

УДК: 331.451
OECD: 01.03.AA

Исследование акустической эффективности насыпи для снижения транспортного шума

Борцова С.С.^{*1}, Фиев К.П.², Курченко П.С.³

¹К.т.н., старший преподаватель, ²Старший преподаватель,

³К.т.н., старший преподаватель,

^{1,2,3}Балтийский Государственный Технический Университет «ВОЕНМЕХ»
им. Д.Ф. Устинова, г. Санкт-Петербург, РФ

Аннотация

Земляные валы и насыпи - экологичные и экономически эффективные шумозащитные мероприятия. Но в отличие от экранов, оценка акустической эффективности которых изучена достаточно полно и корректна, методики расчёта акустической эффективности насыпей и валов не точны, носят противоречивый характер и не позволяют однозначно сравнить их с другими экранирующими сооружениями. Отличия в результатах расчетов, выполненных по действующим нормативным документам, и данных экспериментальных исследований составляют до 10 дБА. На основании анализа ряда методик оптико-дифракционной теории и их сравнения с экспериментальными данными, авторами предложены модифицированные формулы акустической эффективности насыпи с точностью оценки 1-3 дБ в рассматриваемом диапазоне частот. Были уточнены схемы расчёта и учтены звукопоглощающие свойства сооружения.

Ключевые слова: шумозащитная насыпь, шумозащитный вал, акустическая эффективность, звукопоглощение, схемы расчёта

Investigation of the acoustic efficiency of the excavation to reduce traffic noise

*Bortsova S.S.*¹, Fiev K.P.², Kurchenko P.S.³*

¹PhD, Senior Lecturer, ²Senior Lecturer, ³PhD, Senior Lecturer,

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

Abstract

Earthen berms and embankments are ecological and cost-effective noise protection measures. But unlike screens, the evaluation of the acoustic efficiency of which has been studied quite fully and correctly, the methods for calculating the acoustic efficiency of embankments and berms are not accurate, contradictory and do not allow them to be unambiguously compared with other barrier structures. The differences in the results of calculations counted according to current regulatory documents and experimental studies are up to 10 dBA. Based on the analysis of optical diffraction theory techniques and their comparison with experimental data, the author proposes modified formulas for the acoustic efficiency of the embankment with an accuracy of 1-3 dB in the frequency range under consideration. The calculation schemes were refined and the sound-absorbing properties of the structure were taken into account.

Keywords: noise-proof embankment, noise berm, acoustic efficiency, sound absorption, calculation schemes

**E-mail: bortsova_ss@voenmeh.ru (Борцова С. С.)*

Введение

По масштабам применения шумозащитные насыпи (земляные валы) - вторая по распространению конструкция барьерного типа после акустических экранов. Для их возведения применимы остатки грунта от проложения дороги, вторичные материалы [1], известны случаи устройства в теле насыпи гаражей, авторемонтных и коммуникационных объектов, размещение на сооружении солнечных батарей [2]. Насыпи и валы долговечны, что позволяет сократить затраты на эксплуатацию и реконструкцию, имеют эстетичный естественный вид, вписываются в ландшафт. Эти факторы увеличивают экономическую эффективность сооружения.

Отмеченный и доказанный эффект двойной дифракции позволяет грунтовым валам полноценно конкурировать с экранами для защиты малоэтажной застройки [3-5]. Однако, по действующим нормативным документам дифракция на двух кромках учитывается только в ГОСТ 31295.2-2005 [6] для расчёта толстых экранов и в СП276.1325800.2016 [7], ОДМ 218.2.013-2011 [8] для грунтовых валов с шириной верхней площадки 4-10 метров. Модель распространения звука предусматривает его прохождение над верхней площадкой насыпи, а в ГОСТе [6] к расчёту эффективности дополнительно применена поправка, значение которой увеличивается с ростом частоты и ширины верхней площадки сооружения (при ширине много больше длины волны поправка принимается равной 3).

При ширине площадки менее 4 м документы [7, 8] полагают насыпь сооружением с одной дифракцией на вершине по центру (при ширине менее 2 м) или на кромке, дальней от источника шума (при ширине 2-4 м). Эффективность насыпей с площадкой более 10 м рассчитывается как эффективность экрана под дальней кромкой, увеличенная на определяемый по номограмме в зависимости от расположения сооружения параметр (со значениями 3-9) и логарифм ширины верхней площадки, из которой вычитается поправка на склон (её значения 4-6). В ГОСТе 33325-2015 [9] приводится аналогичная схема, но поправка на склон прибавляется. Только за счёт указанной поправки разница в расчётах эффективности насыпи по нормативным документам может достичь 10-12 дБА.

Расположение дифракционной кромки и их количество определяют эффект снижения шума экранирующим сооружением. По оптико-дифракционной теории, на которой основаны действующие нормативные документы [6-9], акустическая эффективность насыпи возрастает с увеличением пути распространения звука в присутствии сооружения. Очевидно, форма задаёт координаты дифракционных кромок, но не всегда представляется возможным уменьшить уклон сооружения или увеличить ширину верхней площадки в рамках технологий возведения. Главным параметром, влияющим на эффективность насыпи, является высота сооружения.

Поэтому ввиду отсутствия в литературе надежных экспериментальных данных о связи высоты насыпи с её акустической эффективностью, а также выявленных противоречий были выполнены измерения и получены экспериментальные зависимости акустической эффективности насыпи от высоты. Их сопоставление с результатами расчётов по нормативным документам позволит уточнить акустическую эффективность насыпи для защиты от транспортного шума.

Также стоит отметить влияние длины (или боковой дифракции) насыпи на её эффективность. При проектировании стремятся к возведению экранирующих сооружений длинной, в 4-4,5 раза превышающей расстояние до крайних точек защищаемых строений или используют боковые отгоны. При отсутствии такой возможности эффективность защиты снижается, учёт чего возможен поправкой на длину [7, 8]. Это утверждение не подвергается сомнению и проверке.

Также влияние на эффективность оказывают звукопоглощающие(отражающие) свойства поверхностей сооружения, отличия которых от свойств экрана не указаны в нормативных документах [7-9].

1. Экспериментальная эффективность земляных валов

Для оценки акустической эффективности возводимых в регионе насыпей (уклон 1,5:1, ширина верхней площадка 3-5 м, поверхность – грунт, покрытый травой) выполнены экспериментальные исследования. Принято считать уклоном отношение проекции обращённого к источнику шума склона сооружения к его высоте.

Методика измерений основывалась на ГОСТ 33328 [10], ГОСТ Р 51943 [11], СП 51.13330 [12], ГОСТ 23337 [13] и ГОСТ 20444 [14].

Измерения шумовых характеристик транспортных потоков проводились с помощью шумомеров-виброметров, анализаторов спектра первого класса точности типа «ЭКОФИЗИКА-110А» и «ОКТАВА-110А», имеющих действующие свидетельства о поверке согласно ГОСТ 20444 [14].

При проведении измерений температура и относительная влажность воздуха соответствовали требованиям, указанным в паспортных данных на аппаратуру, атмосферные осадки и туман отсутствовали, скорость ветра не превышала 5 м/с. При скорости ветра свыше 1 м/с на микрофон надевалась ветрозащита [13]. Время проведения измерений выбиралось в периоды максимальной интенсивности движения транспортных потоков как в дневное, так и в ночное время [14]. С целью измерения акустической эффективности насыпи, расположение крайней точки принимается на расстоянии 25 м от её подошвы; при оценке снижения шума у конкретных объектов – на расстоянии 2 м от фасада защищаемого здания; при сравнительной оценке разных по конструктивному исполнению сооружений точки должны располагаться на одинаковом расстоянии от дороги. Приборы в измерительных точках должны располагаться на высоте 1,5 м от поверхности земли (на штативах). Ось микрофона была ориентирована в сторону источника шума перпендикулярно к направлению дороги. Между микрофоном и транспортным потоком отсутствовали препятствия, искажающие звуковое поле. Схемы измерения уровней звукового давления (УЗД) и уровней звука (УЗ) с насыпью приведены на рисунке 1а, также должны проводиться измерения без сооружения в основных точках на подобных местностях. Измерения в точке 1 выполняются с целью оценки характеристик источника шума (автотранспортного потока), её расстояние от автомобильной дороги составляет 7,5 м от оси ближней полосы движения.

Время измерения эквивалентных уровней звука осуществлялось с учетом п. 7.17 ГОСТ 23337 [13] и п. 7.1.5 ГОСТ 20444 [14] в зависимости от интенсивности движения, указанные условия соблюдались в течение не менее 30 минут.

Расширенная неопределённость измерений определялась согласно п. 9 ГОСТ 20444 [14]. Для исключения погрешности измерения соблюдались требования [14]. Если расстояние от точки измерения до ближайшей вертикальной или наклонной поверхности (например, стена здания, забор, экран, насыпь и т.п.) не превышало 2,5 м, то результаты измерений шумовой характеристики транспортного потока уменьшались на 3 дБ (дБА) для исключения влияния отражения звука от отражающей поверхности. Если разность между измеренным уровнем шума от транспортного потока и уровнем фонового шума не превышала 10 дБ (дБА), вносилась коррекция в результаты измерения согласно п.8.2 ГОСТ 20444. Для контроля достоверности эксперимента, в ряде случаев проводились измерения в контрольных точках, находящихся между основными измерительными точками.

Акустическая эффективность оценивалась непрямым методом как разность УЗД/УЗ между усредненными значениями в основных измерительных точках без насыпи и с её наличием:

$$\Delta L^H = (\bar{L}_{6/H}^1 - \bar{L}_{6/H}^3) - (\bar{L}_{c/H}^1 - \bar{L}_{c/H}^3), \quad (1)$$

где ΔL^H – акустическая эффективность насыпи, дБ/дБА;

$\bar{L}_{6/H}^1, \bar{L}_{6/H}^3$ – усреднённые значения УЗД/УЗ, дБ/дБА, в точках 1 и 3 на ровном участке;

$\bar{L}_{c/H}^1, \bar{L}_{c/H}^3$ – усредненные значения УЗД/УЗ, дБ/дБА, в точках 1 и 3 с насыпью.

В случае отсутствия возможности оценки шумовой характеристики транспортного потока (проведения измерений УЗД/УЗ в точке 1) допускается расчёт акустической эффективности насыпи как .

Полученные значения экспериментальной акустической эффективности насыпей разной высоты приведены на рисунке 1б. Она нелинейно возрастает в частотном диапазоне (2-5 дБ на октаву), а также с увеличением высоты сооружения.

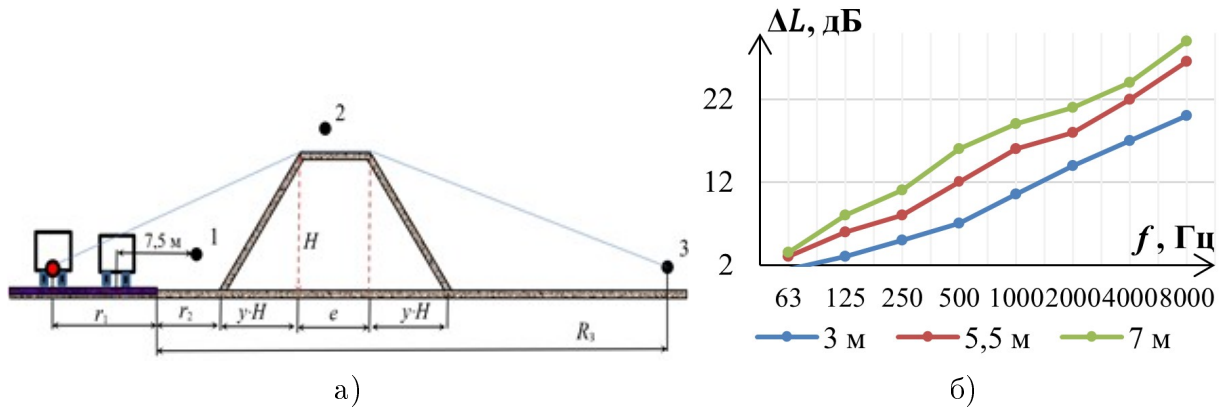


Рис. 1. Акустическая эффективность насыпи: а) схема измерения: 1, 3 – основные измерительные точки, 2 – контрольная точка; б) экспериментальные зависимости от высоты насыпи (3 м; 5,5 м; 7 м)

H, y, e – высота, уклон и ширина верхней площадки насыпи, м; R_3 – расстояние от края проезжей части до защищаемой застройки, м; r_1 – расстояние от центра источника шума до края проезжей части, определяется в зависимости от категории дороги, м; r_2 – расстояние от края проезжей части до насыпи, определяется технологией возведения сооружения, м.

Сравнение значений экспериментальной акустической эффективности с рассчитанными по действующим методикам для насыпи высотой 5,5 м представлено в таблице 1.

Оцениваемые насыпи имеют ширину площадки менее 10 м, при расчётах по СП [7] и ОДМ [8], а также по ГОСТ [6] учитывалась дифракция на двух кромках с прохождением звука пути шириной верхней площадки. Для защиты объекта высотой ниже сооружения (1,5 м):

$$\delta = \sqrt{(r_1 + r_2 + y \cdot H)^2 + (H - h_{\text{нш}})^2} + e + \sqrt{(R_3 - r_2 - yH - e)^2 + (H - h_{\text{пт}})^2} - \sqrt{(r_1 + R_3)^2 + (h_{\text{пт}} - h_{\text{нш}})^2}, \quad (2)$$

где δ – разница хода звукового луча при наличии насыпи, м; H, y, e – высота, уклон и ширина верхней площадки насыпи, м; $h_{\text{иш}}, h_{\text{рт}}$ – высота источника шума и расчётной точки, м.

Таблица 1

Расхождения в расчётах акустической эффективности насыпи с данными эксперимента

Методика расчёта	Разница расчётных и экспериментальной эффективностей насыпи								
	дБ, в октавных полосах со среднегеометрическими частотами, Гц								дБА
	63	125	250	500	1000	2000	4000	8000	
ГОСТ [6]	4,9	3,8	4,6	4,4	4,7	6,5	5,7	4,3	4,7
ГОСТ [9]	15,0	13,7	13,8	12,4	11,1	12,0	10,9	9,4	11,1
СП [7]/ ОДМ[8]	6,0	5,3	6,0	5,0	4,0	5,0	4,0	2,5	-1,4/ 1,8
СП [6]*	3,4	2,1	2,2	0,8	-0,5	0,4	-0,7	-2,2	-5,3

* - расчёт по формуле для насыпей с шириной верхней площадки более 10 м

Поправка на дифракцию [6] на двух кромках рассчитывалась по формуле:

$$K_{\text{диф}} = \frac{1 + (5\lambda/e)^2}{1/3 + (5\lambda/e)^2}, \quad (3)$$

где λ – длина звуковой волны, м.

Эффективность в дБА по ГОСТам [6, 9] принимается равной эффективности для октавной полосы 1000 Гц, по СП и ОДМ [7, 8] по значению для длины волны 0,84 м.

Анализ таблицы 1 показывает, что расчёты по нормативным документам превышают экспериментальные значения эффективности. Учёт дифракции поправкой ГОСТа [6] даёт правильную зависимость. Значение поправки увеличивается с увеличением частоты (снижением длины звуковой волны), поэтому рассчитанная по ГОСТ [9] и СП [7] эффективность существенно уступает экспериментальной в низкочастотном диапазоне. Расчёт по формуле, представленной в ГОСТе [9] даёт значения на 9-15 дБ выше измеренных. При этом, если использовать аналогичную формулу СП [7] для насыпей с площадкой более 10 м, из-за вычитания поправки на склон, составляющей для рассматриваемой насыпи 5,8, получаются достаточно сходимые в среднечастотном диапазоне значения эффективностей. Однако, на низких частотах значения расчётной эффективности превышают экспериментальную на 2-4 дБ, в высокочастотной области, наоборот, ниже в среднем на 2 дБ. Интегральное значение эффективности меньше экспериментальной на 5 дБА из-за принятой длины звуковой волны. Аналогичные выводы были получены и при сравнении расчётных и экспериментальных эффективностей насыпей других высот (расхождения пропорциональны высоте).

2. Модифицированные формулы расчёта акустической эффективности шумозащитной насыпи

Расположение дифракционных кромок, отличающееся в нормативных документах, оказывает незначительное влияние на акустическую эффективность насыпи. Более существенное влияние на её значение имеет использование поправки на склон,

которая согласно методике СП [7] нелогично уменьшит эффективность сооружения сразу на 5-6 дБ/дБА при увеличении ширины его верхней площадки с 9 м до 10 м и на 10-12 дБ/дБА при сравнении с расчётами по ГОСТу [9]. Поэтому стоит избегать методик, использующих поправку на склон, и при рассмотрении земляных насыпей традиционных уклонов 1:1-2:1 уже при ширине верхней площадки от двух метров учитывать две дифракционные кромки и поправку на дифракцию.

Также целесообразно проанализировать звукопоглощающие свойства поверхности экранирующих конструкций. Эффективность насыпи рассчитывается по подобию экрана, а его звукопоглощающие свойства, как отмечено в нормативных документах (к сожалению, без частотной зависимости), дают отличия в пределах 3 дБ/дБА. С учётом результатов таблицы 1 логичнее принять поправку 3 дБ/дБА для поглощающих экранов, тогда для грунтовых сооружений данную поправку можно представить как:

$$K_m = 3 + 10lg(1 - \alpha_{\text{покp}}), \text{ дБ} \quad (4)$$

где K_m - введенная поправка на материал сооружения, дБ/дБА; $\alpha_{\text{покp}}$ - частотнозависимый коэффициент звукопоглощения покрытия экранирующего сооружения: 0,1-0,4 для земляных сооружений, покрытых травой; 0–0,8 для транспортных экранов [15]. Для октавной полосы 1000 Гц поправка на материал насыпи составляет 1,5 дБА, поглощающего экрана - 0 дБА, отражающего экрана - 3 дБА.

Ограничением формулы (4) является значение $\alpha_{\text{покp}}$ равное 1. Как показывают экспериментальные [5, 15] и литературные [4] данные, его величина во всем рассматриваемом частотном диапазоне не превышает единицы.

Стоит отметить, что необходимы уточнения (в том числе, на основании полученных экспериментально данных) значений поправок на материал и дифракцию на двух кромках, формул (3) и (4).

Модифицированную формулу ГОСТа [6] для расчёта акустической эффективности насыпи (ΔL^n) можно представить как:

$$\Delta L^n = 10lg(3 + 20 \cdot K_{\text{диф}} \cdot \delta/\lambda) - K_m - K_d, \text{ дБ} \quad (5)$$

где δ - разница хода звукового луча при наличии насыпи, рассчитывается по формуле (2), м; λ - длина звуковой волны, м; $K_{\text{диф}}$, K_m , K_d - поправки на дифракцию, материал и длину насыпи, дБ/дБА.

Расчёты акустической эффективности по формуле (5) и данные, полученные экспериментально, представлены в таблице 2. Поправка $K_{\text{диф}}$ рассчитывалась только в зависимости от длины волны, ширина верхней площадки учитывалась при дивергенции звука, поправка K_m - по формуле (4), поправка K_d принималась равной 0 дБ/дБА, т.к. исследовались протяжённые насыпи. В качестве эффективности в дБА приняты значения эффективности для октавной полосы со среднегеометрической частотой 1000 Гц, характерной для шума транспортного потока, в отношении которого была произведена оценка.

Сравнение расчётов акустической эффективности насыпи по модифицированной формуле (5) показывает приемлемую сходимость с экспериментом в пределах трёх децибел во всём рассматриваемом диапазоне частот и до 0,5-1,5 в дБА. Результаты сравнения для трёх и семиметровых насыпей, дБ, а также зависимость акустической эффективности насыпи от высоты с принятыми поправками, дБА, представлены на рисунке 2.

На рисунке 2 также отражена зависимость акустической эффективности насыпи, рассчитанная по ОДМ [8], дополненная поправкой:

$$\Delta L^n = 18,2 + 7,8lg(\delta + 0,02) - K_m, \text{ дБА} \quad (6)$$

Таблица 2

Акустическая эффективность насыпи: расчётная и экспериментальная

Методика определения	Акустическая эффективность насыпи								
	дБ, в октавных полосах со среднегеометрическими частотами, Гц								дБА
	63	125	250	500	1000	2000	4000	8000	
$\alpha_{\text{покp}}[15]$	0,11	0,15	0,20	0,25	0,29	0,30	0,30	0,30	0,30
$K_{\text{м}}$	2,5	2,3	2,0	1,8	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5
$K_{\text{д}}$	0,9	1,0	1,1	1,2	1,5	1,8	1,9	2,0	1,5
Насыпь 3 м									
Эксперимент	1,5	3,0	5,0	7,0	10,5	14,0	17,0	20,0	11,0
Формула (5)	3,1	4,1	5,6	7,9	11,2	14,5	17,8	20,8	11,2
Насыпь 5,5 м									
Эксперимент	3,0	6,0	8,0	12,0	16,0	18,0	22,0	26,5	16,0
Формула (5)	5,2	7,4	10,1	13,5	17,5	21,1	24,5	27,6	17,5
Насыпь 7 м									
Эксперимент	3,5	8,0	11,0	16,0	19,0	21,0	24,0	29,0	19,0
Формула (5)	6,5	9,2	12,2	15,7	19,8	23,5	26,9	30,0	19,8

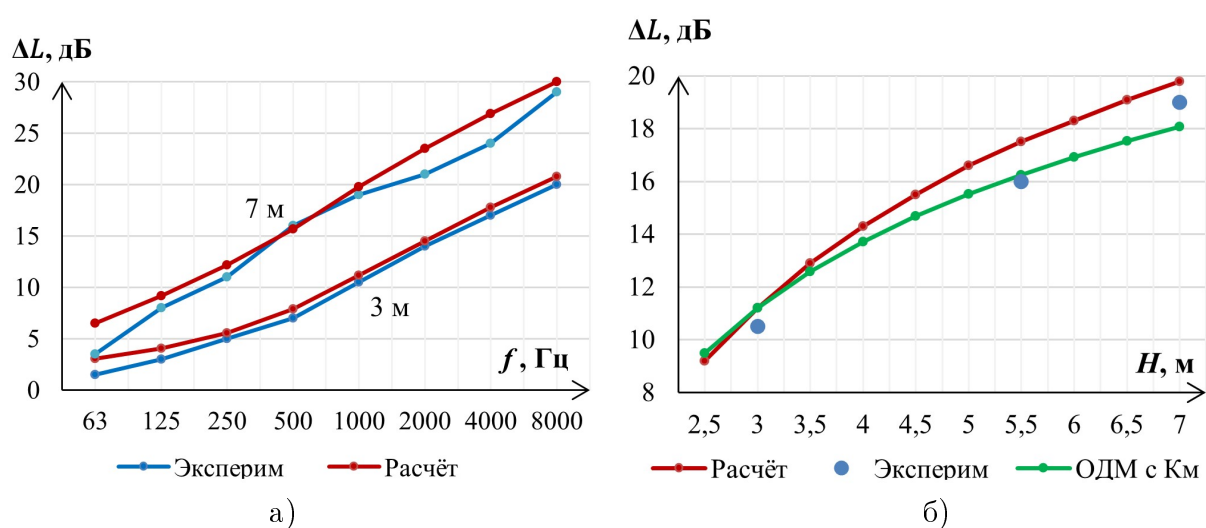


Рис. 2. Акустическая эффективность насыпи: а) сравнение расчётной и экспериментальной; б) зависимость от высоты

Модифицированная формула акустической эффективности насыпи (4) применима для сооружений с отличными от исследуемых конструктивными параметрами. Изменение уклона и ширины верхней площадки при расчётах дают верную зависимость [5]. Однако необходимы более широкие экспериментальные подтверждения. Звукопоглощающие (отражающие) свойства конструкций при использовании методики определяются только коэффициентом звукопоглощения. Их литературные значения подтверждают теорию, необходимо и экспериментальное подтверждение для насыпей из разных видов грунтов, камня, вторичных материалов и др.

Помимо достаточно точной оценки, приведённая методика расчёта акустической эффективности упрощает сравнение экранирующих конструкций и сооружений, позволяя

рассчитывать их эффективность по одной формуле (5), принимая соответствующие значения поправок.

Заключение

Для акустической защиты удалённых от дороги жилых территорий довольно эффективными являются шумозащитные насыпи и валы. Они естественным образом вписываются в окружающий ландшафт, имеют большой срок службы и экономичны в содержании. Размещение в теле насыпи технических объектов или солнечных батарей на её поверхностях способно окупить не только затраты на эксплуатацию сооружений, но и покрыть потребности дорог.

Однако неточная и противоречивая оценка акустической эффективности этих сооружений препятствует их широкому распространению. Расхождения в расчётах являются следствием отличий в расположении дифракционной кромки насыпи (траектории распространения звука), их количестве, использовании поправок на склон с противоположными знаками. Т.к. главным параметром, влияющим на эффективность насыпи, является высота сооружения, были проведены экспериментальные исследования и получены зависимости акустической эффективности насыпи от её высоты. Также было проанализировано влияние на акустическую эффективность звукопоглощения поверхностей сооружений и введена поправка на звукопоглощающие свойства материала.

Анализ экспериментальных значений в сравнении с рассчитанными по действующим нормативным документам позволил модифицировать формулу расчёта ГОСТ 31295.2-2005 для более точной оценки снижения шума. Она учитывает дифракцию на двух кромках насыпи, прохождение звука над её верхней площадкой, явления звукопоглощения. Сходимость расчётов и эксперимента составила 3 дБ по всему рассматриваемому диапазону частот и 1,5 дБА. Поправки на материал и двойную дифракцию требуют дальнейших экспериментальных уточнений.

Список литературы

1. Элькин Ю. И., Виноградов Р. А. Возможные применение резиновой крошки в качестве звукопоглощающего материала для шумозащитных сооружений // Научный вестник автомобильного транспорта. - 2023. - N 4. - С. 47-51.
2. Шубин И. Л., Тихомиров Л. А. Шумозащитные экраны с интегрированными солнечными батареями // Вестник МГСУ. - 2011. - N 3-1. - С. 103-106.
3. Буторина М. В., Иванов Н. И., Шашурин А.Е. Основы виброакустики. Теория и практика борьбы с шумом и вибрацией : учебник Т. 1. - СПб. : Изд-во БГТУ «Военмех» им. Д. Ф. Устинова, 2024. - 391 с. : - ил., табл.; ISBN 978-5-00221-070-1.
4. Борцова С.С., Буторина М.В., Иванов Н.И. Расчет акустической эффективности насыпи // Noise Theory and Practice. - № 9(4). - 2023. - С. 51-58.
5. Борцова С.С. Методика выбора и оптимизации шумозащитного комплекса при проектировании автомобильных и железных дорог: диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук / Борцова Светлана Сергеевна, 2024. - 222 с.
6. ГОСТ 31295.2-2005 (ИСО 9613-2:1996). Межгосударственный стандарт. Шум. Затухание звука при распространении на местности. Часть 2. Общий метод расчета. – М.: Стандартинформ, 2006. - 19 с.
7. СП 276.1325800.2016. Свод правил. Здания и территории. Правила проектирования защиты от шума транспортных потоков. - М.: Минстрой России, 2016. - 146 с.

8. ОДМ 218.2.013-2011. Отраслевой дорожный методический документ. Методические рекомендации по защите от транспортного шума территорий, прилегающих к автомобильным дорогам. - М.: - Информавтодор, 2011. - 123 с.
9. ГОСТ 33325-2015 Шум. Методы расчета уровней внешнего шума, излучаемого железнодорожным транспортом (с Поправкой, с Изменением N1). - М.: Стандартиформ, 2019. - 43 с.
10. ГОСТ 33328-2015 Экраны акустические для железнодорожного транспорта. Методы контроля. - М.: Стандартиформ, 2019. - 12 с.
11. ГОСТ Р 51943-2003 Экраны акустические для защиты от шума транспорта. Методы экспериментальной оценки эффективности. - М.: ИПК Издательство стандартов, 2019. - 12 с.
12. СП 51.13330.2011. Свод правил. Защита от шума. Актуализированная редакция СНиП 23-03-2003. - М.: Минрегион России, 2011. - 41 с.
13. ГОСТ 23337-2014. Методы измерения шума на селитебной территории и в помещениях жилых и общественных зданий. - М.: Стандартиформ, 2015. - 20 с.
14. ГОСТ 20444-2014. Шум. Транспортные потоки. Методы определения шумовой характеристики : издание официальное. - М.: Стандартиформ, 2015. - 18 с.
15. Шашурин А. Е. Научное обоснование и применение новых технических и технологических решений для снижения акустического загрязнения основными типами шумозащитных экранов : специальность 01.04.06 «Акустика» : диссертация на соискание ученой степени доктора технических наук / Шашурин Александр Евгеньевич, 2018. - 420 с.

References

1. Elkin Yu. I., Vinogradov R. A. Possible applications of rubber chips as a noise-absorbing material for noise-proof structures // Scientific Bulletin of automobile Transport. - 2023. - N 4. - pp. 47-51.
2. Shubin I. L., Tikhomirov L. A. Noise protection screens with integrated solar panels // Bulletin of MGSU. - 2011. - N 3-1. - pp. 103-106.
3. Butorina M. V., Ivanov N. I., Shashurin A.E. Fundamentals of vibroacoustics. Theory and practice of combating noise and vibration : textbook Vol. 1. - St. Petersburg: Publishing house of BSTU 'Voenmeh' named after D. F. Ustinov, 2024. - 391 p.: - ill., tab.; ISBN 978-5-00221-070-1.
4. Bortsova S.S., Butorina M.V., Ivanov N.I. Calculation of the acoustic efficiency of the embankment // Noise Theory and Practice. - № 9(4). - 2023. - pp. 51-58.
5. Bortsova S.S. Methods of selection and optimization of noise protection systems in the design of roads and railways: dissertation for the degree of Candidate of Technical Sciences / Bortsova Svetlana Sergeevna, 2024. - 222 p.
6. GOST 31295.2-2005 (ISO 9613-2:1996). Interstate standard. Noise. Attenuation of sound during propagation on the ground. Part 2. General calculation method. M.: Standartinform, 2006. - 19 p.
7. SP 276.1325800.2016. A set of rules. Buildings and territories. Rules for designing protection against noise from traffic flows. M.: Ministry of Construction of Russia, 2016. - 146 p.
8. ODM 218.2.013-2011. Industry road guidance document. Methodological recommendations for the protection of territories adjacent to highways from traffic noise. M.: Informavtodor, 2011. - 123 p.

-
9. GOST 33325-2015 Noise. Methods for calculating the levels of external noise emitted by railway transport (as amended, with Change N1). M. : Standartinform, 2019. - 43 p.
 10. GOST 33328-2015 Acoustic screens for railway transport. Methods of control. – M.: Standartinform, 2019. - 12 p.
 11. GOST R 51943-2003 Acoustic screens for protection from traffic noise. Methods of experimental efficiency assessment. M.: IPK Publishing House of Standards, 2019. - 12 p.
 12. SP 51.13330.2011. A set of rules. Noise protection. Updated edition of SNiP 23-03-2003. M. : Ministry of Regional Development of Russia, 2011. - 41 p.
 13. GOST 23337-2014. Methods of measuring noise in residential areas and in residential and public buildings. M.: Standartinform, 2015. - 20 p.
 14. GOST 20444-2014. Noise. Traffic flows. Methods for determining noise characteristics : official publication. M.: Standartinform, 2015. - 18 p.
 15. Shashurin A. E. Scientific substantiation and application of new technical and technological solutions to reduce acoustic pollution by the main types of noise screens : specialty 04/01/06 ‘Acoustics’ : dissertation for the degree of Doctor of Technical Sciences / Shashurin Alexander Evgenievich, 2018. - 420 p.