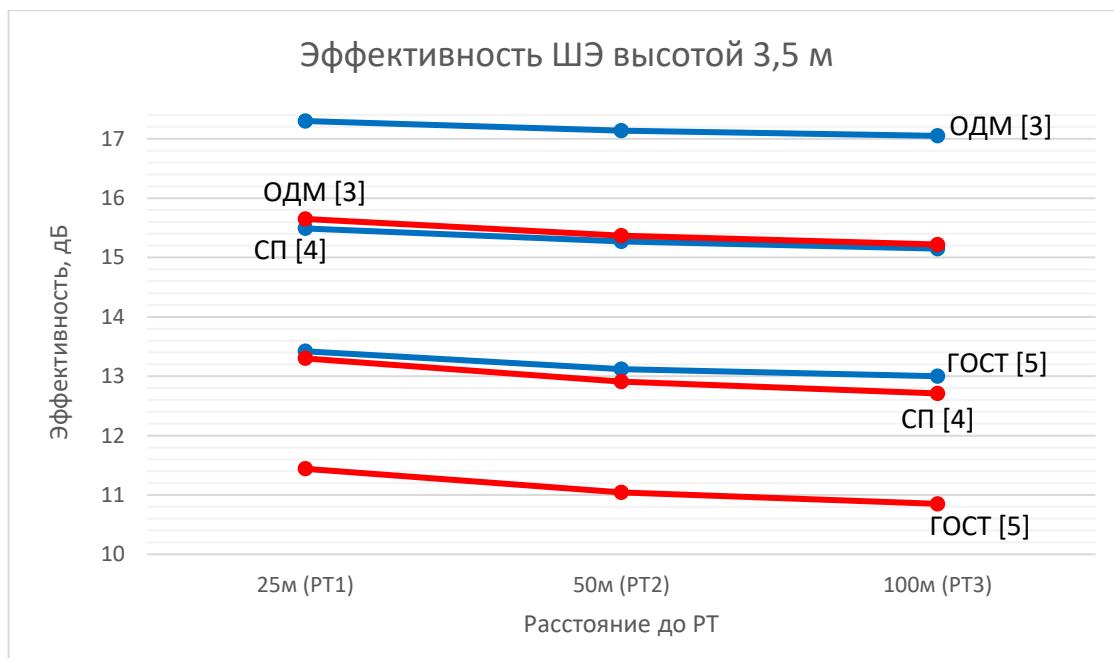
- для ближней полосы, при увеличении высоты с 2 м до 3,5 м эффективность ШЭ возрастает с 10 до 15 дБ, а при увеличении высоты ШЭ до 5 м, его эффективность повышается с 15 до 19 дБ. Аналогичная ситуация наблюдается и для дальней полосы: при увеличении высоты ШЭ с 2 м до 3,5 м, его эффективность возрастает с 7 до 15 дБ, с увеличением высоты до 5 м, эффективность ШЭ достигает 16 дБ, согласно СП 276. 1325800.2016 [4];
- согласно ГОСТ 31295.2-2005 [5], для ближней полосы, при увеличении высоты ШЭ с 2 м до 3,5 м эффективность ШЭ возрастает с 8 до 13 дБ, а при увеличении высоты ШЭ до 5 м, его эффективность повышается до 16 дБ. Для дальней полосы: при увеличении высоты ШЭ с 2 м до 3,5 м, его эффективность возрастает с 6 до 11 дБ, с увеличением высоты до 5 м, эффективность ШЭ достигает 14 дБ;
- в соответствии с ОДМ 218. 2.013-2011 [3], эффективность ШЭ при увеличении высоты с 2 м до 3,5 м увеличивается с 11 до 17 дБ, а при дальнейшем увеличении высоты до 5 м, эффективность возрастает до 20 дБ, для ближней полосы; при увеличении высоты ШЭ с 2 м до 3,5 м увеличивается с 10 до 15 дБ, а при увеличении высоты до 5 м, эффективность достигает 18 дБ – для дальней полосы.

Графическое представление снижения теоретической эффективности ШЭ различной высоты согласно трем исследуемым НТД для ближней и дальней полос в зависимости от расстояния, на котором расположен защищаемый объект, на примере РТ1, РТ2 и РТ3, представлено на рисунках 3, 4 и 5.



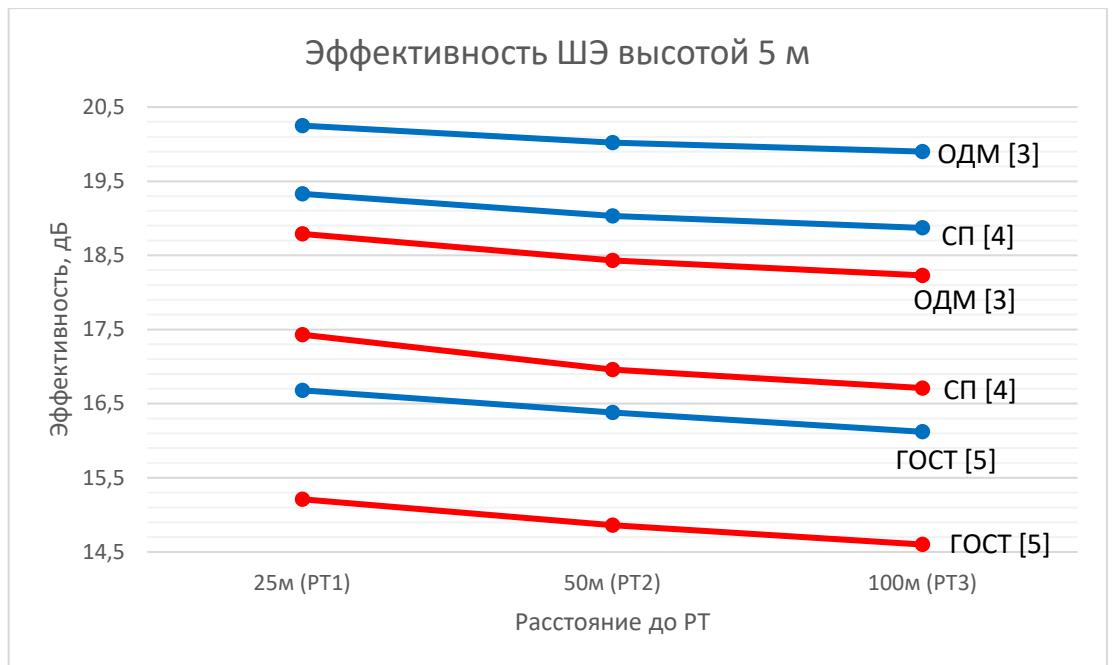
— значения эффективности ШЭ, полученные для ближней полосы автодороги;
— значения эффективности ШЭ, полученные для дальней полосы автодороги

Рис. 3. Расчетная эффективность ШЭ высотой 2 м, в зависимости от дальности защищаемого объекта



— значения эффективности ШЭ, полученные для ближней полосы автодороги;
— значения эффективности ШЭ, полученные для дальней полосы автодороги

Рис. 4. Расчетная эффективность ШЭ высотой 3,5 м, в зависимости от дальности защищаемого объекта



— значения эффективности ШЭ, полученные для ближней полосы автодороги;
— значения эффективности ШЭ, полученные для дальней полосы автодороги
Рис. 5. Расчетная эффективность ШЭ высотой 5 м, в зависимости от дальности защищаемого объекта

На рисунке 6 наглядно представлена разница расчетной эффективности ШЭ по разным методикам для высот ШЭ 2 м, 3,5 м и 5 м.

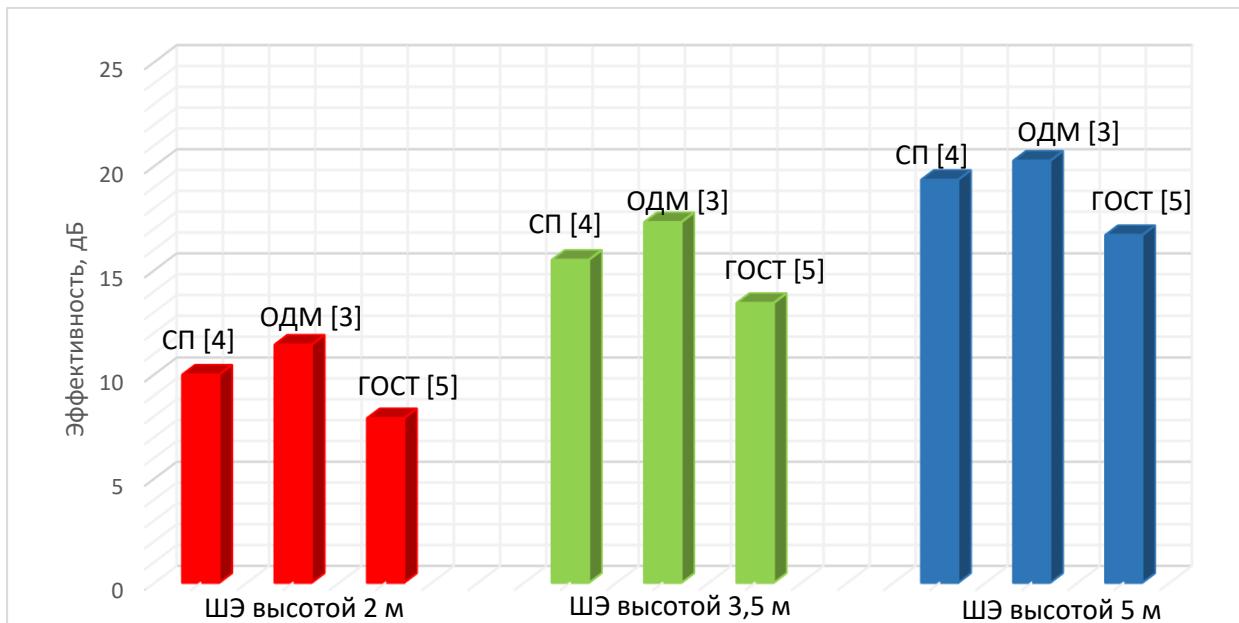


Рис. 6. Расчетная эффективность ШЭ различной высоты на расстоянии 25 м для ближней полосы автодороги

Из рисунка 6 видно, что разница расчетной эффективности ШЭ различной высоты, одинакова и равна 2 дБ между значениями, полученными по методикам

ГОСТ 31295.2 [5] и СП 276.1325800 [4] и 4 дБ между значениями, полученными по методикам ГОСТ 31295.2 [5] и ОДМ 218.2.013 [3].

Анализ представленных графиков показывает, что эффективность ШЭ вне зависимости от высоты снижается при увеличении расстояния от ШЭ до РТ по всем трем рассматриваемым НТД всего лишь на сотые доли, что не соответствует действительности, поскольку с увеличением расстояния РТ до ШЭ, тем больше звука дифрагирует (в том числе, через боковые кромки) и говорит о несовершенстве существующих методов расчета.

2.2. Сравнение теоретических результатов расчета с результатами натурных измерений

Натурные измерения эффективности ШЭ проводились, согласно «Методике проведения измерений эффективности акустических (шумозащитных) экранов, измерения звукоизоляции шумозащитных экранов, измерения звукопоглощения шумозащитных экранов», утвержденной Министерством транспорта Российской Федерации Федеральным дорожным агентством (РОСАВТОДОР) 06.09.2017 г. на расстоянии 25 м от экрана.

Натурные измерения эффективности проводились для ШЭ, установленных вдоль автомобильных дорог, в рамках выполнения различных НИР, проводимых в БГТУ «ВОЕНМЕХ» им. Д.Ф. Устинова на протяжении последних нескольких лет. Результаты натурных измерений эффективности ШЭ на расстоянии 25 м от оси двухполосной автомобильной дороги ((для ближней полосы) представлены в таблице 2.

Таблица 2
Результаты натурных измерений эффективности ШЭ

Расстояние от оси (от края проезжей части)	Эффективность ШЭ в зависимости от его высоты, дБ		
	2 м	3,5 м	5 м
25 м	5-6	9-11	10-12

С учетом проведенных измерений и расчетов можем сделать заключение, что наиболее близкие к натурным измерениям расчеты были получены по методике, представленной в ГОСТ 31295.2-2005 [5].

Заключение

Проведенный анализ полученных натурных измерений и расчетов, показал, что действующие методики расчета по определению эффективности шумозащитных экранов, а именно ОДМ 218.2.013-2011 [3], СП 276.1325800.2016 [4], ГОСТ 31295.2-2005 [5] дают различные между собой значения, при этом по ОДМ 218.2.013-2011 [3] значения эффективности являются наиболее завышенными.

Полученные результаты говорят о необходимости совершенствования методов расчета эффективности шумозащитных экранов и ввода поправок, которые позволят получать значения, более приближенные к фактической эффективности и, в том числе, учитывать наличие щелей, недостаточности длины, тип шумозащитного экрана (отражающий, поглощающий, отражающе-поглощающий) и т.д.

При корректировке нормативно-технической базы необходимо учитывать труды профессора Иванова Н.И. [1], Тюриной Н.В. [7], где поставленные задачи по учету

множества влияющих на эффективность шумозащитных экранов, уже были учтены, в том числе, показатель дифракции, коэффициент звукопоглощения и другое.

Список литературы

1. Инженерная акустика. Теория и практика борьбы с шумом. Учебник / Н.И. Иванов // СПб.: Логос. – 2013. – 432 с. Адорно Т.В. К логике социальных наук // Вопр. философии. – 1992. – № 10. – С. 76-86.
2. Иванов Н.И. Защита от шума и вибрации: учебник / Н.И. Иванов // СПб.: НИЦ АРТ. – 2017. – 268 с.
3. ОДМ 218.2.013-2011. Отраслевой дорожный методический документ. Методические рекомендации по защите от транспортного шума территорий, прилегающих к автомобильным дорогам // Принят: Росавтодором 13.12.2012.
4. СП 276.1325800.2016. Свод правил. Здания и территории. Правила проектирования защиты от шума транспортных потоков // Принят: Министерством строительства и жилищно-коммунального хозяйства Российской Федерации 03.12.2016.
5. ГОСТ 31295.2-2005 (ИСО 9613-2:1996). Межгосударственный стандарт. Шум. Затухание звука при распространении на местности. Часть 2. Общий метод расчета // Принят: Росстандартом 20.07.2006.
6. ГОСТ Р 52399-2005. Национальный стандарт Российской Федерации. Геометрические элементы автомобильных дорог // Принят: Росстандартом 01.05.2006.
7. Тюрина Н. В. Решение проблемы снижения шума на селитебных территориях и рабочих местах в помещениях акустическими экранами: автореф. дис. на соиск. уч. степени доктора техн. наук: 01.04.06 / Тюрина Наталья Васильевна. – СПб., 2014. – 54 с.

УДК 534.835.44, 534.835.462

OECD 01.03.АА

Предложения по расчету акустической долговечности шумозащитных экранов

Маслова С.С.¹, Иванов Н.И.², Рассошенко Ю.С.^{3*}

¹Бакалавр кафедры «Экология и безопасность жизнедеятельности»,

²Д.т.н., заведующий кафедрой «Экология и безопасность жизнедеятельности»,

³К.т.н., старший преподаватель кафедры «Экология и безопасность жизнедеятельности»

^{1,2,3} БГТУ «ВОЕНМЕХ» им. Д.Ф. Устинова,

РФ, г. Санкт-Петербург, ул. 1-я Красноармейская. д.1

Аннотация

В статье рассмотрены основные группы факторов, влияющие на акустическую долговечность шумозащитных экранов, предложена бальная шкала для проведения количественной оценки воздействия того или иного параметра, а также расчетная формула для прогнозирования акустической долговечности. Приведены примеры пользования расчетным методом и выполнено сравнение с практически полученными результатами. Описаны последующие направления по совершенствованию предлагаемой расчетной модели.

Ключевые слова: шумозащитный экран, акустическая долговечность, факторы влияния, расчетный метод, прогнозирование.

Proposals for calculation of the noise barrier acoustic durability

*Maslova S.S¹, Ivanov N.I.², Rassoshenko I.S *³*

¹Bachelor of the Department ‘Ecology and life safety’

²DSc, Professor, Head of the Department ‘Ecology and life safety’

³Ph.D., Senior lecturer of the Department ‘Ecology and life safety’

^{1,2,3} BSTU ‘VOENMEH’ named after D.F. Ustinov,

Russia, St. Petersburg, 1-st Krasnoarmeyskaya str., h.1

Abstract

The article examines the main groups of factors affecting the noise barrier acoustic durability, offers a rating scale for quantitative assessment of a particular parameter impact, as well as a calculation formula for predicting acoustic durability. Examples of using the calculation method are given and a comparison with the practically obtained results is made. The next directions for the improvement of the proposed calculation model are described.

Key words: *noise barrier, acoustic durability, affecting factors, calculation method, prediction.*

Введение

В настоящее время одними из наиболее применяемыми на практике средствами защиты населения от повышенных уровней шума являются шумозащитные экраны (далее – ШЭ). Работа шумозащитных экранов основана на нескольких принципах акустической защиты, главными из которых являются отражение и поглощение звука [1], однако вопрос об их акустической долговечности, к сожалению, не проработан в достаточной степени. Так, устанавливаемые ШЭ зачастую не

*E-mail: kb_iak@mail.ru (Рассошенко Ю.С.)

выдерживают заявленного производителем срока службы, их эффективность снижается, а эстетический вид теряется.

Для оценки акустической долговечности ШЭ в статье предлагаются расчетные формулы, полученные экспериментально-аналитическим путем на основании выполненных за несколько лет БГТУ «ВОЕНМЕХ» им. Д.Ф. Устинова и ООО «Институт акустических конструкций» исследований ШЭ, в общем количестве более 100 штук, направленных, в том числе, на определение и выявление факторов, влияющих на устойчивость ШЭ к агрессивной окружающей среды. Проводится анализ влияния каждого из факторов и даются предложения по повышению долговечности ШЭ.

1. Факторы, оказывающие влияние на акустическую долговечность шумозащитных экранов

В данном разделе приводится обзор факторов, по мнению авторов, влияющих на потерю внутренних акустических характеристик ШЭ. Так, к данным факторам в порядке наибольшей значимости можно отнести:

1. Материал, из которого изготавливаются ШЭ.
2. Качество шумопоглощающего материала.
3. Агрессивность окружающей среды.
4. Качество сборки и установки ШЭ.
5. Обслуживание ШЭ во время эксплуатации.
6. Вандалоустойчивость.

1.1. Материалы, применяемые при изготовлении шумозащитных экранов

Шумозащитные экраны могут представлять собой [1]:

1. Сплошную конструкцию (ШЭ из бетона, щебобетона, кирпича и т.д.);
2. Составную конструкцию (металлические, деревянные ШЭ с шумопоглощающим материалом и т.д.).

Более внимательно рассмотрим каждый вид материала с отображением их основных достоинств и недостатков.

1.1.1. Древесина

В конструкциях ШЭ могут использоваться различные породы древесины, но наиболее часто применяемыми являются хвойные породы.

Необработанная древесина, применяемая в конструкциях ШЭ, подвержена постепенному высыханию, составляющие ШЭ доски деформируются, сжимаются, в результате чего в конструкциях образуются щели. Также ШЭ из необработанной древесины подвержены гниению.

Для решения описанных проблем производители используют высококачественные лесоматериалы, которые подвергают импрегнированию (обработке под давлением специальными растворами), благодаря чему срок службы ШЭ из данных материалов увеличивается до 25 лет. Более того, ШЭ из импрегнированной древесины имеют эстетический внешний вид, экологичность, влагостойкость, прочность.

Древесина может использоваться как для сплошных конструкций ШЭ, так и составных в качестве внешних панелей.

1.1.2. Металл

Наиболее часто используемыми металлами в конструкциях ШЭ являются оцинкованная сталь, нержавеющая сталь и алюминий. Оцинкованная сталь является сравнительно недорогим и популярным металлом, представляя собою сплав железа с

углеродом и другими элементами, нержавеющая сталь – это сталь с включением большого количества химических элементов для того, чтобы сплав мог эффективно сопротивляться коррозии. Конструкции из алюминия же легки и прочны, надёжны в эксплуатации. При комбинировании материалов нужно учитывать, чтобы металлы, входящие в контакт друг с другом, были совместимы и не оказывали взаимного неблагоприятного воздействия. При попадании влаги на место соприкосновения таких материалов образуются гальванические пары, которые приводят к усилению процесса коррозии.

Как правило, металл применяется для составных ШЭ, для понижения стоимости которых, зачастую, к сожалению, производители применяют очень тонкий лист металла (0,7-0,8 мм), вследствие чего коррозия развивается крайне быстро и срок службы ШЭ сокращается с заявляемых 25 лет до 7-8 лет.

1.1.3. Бетон

Бетон представляет собой затвердевшую смесь минеральных вяжущих, крупных и мелких заполнителей, воды и добавок, изменяющих скорость твердения, количество вовлеченного воздуха, прочность, пористость. Бетонные инструкции (сборные или монолитные) при правильном изготовлении и применении являются одними из наиболее долговечных материалов для многих дорожных конструкций, включая ШЭ. Этот материал способен противостоять многим факторам окружающей среды. Из недостатков ШЭ из бетона можно выделить то, что данные сооружения не всегда соответствуют архитектурному стилю города, а также организационно тяжелые в части доставки и монтажа.

1.1.4. Поликарбонат, акрил

ШЭ из поликарбоната и акрила являются прозрачными конструкциями, изготавливаемыми различными цветами и позволяющими свести к минимуму негативное визуальное восприятие подобных строений. Подобные ШЭ не ограничивают видимость водителей транспортных средств и жителей защищаемых от шума населенных пунктов. Дополнительными достоинствами ШЭ из данного материала являются легкость монтажа, широкая цветовая гамма, возможность повторной переработки.

К недостаткам материала относятся подверженность воздействию солнечных лучей, проявляющееся в помутнении панелей; хрупкость, дороговизна.

1.1.5. Закаленное стекло

Прочность закаленного стекла достигается за счет специальной термобработки, в результате которой устраняются центры кристаллизации. Так, при разрушении стекла образуются мелкие гранулированные сегменты размером не более 12 мм.

В отличие от ШЭ из поликарбоната ШЭ из закаленного стекла не подвержены воздействию солнечного света, но, при отсутствии обработки, могут вызывать блики. К недостаткам относятся высокая стоимость материала и хрупкость.

1.2. Агрессивность окружающей среды

К факторам среды, негативно влияющим на акустическую долговечность шумозащитных экранов и сохранность их эстетического вида, также относятся климатические условия района расположения, в том числе колебания температуры, включая максимальную и минимальную для конкретного рассматриваемого района, количество осадков в год и ветровое давление.

Основные дорожно-климатические зоны и ветровые районы РФ представлены в таблицах 1-2 соответственно.

Таблица 1

Дорожно-климатические зоны России [2]

Климатические зоны	Ориентировочные географические границы	Температура, °C	Осадки, мм/год
I	Юг РФ (Астраханская обл., Краснодарский край, Ставропольский край, Ростовская область, Республики Дагестан, Ингушетия и др.)	Зима: -9,5 Лето: +45,5	500-600
II	Приморский край, а также области, расположенные на западе и северо-западе РФ	Зима: -15 Лето: +30	400-500
III	Области Сибири и Дальнего Востока, которые не входят в IV зону	Зима: -20..-18 Лето: +16..+20	300-400
IV	Северная Сибирь, Дальний Восток, Якутия	Зима: -41 Лето: +4..+12	200-400
V	Районы, которые расположены за полярным кругом, а также севернее северной широты 60 градусов; Чукотка	Зима: -25 Лето: +10	200-300

Таблица 2

Ветровые районы России [2]

Ветровой район	Ветровое давление, кг/м ²
I	32
II	42
III	53
IV	67
V	84
VI	100
VII	120

1.2. Качество сборки и установки шумозащитного экрана

Некачественные сборка и установка шумозащитного экрана, в результате которых могут образовываться зазоры и щели в конструкции, существенно повышают риск снижения его акустической долговечности. Особое внимание следует уделять устройству аварийных проходов, когда, зачастую, установка дверей в проемах выполняется негерметично и снижает звукоизоляцию шумозащитного экрана.

Во избежание данных ошибок при строительстве ШЭ следует привлекать квалифицированных специалистов для проведения работ в строгом соответствии с технологией и требованиями производителя к монтажу.

1.3. Вандалоустойчивость материала

Вандалоустойчивость ШЭ – это способность шумозащитного экрана противостоять непредусмотренным механическим повреждениям, разрушению [4].

Вандалоустойчивость считается одним из главных факторов, которые влияют на акустическую долговечность ШЭ. В случае быстрой потери целостности акустических панелей из-за внешнего воздействия образуются внешние дефекты в конструкции ШЭ, которые могут запустить процессы дальнейшего разрушения ШЭ, например, гниение шумопоглощающего материала, если ШЭ представляет собой сборную составную конструкцию.

1.4. Качество шумопоглощающего материала

При строительстве шумозащитных экранов особое внимание должно быть уделено шумопоглощающему материалу.

Звукопоглощающее наполнение должно отвечать требованиям ГОСТ 23499 [3]. Если в качестве звукопоглощающего материала выступают ватные плиты (минеральная вата), то их плотность должна быть не менее 85 кг/м³.

При несоблюдении описанных требований и применении шумопоглощающих материалов меньшей, чем рекомендованная, плотности, материал может скомкиваться, в результате чего звукопоглощение ШЭ становится неравномерным или теряется в целом, что также влияет на эффективность конструкции и ее акустическую долговечность.

1.5. Обслуживание шумозащитного экрана во время эксплуатации

Во время эксплуатации необходимо проводить регулярные обслуживание и контроль состояния ШЭ с целью своевременной замены и восстановления потерявших свои свойства элементов и их восстановления.

Нерегулярные осмотры и отсутствие обслуживания являются одной из причин разрушения экранов и полной потери их функции с превращением шумозащитной конструкции в разрозненные панели неэстетического вида (рисунок 1).



Рис. 1. Выпадение панелей

2. Предложение вычислительного метода для определения акустической долговечности ШЭ

Для прогнозирования акустической долговечности ШЭ авторами предложен вычислительный метод, основанный на экспериментально-аналитической оценке влияния каждой группы факторов. В качестве базовой выступала 100-балльная шкала, при которой каждому выделенному фактору присваивалось то или иное значение, в зависимости от его значимости и уровня влияния на акустическую долговечность ШЭ. Так, предлагается следующая оценка:

- 1) Материал ШЭ – 70 баллов;
- 2) Плотность шумопоглощающего материала – 10 баллов;
- 3) Качество сборки и установки ШЭ – 5 баллов;
- 4) Вандалоустойчивость ШЭ – 5 баллов;
- 5) Агрессивность окружающей среды – 5 баллов;
- 6) Обслуживание ШЭ во время эксплуатации – 5 баллов.

Суммарное значение присвоенных баллов всех факторов составляет 100. Если качество ШЭ высокое, то оно останется неизменным, и акустическая долговечность ШЭ будет полностью соответствовать заявленному производителем в технической документации сроку службы ШЭ. Если же какой либо из элементов экрана выполнен недобросовестно (слишком тонкий лист металла в конструкции экрана, шумопоглощающий материал (далее – ШПМ) низкой плотности и др.), или, например,

экран установлен в неблагоприятной климатической зоне, то акустическая долговечность сократится относительно максимально-возможного срока эксплуатации того или иного ШЭ.

Рассмотрим каждую группу факторов более подробно и представим их возможную подклассификацию.

В таблице 3 описаны основные применяемые материалы ШЭ (столбец 2, строки 1-7), максимально-возможный срок эксплуатации каждого из них при качественном исполнении (столбец 3), количество присваиваемых баллов для рассматриваемой группы факторов (столбец 5) и доля от этих баллов (столбец 4), которая зависит от условий применения того или иного материала (столбец 2, строки 1.1.-7.2).

Таблица 3

Процентное соотношение влияния материала на акустическую долговечность ШЭ

№	Материал	Макс. возмож. срок эксплуатации, лет	Доля баллов, %	Балл
1	2	3	4	5
1	Алюминий	25	-	70
1.1	Толщина листа <1 мм	-	60	
1.2.	Толщина листа 1-1,4 мм	-	80	
1.3	Толщина листа ≥1,5 мм	-	100	
2	Оцинкованная сталь	25		
2.1	Толщина листа <1 мм	-	40	
2.2	Толщина листа 1-1,4 мм	-	70	
2.3	Толщина листа ≥1,5 мм	-	100	
3	Нержавеющая сталь	25	-	
3.1	Толщина листа <1 мм	-	60	
3.2	Толщина листа 1-1,4 мм	-	80	
3.3	Толщина листа ≥1,5 мм	-	100	
4	Древесина	25	-	
4.1	Не импрегнированная древесина	-	60	
4.2	Импрегнированная древесина	-	100	
5	Бетон	25	-	
5.1	Легкие бетоны	-	50	
5.2	Тяжелые бетоны (железобетон, керамзитобетон и т.д.)	-	100	
6	Пластик/ поликарбонат	12	-	
6.1	Толщина листа 4-9 мм	-	60	
6.2	Толщина листа 10-12 мм	-	100	
7	Закаленное стекло	12	-	
7.1	Толщина листа 4-9 мм	-	60	
7.2	Толщина листа 10-12 мм	-	100	

Так, например, если рассматривается составной ШЭ из оцинкованной стали с толщиной металлического листа 1,5 мм, срок его эксплуатации по данной группе факторов составит 25 лет (максимальное количество лет согласно столбцу 3, строке 2.3), при этом в расчетах будет учитываться 70 баллов (максимально-возможное количество баллов, рассчитываемое как произведение столбца 5 на столбец 4 для строки 2.3, т.е. 70 баллов x 100 % = 70 баллов).

Для составного экрана из оцинкованной стали с толщиной металлического листа 0,7 мм максимально-возможный срок эксплуатации с 25 лет сокращается на 60%, и в расчетах будет принимать участие только 28 баллов ($0,4 \times 70$ баллов), характеризующих данную группу факторов.

Аналогичные предложения были сделаны для определения баллов в зависимости от плотности ШПМ (таблица 4), качества сборки, определяемого наличием щелей и зазор в конструкции ШЭ (таблица 5), вандалоустойчивости (таблица 6), дорожно-климатической зоны и ветрового района (таблица 7), качество обслуживания ШЭ во время его эксплуатации (таблица 8).

Таблица 4

Процентное соотношение влияния плотности ШПМ на акустическую долговечность ШЭ

Плотность ШПМ, кг/м ³	Доля баллов, %	Балл
1	2	3
90-120	100	
70-90	80	
40-70	60	10

Таблица 5

Процентное соотношение влияния качества сборки ШЭ на его акустическую долговечность

Качество сборки	Доля баллов, %	Балл
1	2	3
Качественная сборка	100	
Некачественная сборка (наличие щелей, зазоров и т.д.)	80	5

Таблица 6

Процентное соотношение влияния вандалоустойчивости ШЭ на его акустическую долговечность

Категория	Вандалоустойчивость материала	Доля баллов, %	Балл
1	2	3	4
I	Тяжелые бетоны (керамзитобетон, щебобетон и т.д.)	100	
II	Металлы	80	
III	Древесина	70	
IV	Пластик/ закаленное стекло	50	

Таблица 7

Процентное соотношение влияния агрессивности среды на акустическую долговечность ШЭ

Сочетание факторов	Дорожно-климатическая зона	Ветровой район	Доля баллов, %	Балл
1	2	3	4	5
Благоприятное	I	I	100	
Допустимое	II-III	I-III	90	
Нежелательное	V	IV-V	80	
Неблагоприятное	IV	VI-VII	70	

Таблица 8

Процентное соотношение влияния обслуживания ШЭ на его акустическую долговечность

Регулярность обслуживания ШЭ	Доля баллов, %	Балл
1	2	3
Регулярные осмотры ШЭ и своевременный ремонт	100	
Нерегулярные осмотры ШЭ, отсутствие ремонта	70	5

3. Численный метод расчета прогнозируемой акустической долговечности ШЭ

3.1. Описание расчетной формулы

Согласно проделанному анализу авторами статьи предлагается следующая расчетная формула (1) по определению акустической долговечности ШЭ (АшЭ):

$$A_{ШЭ} = \frac{(B_{мат} \times 70 + B_{шпм} \times 10 + B_{сб} \times 5 + B_{в} \times 5 + B_{ср} \times 5 + B_{об} \times 5) \times T_{макс}}{100}, \text{ лет} \quad (1)$$

где $B_{мат}$ – доля баллов, характеризующая долговечность материала, из которого изготовлен ШЭ, %, определяемая по таблице 3;

$B_{шпм}$ – доля баллов, характеризующая качество ШПМ, %, определяемая по таблице 4 (в случае, если ШЭ представляет собой сплошную конструкцию, $B_{шпм}$ принимается равным 100%);

$B_{сб}$ – доля баллов, характеризующая качество сборки ШЭ, %, определяемая по таблице 5;

$B_{в}$ – доля баллов, характеризующая вандалоустойчивость ШЭ, %, определяемая по таблице 6;

$B_{ср}$ – доля баллов, характеризующая агрессивность окружающей среды, %, определяемая по таблице 7;

$B_{об}$ – доля баллов, характеризующая регулярность обслуживания ШЭ во время его эксплуатации, %, определяемая по таблице 8;

T_{max} – максимально возможный срок эксплуатации ШЭ, определяемый согласно аналитическим данным, представленным в таблице 3 (столбец 3).

Практическое применение предложенной авторами формулы (1) показывает высокую сходимость рассчитанных значений с практическими результатами обследования установленных в России ШЭ, показанную на примерах, описанных ниже.

3.2. Определение прогнозируемой долговечности ШЭ из импрегнированной древесины

Шумозащитный экран высотой 5 м расположен в Псковском районе, выполнен из импрегнированной древесины, введен в эксплуатацию в 2010 г. (рисунок 2). На 2018 г. срок эксплуатации составляет 8 лет. Эстетический внешний вид ШЭ сохранен, изменения визуально не наблюдаются. Плотность шумопоглощающего материала 110 мг/м³. Осмотры регулярные.



Rис. 2. ШЭ на автомобильной дороге в Псковской области

Таблица 9

Расчет акустической долговечности ШЭ из импрегнированной древесины

Параметр	Значение параметра	Балл	Процент от макс. кол-ва баллов, %	Макс. возмож. срок эксплуатации	Акустическая долговечность
Материал	Импрегнированная древесина	70	100	25	24
Плотность ШПМ	90-120 кг/м ³	10	100		
Качество сборки	Качественная сборка	5	100		
Вандалоустойчивость	III категория	5	70		
Сочетание факторов среды	Допустимое	5	90		
Обслуживание во время эксплуатации	Регулярные осмотры	5	100		

Согласно выполненным расчетам акустическая долговечность рассматриваемого ШЭ составляет 24 года. На существующее положение (8 лет эксплуатации) ШЭ показывает высокие показатели сохранения целостности и исходной эффективности, которая согласно результатам проведенных натурных измерений составляет не менее 12 дБА на расстоянии 25 м от оси автомобильной дороги.

3.3. Определение прогнозируемой долговечности ШЭ из оцинкованной стали

Шумозащитный экран высотой 3,5 м расположен в г. Санкт-Петербург, выполнен из оцинкованной стали с толщиной металлического листа 0,78 мм, введен в эксплуатацию в 2009 г. (рисунок 3). Осмотры не регулярные. На 2018 г. срок эксплуатации составляет 9 лет. Эстетический внешний вид ШЭ потерян, визуально экран на 70-80% площади подвержен глубокой коррозии.



Рис. 3. ШЭ на автомобильной дороге в г. Санкт-Петербург

Таблица 10

Расчет акустической долговечности ШЭ из оцинкованной стали

Параметр	Значение параметра	Балл	Процент от макс. кол-ва баллов, %	Макс. возмож. срок эксплуатации	Акустическая долговечность
Материал	Оцинкованная сталь Толщина <1мм	70	40	25	11

Параметр	Значение параметра	Балл	Процент от макс. кол-ва баллов, %	Макс. возмож. срок эксплуатации	Акустическая долговечность
Плотность ШПМ	Качественная сборка	5	100		
Качество сборки	II категория	5	80		
Вандализм	Допустимое	5	90		
Сочетание факторов среды	Не регулярные осмотры	5	80		
Обслуживание во время эксплуатации	Оцинкованная сталь Толщина <1мм	70	40		

Согласно выполненным расчетам акустическая долговечность рассматриваемого ШЭ составляет 11 лет. На существующее положение (9 лет эксплуатации) ШЭ полностью потерял эстетичный вид, большая часть площади подвержена глубокой коррозии. Эффективность ШЭ согласно результатам проведенных измерений составляет не более 6 дБА на расстоянии 25 м от оси автомобильной дороги, что на 4-5 дБА ниже возможной эффективности при данной высоте ШЭ. Предположение о полной потере свойств ШЭ через 2 года является обоснованным и соответствует сложившейся динамике.

Заключение

ШЭ являются наиболее часто применяемыми на практике средствами борьбы с транспортным шумом. Ведомственные организации, такие как Федеральное дорожное агентство, ОАО «Российские железные дороги» тратят огромные денежные средства на их проектирование и установку, в связи с чем, качество и акустическая долговечность ШЭ должны быть высокими и окупать свою стоимость.

В статье рассмотрены основные, по мнению авторов, группы факторов, влияющие на акустическую долговечность ШЭ, включая материал, из которого ШЭ изготовлен, его качество сборки и установки, вандализм, качество ШПМ, регулярность осмотров в период эксплуатации, агрессивность окружающей среды. Предложена формула по расчету прогнозируемой акустической долговечности ШЭ и проведено сравнение полученных теоретических значений с результатами изменения состояния ШЭ, установленных в Российской Федерации. Получена высокая сходимость результатов.

При последующем развитии и совершенствовании описанной расчетной модели предполагается большая детализация факторов, влияющих на акустическую долговечность ШЭ.

Список литературы

1. Иванов Н.И. Инженерная акустика. Теория и практика борьбы с шумом: учебник / Иванов Н.И. - 3-е изд. перераб. и доп. – М.: Логос, 2013. – 201 с.
2. СП 34.13330.2012 Автомобильные дороги. Актуализированная редакция СНиП 2.05.02-85* (с Изменением N 1).
- 3 ГОСТ 23499-2009. Материалы и изделия звукоизоляционные и звукопоглощающие строительные все звукопоглощающие материалы и изделия.
4. СП 338.1325800.2018 Защита от шума для высокоскоростных железнодорожных линий. Правила проектирования и строительства.

Сетевой Научный Журнал "Noise Theory and Practice"

ООО "Институт акустических конструкций"
при БГТУ "ВОЕНМЕХ" им. Д.Ф. Устинова



Photo by Vladimir Matveevskiy

Главная цель

Главная цель сетевого научного Журнала "Noise Theory and Practice" – способствовать развитию виброакустики (наука о шуме и вибрации).

Основные задачи

Основными задачами Журнала являются:

- отражение последних достижений в теории и практике борьбы с шумом и вибрацией;
- отражение результатов научно-исследовательских работ по изучению процессов шумообразования, распространения звука и вибрации;
- отражение результатов разработки средств шумо- и виброзащиты, а также результатов иных работ, проводимых в области виброакустики, и выполняемых научными сотрудниками ВУЗов и иных организаций;
- предоставление сведений о планируемых конференциях, семинарах, проводимых в России и других странах;
- предоставление архивных материалов трудов научных конференций, посвященных виброакустике;

Научное цитирование Журнала

Журнал является общедоступным для чтения неограниченным числом пользователей в режиме on-line и представлен в открытом доступе с возможностью сохранения в формате pdf.

Материалы Журнала индексируются в научометрических базах Российской Индекса Научного Цитирования (РИНЦ), Google Scholar. Журнал включен в научную электронную библиотеку "КиберЛенинка"

ООО "Институт акустических конструкций"
г. Санкт-Петербург
2018