

УДК: 534.836.2
OECD: 1.03. AA

Расчет затухания шума железнодорожного транспорта в условиях сельской застройки

Васильева А.В.^{1*}, Забалканская Л.Э.², Буторина М.В.³, Васильев А.П.⁴

¹Старший преподаватель кафедры «Экология и производственная безопасность»

²К.ф.-м.н., доцент кафедры «Высшая математика»

³Д.т.н., доцент, профессор кафедры «Экология и производственная безопасность»

⁴Старший преподаватель кафедры «Экология и производственная безопасность»

^{1,2,3,4}Балтийский государственный технический университет «ВОЕНМЕХ»

им. Д.Ф. Устинова, г. Санкт-Петербург, РФ

Аннотация

В данной статье исследована зависимость снижения звука при его распространении в сельской застройке от различных параметров. Актуальность исследования обусловлена недостаточно хорошей сходимостью результатов расчета, проведенных по существующим методикам, с результатами эксперимента. В ходе исследования был определен коэффициент, связывающий такие параметры, как плотность застройки и отношение средней длины пролетов между зданиями к общей длине участка. Также приведена коррекция, учитывающая шероховатость застройки (параметр, зависящий от средней высоты зданий). Представлены формулы для определения затухания звука при его распространении в сельской застройке, по которым рассчитано затухание звука на различных участках застройки, прилегающей к железной дороге. Для всех расчетов получена хорошая сходимость с результатами эксперимента.

Ключевые слова: распространение шума, затухание звука, шум в сельской застройке, шероховатость застройки, шум железнодорожного транспорта.

Calculation of noise reduction of railway transport in conditions of rural areas

Vasilyeva A.V.^{1}, Zabalkanskaya L.E.², Butorina M.V.³, Vasiliev A.P.⁴*

¹Senior lecturer at the Department of Ecology and Industrial Safety

²PhD, Associate Professor of the Department of Higher Mathematics

³DSc, Associate Professor, Professor of the Department of Ecology and Industrial Safety

⁴Senior Lecturer of the Department of Ecology and Industrial Safety

^{1,2,3,4}Baltic State Technical University 'VOENMEH', St. Petersburg, Russia

Abstract

This article examines the dependence of sound reduction during its propagation in rural buildings on various parameters. The relevance of the study is due to the insufficiently good convergence of the calculation results carried out using existing methods with the experimental results. During the study, a coefficient was determined linking parameters such as building density and the ratio of the average length of gaps between buildings to the total length of the site. There is also a correction that takes into account the roughness of the building (a parameter that depends on the average height of buildings). Formulas for determining the attenuation of sound during its propagation in rural buildings are presented, calculations of sound

attenuation in various areas of development adjacent to the railway are carried out, according to the presented formulas for all calculations, good convergence with the experimental results is obtained.

Keywords: noise propagation, sound attenuation, noise in rural areas, roughness of buildings, noise of railway transport.

Введение

Проблема воздействия повышенных уровней шума на сельское население обусловлена тем, что железнодорожные пути часто проходят по территории поселков в непосредственной близости от жилых домов.[1] Особенностью сельской застройки являются малоэтажные (1 – 2 этажа) отдельно стоящие здания, при этом плотность застройки может быть, как очень низкая (характерная для малонаселенных поселков), так и высокая (характерная для СНТ) [2, 3]. Как показывают результаты исследования [4], существующие методики расчета распространения шума (СП 276.1325800.2016 и ГОСТ 31295.2) в условиях сельской застройки дают заниженные результаты в условиях плотной сельской застройки, что говорит о необходимости разработки более точного расчетного метода.

1. Параметры, влияющие на затухание шума в сельской застройке

В [5] были рассмотрены параметры, влияющие на снижение звука в условиях городской застройки, аналогичное исследование было проведено и для сельской застройки.

Было выдвинуто предположение, что на распространение шума влияет плотность застройки и отношение средней длины проемов между домами к общей длине рассматриваемого участка. [6, 7]. В таблице 1 представлены значения данных параметров и полученные экспериментально значения затуханий на различных участках железных дорог. На рисунках 1 и 2 представлены графики зависимостей затухания звука в застройке от данных параметров. Данные о затухании звука в застройке получены экспериментальным путем [4, 6].

Таблица 1

Значения параметров, описывающих сельскую застройку

Участок	В, плотность застройки ($S_{застр}/S_{общ}$)	р, средняя длина проемов к общей длине ($\bar{l}_{просв}/l_{общ}$)	Затухание звука, дБА
Ст. Детская	0,22	0,06	5,9
Ст. Кубинка (СНТ Авиатор)	0,09	0,05	10,2
Ст. Толоконцево	0,1	0,06	9,7
СНТ Октябрь	0,06	0,06	7,9
Ст. Абакан – ст. Абакан Сортировочная	0,11	0,15	6,4
Ст. Абинская	0,11	0,5	12,1

Участок	V , плотность застройки ($S_{\text{застр}}/S_{\text{общ}}$)	p , средняя длина проветов к общей длине ($\bar{l}_{\text{просв}}/l_{\text{общ}}$)	Затухание звука, дБА
Ст. ЗИП	0,11	0,26	7,5
Ст. Кавказская	0,09	0,43	9,9
Ст. Невинномысская	0,09	0,18	9,5
ст. Рабочий Городок – ст. Ростов Главный	0,26	0,14	7,2
Ст. Манихино–1	0,05	0,2	4,6
СНТ Клязьма	0,02	0,2	5,8
Ст. Варениковская	0,03	0,28	4,6

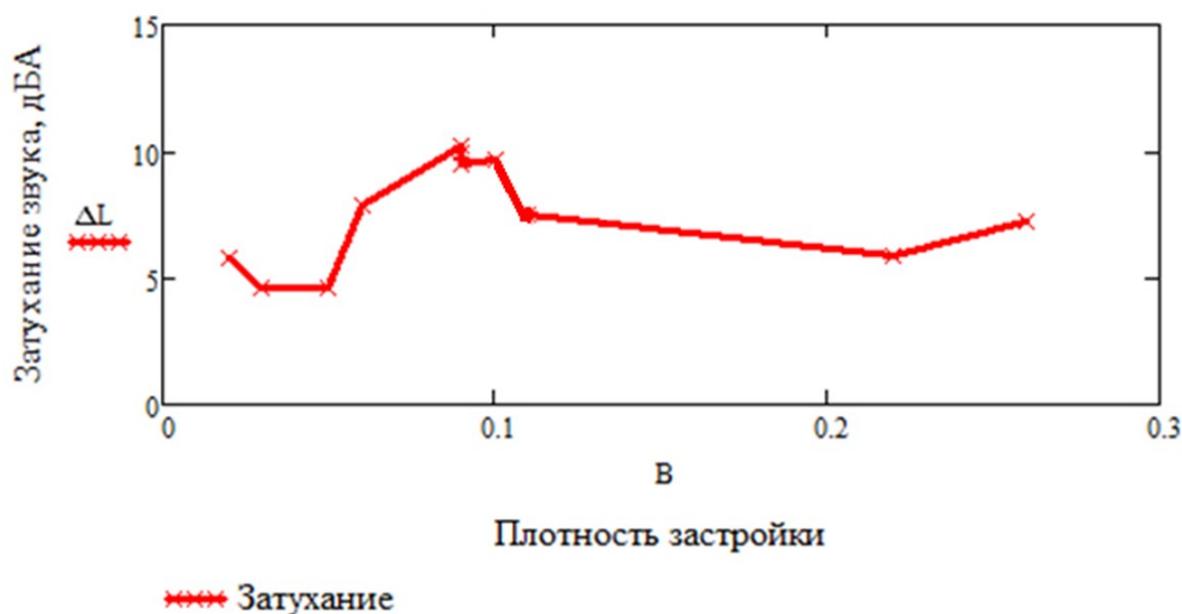


Рис. 1. График зависимости затухания звука в застройке (ΔL) от ее плотности



Рис. 2. График зависимости затухания звука в застройке (ΔL) от отношения средней длины проветов между домами к общей длине участка

В [8] приводится зависимость снижения шума в застройке от ее шероховатости (параметр, зависящий от средней высоты зданий)[9]. Для малоэтажной застройки высотой

1 – 2 этажа значение шероховатости застройки Z_0 равно 0,5-1, а среднее затухание звука составило приблизительно 7 дБА на удвоение расстояния.

По результатам исследований снижения звука при его распространении в сельской застройке был сделан вывод, что снижение звука зависит от плотности застройки, отношения средней длины проветров между зданиями к общей длине участка, а также от шероховатости застройки. Так как зависимость затухания звука в пространстве является логарифмической, было принято решение взять за основу формулу:

$$\Delta L = 10 \lg \frac{R}{r_0}, \quad (1)$$

где ΔL – снижение уровня звука в расчетной точке, дБА;

R – расстояние от источника шума до расчетной точки, м;

r_0 – опорное расстояние, м.

Данная формула нашла широкое применение и используется в различных методиках, таких как СП 23-104-2004 [10], ОДМ 218.2.013-2011 [11], СП 276.1325800.2016 [12], ГОСТ Р 54933 [13]. Для установления зависимостей от различных параметров данные методики используют коэффициент, на который умножается логарифм. [14, 15]

Для установления зависимости между снижением шума и плотностью застройки, отношением средней длины проветров между зданиями к общей длине участка используем коэффициент .

Для учета шероховатости застройки введем коррекцию $K_{\text{выс}}$, определяемую по формуле:

$$K_{\text{выс}} = 10^{(0,1 \cdot Z_0)} \quad (2)$$

Формула 1 будет иметь вид:

$$\Delta L = C \lg \frac{R}{r_0} + K_{\text{выс}}, \quad (3)$$

Для определения значения коэффициента рассмотрим его зависимость от двух параметров $C(B,p)$, где B – плотность застройки, а p – отношение средней длины проветров между зданиями к общей длине участка.

$$B = S_{\text{застр}}/S_{\text{общ}}, \quad (4)$$

где $B = S_{\text{застр}}$ – площадь участков под домами, м²;

$B = S_{\text{общ}}$ – площадь рассматриваемого участка, м².

$$p = \bar{l}_{\text{просв}}/l_{\text{общ}}, \quad (5)$$

где $\bar{l}_{\text{просв}}$ – средняя длина проветров между зданиями, м;

$l_{\text{общ}}$ – длина рассматриваемого участка, м.

Значения C были определены по имеющимся экспериментальным данным о затуханиях на участках и данным о параметрах застройки (таблица 1).

Предполагая наличие функциональной зависимости, аппроксимируем эту зависимость функцией вида:

$$f(x,y) = K_1 + K_2 x + K_3 y + K_4 xy + K_5 x^2 + K_6 y^2 \quad (6)$$

Коэффициенты определяются методом наименьших квадратов, т.е. находятся коэффициенты, обеспечивающие минимум следующего функционала:

$$\sum_{i=1}^n [C_i - [K_1 + K_2 B_i + K_3 p_i + K_4 B_i p_i + K_5 B_i^2 + K_6 p_i^2]]^2 \quad (7)$$

Мерой «близости» значений аппроксимирующей функции к значениям, полученным с использованием результатов измерений, будет считаться усреднённая по всем точкам среднеквадратичная разность значений, полученных по результатам измерений, и значений аппроксимирующей функции в этих же точках т.е.

$$DS = \frac{\sum_{i=1}^n [C_i - [K_1 + K_2 B_i + K_3 p_i + K_4 B_i p_i + K_5 B_i^2 + K_6 p_i^2]]^2}{n} \quad (8)$$

Получены следующие коэффициенты аппроксимирующей функции:

$$K^T = (29,889 \quad -99,519 \quad -60,681 \quad 829,942 \quad -28,193 \quad -0,538), \quad (9)$$

при этом $DS = 1,485$.

Таким образом, значения коэффициента C могут быть рассчитаны по формуле:

$$C = 29,9 - 99,5B - 60,7p + 829,9Bp - 28,2B^2 - 0,5p^2, \quad (10)$$

где B – соотношение длины и ширины зданий, определяемое по формуле 4;
 p – отношение средней длины пролетов между зданиями к общей длине участка, определяемое по формуле 5.

Предлагаемая формула для расчета снижения звука в застройке имеет вид:

$$\Delta L = C \lg \frac{R}{r_0} + K_{\text{выс}}, \quad (11)$$

где ΔL – снижение уровня звука в расчетной точке, дБА;

C – коэффициент, зависящий от параметров застройки;

R – ширина участка застройки, м;

r_0 – опорное расстояние, м;

$K_{\text{выс}}$ – коррекция, учитывающая шероховатость застройки, дБА (для сельской застройки принимаемая 1,3).

2. Расчет распространения шума в сельской застройке

Для подтверждения корректности предложенных расчетных формул, были проведены расчеты затухания звука в различных типах застройки. Так как данные формулы могут быть применены только для жилой сельской застройки, расчет проводился для тех расстояний от железной дороги, на которых есть застройка.

На рисунке 3 представлены схемы расположения расчетных точек (точек, в которых проводились измерения) для некоторых участков.

В таблице 2 представлены результаты, полученные экспериментальным путем, рассчитанные по формуле 6 и рассчитанные по ГОСТ 31295.2-2005.



Рис. 3. Примеры схем расположения контрольных точек

Таблица 2

Анализ затухания шума в застройке

№ п/п	Участки	Результаты снижения шума, дБА, полученные по		
		Эксперимент	ГОСТ 31295.2	Расчетные формулы
Затухание 25-50 м, дБА				
1	Ст. Абакан – ст. Абакан Сортировочная	7,3	4,4	8,8
Затухание 50-100 м, дБА				
2	Ст. Толоконцево	6,30	4,4	8,3
3	СНТ Октябрь	8,40	4,0	8,2

№ п/п	Участки	Результаты снижения шума, дБА, полученные по		
		Эксперимент	ГОСТ 31295.2	Расчетные формулы
Затухание 50-100 м, дБА				
4	Ст. Абакан – ст. Абакан Сортировочная	7,30	4,0	8,8
5	Ст. ЗИП	6,40	4,4	8,26
6	ст. Рабочий Городок – ст. Ростов Главный	8,3	4,9	7,2
7	Ст. Варениковская	9,4	4,9	8,8
Затухание 100-200 м, дБА				
8	Ст. Детская	5,9	5,9	5,5
9	Ст. Кубинка (СНТ Авиатор)	10,2	5,3	7,7
10	Ст. Толоконцево	9,7	5,4	7,6
11	СНТ Октябрь	7,9	1,4	8,2
12	Ст. Абинская	12,1	4,8	11,4
13	Ст. ЗИП	7,5	5,8	9,3
14	Ст. Кавказская	9,9	2,4	9,3
15	Ст. Невинномысская	9,5	4,9	8,3
16	ст. Рабочий Городок – ст. Ростов Главный	7,2	5,5	8,4
17	СНТ Клязьма	6,0	5,8	7,0
18	Ст. Варениковская	5,0	4,6	6,3

На рисунке 4 предоставлено графическое отображение результатов, полученных в таблице 2.

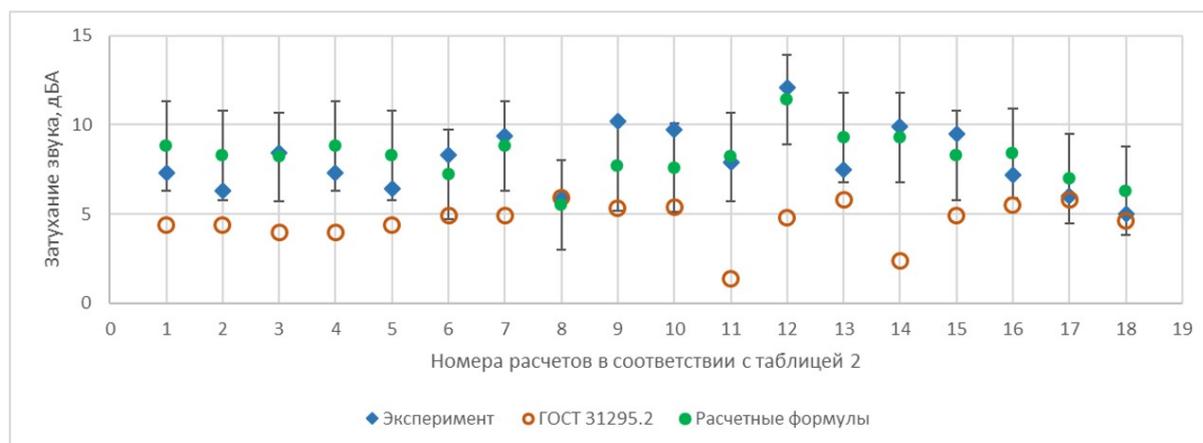


Рис. 4. График затуханий звука, полученных различными способами

Проанализировав результаты расчетов в таблице 2 и график на рисунке 3, можно сделать вывод, что разница результатов, полученных по расчетным формулам с результатами эксперимента не превышает 2,5 дБА, что можно считать хорошей сходимостью [16]. При этом сходимость расчетов по ГОСТ 31295.2 с результатами эксперимента намного ниже: разница между значениями, полученными экспериментальным и расчетным путем, достигает 7,5 дБА. Это позволяет сделать вывод, что расчет по предлагаемым формулам является более точным, чем расчет по ГОСТ.

Заключение

Как показывают результаты проведенных исследований, существующие методики расчета распространения звука в условиях сельской застройки, дают неудовлетворительную сходимость с результатами экспериментов. Были найдены зависимости величины затухания звука в застройке от ее плотности и отношений средней длины просветов между зданиями к общей длине рассматриваемого участка.

На основании данных, полученных экспериментальным путем, был найден коэффициент, связывающий два эти параметра, а также определена коррекция, зависящая от шероховатости застройки.

Представленные в данной статье расчетные формулы позволяют проводить расчеты уровней звука на территории сельской жилой застройки и имеют лучшую сходимость с результатами эксперимента, чем существующие расчетные методики.

Список литературы

1. Иванов Н.И. Проблема шума железнодорожного транспорта и пути ее решения / Н. И. Иванов, Д.А. Куклин // Защита населения от повышенного шумового воздействия: Сборник докладов III Всероссийской научно-практической конференции с международным участием, Санкт-Петербург, 22–24 марта 2011 года / Под редакцией Н.И. Иванова. – Санкт-Петербург: ИННОВА, 2011. – С. 108-123.
2. Федоров А.Н. Современный взгляд на сельскую жилую усадьбу / А.Н. Федоров, А.А. Варанкина, Е.А. Сенникова // Системные технологии. – 2021. – № 3(40). – С. 116-125.
3. Крашенинников И.А. Плотность и пористость городской ткани как характеристики застройки / И.А. Крашенинников // Теория и история архитектуры. – 2021. – № 4. – С. 44-64.
4. Шабарова, А.В. Сравнение методов расчета распространения шума железнодорожного транспорта в различных типах застройки / А.В. Шабарова, М.В. Буторина, Д.А. Куклин // Noise Theory and Practice. – 2022. – Т. 8, № 3(30). – С. 16-33.
5. Васильева А.В. Зависимость снижения шума железнодорожного транспорта в городской застройке от ее параметров / А.В. Васильева // Noise Theory and Practice. – 2024. – Т. 10, № 3(10). – С. 60-68.
6. Дроздова Л.Ф. Оценка снижения уровней шума зданиями различной формы / Л.Ф. Дроздова, М.В. Буторина, Д.А. Куклин // Noise Theory and Practice. 2020. №4 (22) С. 95-102.
7. Germanova, T. Important factor in generating acoustic environment within the territories adjacent to highways / T. Germanova // Akustika. – 2021. – Vol. 41. – P. 79-82.
8. Шабарова А.В. Снижение шума железнодорожного транспорта в различных типах жилой застройки / А.В. Шабарова, М.В. Буторина // Акустика среды обитания:

IX всероссийская конференция молодых ученых и специалистов, Москва, 23-24 мая 2024 года. – Москва: МГТУ им. Баумана, 2024. – С. 408-414.

9. Сумеркин Ю.А. Моделирование тепловой нагрузки на территории городского двора в условиях плотной застройки: специальность 2.1.10 диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук: / Сумеркин Юрий Алексеевич – Москва, 2023. 120 с.

10. СП 23-104-2004 Оценка шума при проектировании, строительстве и эксплуатации объектов метрополитена. официальное издание М.: Госстрой России, ФГУП ЦПП, 2004 год.

11. ОДМ 218.2.013-2011 «Методические рекомендации по защите от транспортного шума территорий, прилегающих к автомобильным дорогам». Отраслевой дорожный методический документ от 13.12.2012 N 218.2.013-2011.

12. СП 276.1325800.2016 Здания и территории. Правила проектирования защиты от шума транспортных потоков (с Изменениями N 1, 2) Официальное издание. М.: Стандартинформ, 2017 год.

13. ГОСТ Р 54933-2012 Шум. Методы расчета уровней внешнего шума, излучаемого железнодорожным транспортом. Официальное издание. М.: Стандартинформ, 2013 год.

14. Голубничий А.А., Шимкив А.В., Сайфуллин В.Р. Эволюция базовой статистической модели расчета транспортного шума // Современные научные исследования и инновации. 2015. № 1. Ч. 1 [Электронный ресурс]. URL: <https://web.snauka.ru/issues/2015/01/43485> (дата обращения: 14.10.2024).

15. Куклин Д.А. Расчёт внешнего шум поездов / Д.А. Куклин, П.В. Матвеев // Noise Theory and Practice. 2015. №2 (2). С. 41-51

16. Буторина М.В. Учет погрешностей при построении карт шума / М.В. Буторина, А.В. Осетров, В.В. Светлов, К.П. Фиев // Noise Theory and Practice. - 2020. - Т. 6. - № 4(22). - С. 81-89.

References

1. Ivanov N.I. The problem of railway transport noise and ways to solve it / N. I. Ivanov, D. A. Kuklin // Protection of the population from increased noise exposure: Collection of reports of the III All-Russian scientific and practical conference with international participation, St. Petersburg, March 22-24, 2011 / Edited by N. I. Ivanov. - St. Petersburg: INNOVA, 2011. - Pp. 108-123.

2. Fedorov A.N. A modern look at a rural residential estate / A. N. Fedorov, A. A. Varankina, E. A. Sennikova // System technologies. - 2021. - No. 3 (40). - Pp. 116-125.

3. Krasheninnikov I.A. Density and porosity of urban fabric as characteristics of development / I. A. Krasheninnikov // Theory and history of architecture. – 2021. – No. 4. – P. 44-64.

4. Shabarova, A.V. Comparison of methods for calculating the propagation of railway transport noise in various types of development / A.V. Shabarova, M.V. Butorina, D.A. Kuklin // Noise Theory and Practice. – 2022. – Vol. 8, No. 3(30). – P. 16-33.

5. Vasilyeva A.V. Dependence of railway transport noise reduction in urban development on its parameters / A.V. Vasilyeva // Noise Theory and Practice. – 2024. – Vol. 10, No. 3(10). – P. 60-68.

6. Drozdova L.F. Assessment of noise reduction by buildings of various shapes / L.F. Drozdova, M.V. Butorina, D.A. Kuklin // Noise Theory and Practice. 2020. No. 4 (22) pp. 95-102.

7. Germanova, T. Important factor in generating acoustic environment within the territories adjacent to highways / T. Germanova // *Akustika*. – 2021. – Vol. 41. – P. 79-82.
8. Shabarova A.V. Noise reduction of railway transport in various types of residential buildings / A.V. Shabarova, M.V. Butorina // *Acoustics of the environment: IX All-Russian Conference of Young Scientists and Specialists, Moscow, May 23-24, 2024*. – Moscow: Bauman Moscow State Technical University, 2024. – pp. 408-414.
9. Sumerkin Yu.A. Modeling of thermal load on the territory of a city courtyard in conditions of dense construction: specialty 2.1.10 dissertation for the degree of candidate of technical sciences: / Sumerkin Yuri Alekseevich – Moscow, 2023. 120 p.
10. SP 23-104-2004 Noise assessment in the design, construction and operation of metro facilities. the official publication of Moscow: Gosstroy of Russia, FSUE CCI, 2004.
11. ODM 218.2.013-2011 "Methodological recommendations for the protection of territories adjacent to highways from traffic noise". Industry road methodological document dated 13.12.2012 N 218.2.013-2011.
12. SP 276.1325800.2016 Buildings and territories. Rules for the design of noise protection of traffic flows (with Amendments N 1, 2) Official publication. Moscow: Standartinform, 2017.
13. GOST R 54933-2012 Noise. Methods for calculating the levels of external noise emitted by railway transport. Official publication. Moscow: Standartinform, 2013.
14. Golubnichy A.A., Shimkiv A.V., Saifullin V.R. Evolution of the basic statistical model for calculating transport noise // *Modern scientific research and innovation*. 2015. No. 1. Part 1 [Electronic resource]. URL: <https://web.snauka.ru/issues/2015/01/43485> (date of access: 14.10.2024).
15. Kuklin D.A. Calculation of external noise of trains / D.A. Kuklin, P.V. Matveev // *Noise Theory and Practice*. 2015. No. 2 (2). P. 41-51
16. Butorina M.V. Accounting for errors when constructing noise maps / M.V. Butorina, A.V. Osetrov, V.V. Svetlov, K.P. Fiev // *Noise Theory and Practice*. – 2020. – Vol. 6. – № 4(22). – pp. 81-89.