

УДК: 331.451  
OECD: 1.03. AA

## Исследование акустической эффективности выемки для снижения транспортного шума

Борцова С.С.<sup>1\*</sup>, Куклин Д.А.<sup>2</sup>, Курченко П.С.<sup>3</sup>, Матвеев П.В.<sup>4</sup>

<sup>1</sup>Ст. преподаватель кафедры «Экология и производственная безопасность»,  
<sup>2</sup>Д.т.н., доцент, профессор кафедры «Экология и производственная безопасность»,  
<sup>3</sup>К.т.н., ст. преподаватель кафедры «Экология и производственная безопасность»  
<sup>4</sup>К.т.н., доцент кафедры «Экология и производственная безопасность»  
<sup>1,2,3,4</sup>Балтийский государственный технический университет «ВОЕНМЕХ»  
им. Д.Ф. Устинова, г. Санкт-Петербург, РФ

### Аннотация

Несмотря на экономическую эффективность, эстетичность и экологичность, проложение автомобильной и железной дороги в выемке на сегодняшний день не находит должного распространения в качестве шумозащитного мероприятия. Одной из причин данного положения является недостаточная точность оценки акустической эффективности выемки по действующим нормативно-техническим документам. Различия в результатах расчетов, выполненных по ГОСТ 33325-2015 и СП 276.1325800.2016, могут достигать 10-12 дБ (дБА) и отличаются от экспериментальных исследований. Это препятствует корректному сравнению акустической эффективности выемки с другими экранирующими сооружениями (экранами, насыпями, валами и пр.), а также ограничивает применение выемок для защиты от транспортного шума. На основании анализа формул, представленных в ГОСТ 33325-2015 и СП 276.1325800.2016, и их сравнения с экспериментальными данными, за счёт исключения коррекции на склон и уточнения звукопоглощающих свойств склона выемки, автором предложены формулы для оценки акустической эффективности выемки, точность которых составила 1-3 дБ в рассматриваемом диапазоне частот.

**Ключевые слова:** шумозащитная выемка, проложение дороги в выемке, акустическая эффективность выемки, снижение шума выемкой.

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

*Bortsova S.S.<sup>1\*</sup>, Kuklin D.A.<sup>2</sup>, Kurchenko P.S.<sup>3</sup>, Matveev P.V.<sup>4</sup>*

*<sup>1</sup>Senior Lecturer of the department of Ecology and Industrial Safety,  
<sup>2</sup>DSc, Associate Professor, Professor of the department of Ecology and Industrial Safety,  
<sup>3</sup>PhD, Senior Lecturer of the department of Ecology and Industrial Safety,  
<sup>4</sup>PhD, Docent of the Department of Ecology and Industrial Safety  
<sup>1,2,3,4</sup>Baltic State Technical University 'VOENMEH', St. Petersburg, Russia*

### Abstract

*Despite the economic efficiency, aesthetics and environmental friendliness, the laying of a road and railway in the excavation today does not find proper distribution as a noise protection measure. One of the reasons for this provision is the insufficient accuracy of the assessment of the acoustic efficiency of the excavation according to the current regulatory and technical documents. Differences in the results*

---

\*E-mail: bortsova\_ss@voenmeh.ru (Борцова С.С.)

of calculations performed according to GOST 33325-2015 and SP 276.1325800.2016, experimental studies can reach 10-12 dB (dBA). This prevents the correct comparison of the acoustic efficiency of the excavation with other shielding structures (screens, embankments, shafts, etc.), and also limits the use of recesses to protect against traffic noise. Based on the analysis of the formulas presented in GOST 33325-2015 and SP 276.1325800.2016, and their comparison with experimental data, by eliminating slope correction and clarifying the sound-absorbing properties of the slope of the excavation, the author proposed formulas for evaluating the acoustic efficiency of the excavation, the accuracy of which was 1-3 dB in the frequency range under consideration.

**Keywords:** noise-protective excavation, laying a road in an excavation, acoustic efficiency of an excavation, noise reduction by excavation

## Введение

Выемка – самое экономически эффективное сооружение для защиты от транспортного шума застройки, находящейся с обеих сторон от дороги. Покрытая зеленью она эстетична и экологична. При проложении железной дороги в выемке глубиной от 4 м ширина отделяющей её от жилой застройки санитарно-защитной зоны может быть уменьшена до 50 м [1]. Грунт, полученный при возведении выемки, может быть использован для различных целей.

Однако при всех достоинствах оценка акустической эффективности проложения дороги в выемке не может быть точно произведена по действующим нормативно-техническим документам. Методики расчёта акустической эффективности земляных сооружений, представленные в нормативно-технической документации (НТД), базируются, главным образом, на оптико-геометрической (дифракционной) теории. В их основу положено представление о разнице хода звукового луча при наличии экранирующего сооружения. При этом, если, например, формулы У. Курце и Д. Маекавы учитывают длину волны звука и указанную разницу пути его распространения [2], расчёт эффективности выемки по НТД [3-5] дополнен коррекцией на склон. Данная коррекция, возможно, была принята для учёта отличия в снижении шума экраном и земляными сооружениями, расчёт эффективности которых основан на эффективности мнимого экрана, вписанного под их кромки. В зависимости от уклона выемки (далее « $y$ ») коррекция на склон [3-5] может быть выражена как 3 дБ(дБА) при  $y = 0,5$ ; 5 дБ(дБА) при  $y = 1$ ; 5,8 дБ(дБА) при  $y = 1,5$ ; 6 дБ(дБА) при  $y = 2$ . Зависимость от частоты отражена не во всех НТД. Так как влияние склона по-разному оценено в [3] и в [4,5], результаты расчётов акустической эффективности с его учётом могут отличаться на 10-12 дБ(дБА).

К разночтениям действующих НТД также можно отнести отличное значение октавной полосы частот, принятой для расчёта эффективности в дБА. Такое положение не позволит сравнивать экранирующие сооружения при альтернативном их сопоставлении. Очевидно, программные продукты, расчёты которых основаны на действующих НТД, искажают реальную оценку шумозащиты [6-8].

Экспериментальные исследования также носят противоречивый характер. В исследовании [9] измерения снижения шума 6-ти метровой выемкой показали порядок 16-18 дБА; в низкочастотной и высокочастотной областях 5-10 дБ, что противоречит представленным методикам в части возрастания эффективности с увеличением частоты. В исследовании [10] снижение шума выемкой глубиной 10 м составило 15 дБА, а 9-ти метровая показала эффективность 20 дБА, данные снижения по спектру отсутствуют. Согласно же документу [11] выемка 25 футов (7,62 м) снижает шум поездов

I, III класса до 10 дБА, II класса до 15 дБА.

Таким образом, имеющиеся в источниках данные о значениях акустической эффективности выемки носят противоречивый характер и требуют уточнения [12]. Т.к. ключевым параметром протяжённых экранирующих сооружений является высота, были поставлены задачи:

- установить экспериментальные зависимости акустической эффективности выемок от глубины,
- выполнить сравнение представленных методик расчета и имеющихся исследований акустической эффективности выемки с данными экспериментов,
- получить математические зависимости акустической эффективности выемки от её глубины (основной параметр), а также уклона и звукопоглощающих свойств, оценить точность расчётных формул.

### 1. Экспериментальная эффективность выемки

Для решения поставленных задач была составлена методика исследований, в рамках которой на основании и(или) с учетом нормативных документов: ГОСТ 33328 [13], ГОСТ Р 51943 [14], СП 51.13330 [15], ГОСТ 23337 [16] и ГОСТ 20444 [17] выполнены измерения уровней звукового давления (УЗД, дБ) и уровней звука (УЗ, дБА) для оценки акустической эффективности грунтовых выемок глубиной 4, 6 и 8 м, покрытых травой. Испытания проводились в выбранных измерительных точках (основных и контрольных) при наличии выемки и на ровном участке в идентичных условиях (рисунок 1). Измерения проводились в указанных точках одновременно, более трёх раз в каждой точке.

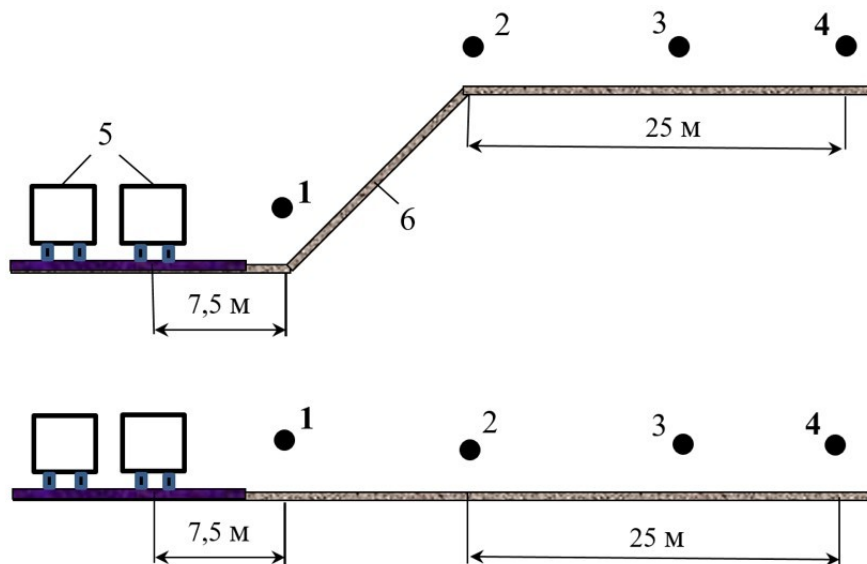


Рис. 1. Схема измерений выемки для защиты от автотранспортного шума:

- 1, 4 – основные измерительные точки; 2, 3 – контрольные точки; 5 – автотранспортный поток; 6 – склон выемки.

Измерения в точке 1 выполнялись с целью оценки характеристик источника шума (автотранспортного потока), её расстояние от автомобильной дороги составляет 7,5 м от оси ближней полосы движения. Точка 4 (для оценки снижения шума выемкой) располагалась на расстоянии 25 м от кромки сооружения. Приборы в измерительных точках располагались на высоте 1,5 м от поверхности земли.

Для оценки акустической эффективности выемки применялся непрямой метод измерений с использованием реального источника шума [14].

Эффективность выемки  $\Delta L_{\text{в}}$ , дБ(А), определялась как:

$$\Delta L^{\text{в}} = \Delta L_{\text{б/в}} - \Delta L_{\text{с/в}}, \quad (1)$$

где  $\Delta L_{\text{б/в}}$  – разность УЗД и УЗ между усредненными значениями в основных измерительных точках на ровном участке, объясняемая дивергенцией звука, дБ(А):

$$\Delta L_{\text{б/в}} = \Delta \bar{L}_{\text{б/в}}^1 - \Delta \bar{L}_{\text{б/в}}^4, \quad (2)$$

$\Delta \bar{L}_{\text{б/в}}^1, \Delta \bar{L}_{\text{б/в}}^4$  – усредненные значения УЗД и УЗ в точках 1 и 4 на ровном участке соответственно;

$\Delta L_{\text{с/в}}$  – разность УЗД и УЗ между усредненными значениями в основных измерительных точках с выемкой, объясняемая эффектами дивергенции и экранирования, дБ (дБА):

$$\Delta L_{\text{с/в}} = \Delta \bar{L}_{\text{с/в}}^1 - \Delta \bar{L}_{\text{с/в}}^4, \quad (3)$$

$\Delta \bar{L}_{\text{с/в}}^1, \Delta \bar{L}_{\text{с/в}}^4$  – усредненные значения УЗД и УЗ в точках 1 и 4 с выемкой соответственно.

Результаты измеренных значений эффективности выемок разной глубины приведены в таблице 1.

Таблица 1

Экспериментально полученная акустическая эффективность выемки

Глубина выемки, м	Эффективность, дБ, в октавных полосах со среднегеометрическими частотами, Гц								Эффективность, дБА
	63	125	250	500	1000	2000	4000	8000	
4	0	1,3	2,3	3,4	5,4	7,3	9,3	11,0	6,2
6	1,0	3,0	4,0	5,0	8,7	10,0	12,0	15,0	9,0
8	1,4	3,4	4,4	6,4	10,0	11,4	14,0	17,0	11,0

Полученные зависимости акустической эффективности выемки носят нелинейный характер и увеличиваются с частотой, порядка 1-3 дБ на октаву. Установлено, что с увеличением высоты выемки её акустическая эффективность увеличивается меньше, в частности, с четырёх до шести метров на 3 дБА, а с шести до восьми метров только на 2 дБА.

## 2. Преобразованная методика расчета акустической эффективности выемки

Если сравнить результаты измерений и расчётов по методикам документов для защиты от автомобильного шума [4, 5], наблюдается близкая к эксперименту сходимость. Расхождения по спектру между экспериментальной и рассчитанной по СП [4] значениями эффективности не превышают 2 дБ, интегральное значение по ОДМ [5] практически совпадает (таблица 2).

Объясняется это применением коррекции на склон со знаком «минус». Однако, указанные методики расчёта опираются на положение, что эффективность экрана

с аналогичным расположением верхней дифракционной кромки будет выше на 5-6 дБ (дБА), без учёта звукопоглощающих свойств сооружений, которое вызывает сомнения. Также принятая для расчётов в дБА октавная полоса частот не подтверждается экспериментально. Формула Курце аналогична СП [4], но не включает коррекцию на склон. Рассчитанные с её помощью значения эффективности на 3-5 дБ превышают экспериментальные.

При сравнении значений экспериментальной и рассчитанной по ГОСТу [3] акустической эффективности очевидно существенное превышения последней (7-11 дБ); интегральное значение принимается по значению для октавной полосы 1000 Гц, что соответствует эксперименту. Очевидна некорректность применения коррекции на склон со знаком «плюс», это положение методики опровергается и неспособностью достигнуть выемкой снижения шума порядка 30 дБА, выявленной исследованиями [9, 10].

Таблица 2

Данные расчетов акустической эффективности выемки глубиной 4 м

Методика расчета	Эффективность, дБ, в октавных полосах со среднегеометрическими частотами, Гц								Эффективность, дБА
	63	125	250	500	1000	2000	4000	8000	
ГОСТ [3]	11,0	11,2	11,6	12,3	13,5	15,1	17,3	19,8	13,5
ф. Курце [2]	5,3	5,6	6,1	7,0	8,5	10,6	13,3	16,2	-
СП [4]	2,3	2,6	3,1	4,0	5,5	7,6	10,3	13,2	4,0
ОДМ [5]									5,9
ф. Маекавы [2]									5,9

Поглощающие экраны в НТД [3-5] эффективнее отражающих на 3 дБ(дБА), что подтверждается теоретически и на практике [18]: значения коэффициента звукопоглощения для транспортных экранов 0-0,5.

Результатом проведённого анализа стали уточнённые формулы акустической эффективности выемки,  $\Delta L^B$  методик НТД.

Модернизированная формула ГОСТа [3]:

$$\Delta L^B = 10 \lg (3 + 20\delta/\lambda) - K_M, \text{ дБ} \quad (4)$$

Модернизированная формула СП [4]:

$$\Delta L^B = 20 \lg \frac{\sqrt{2\pi|2\delta/\lambda|}}{th\sqrt{2\pi|2\delta/\lambda|}} + 5 - K_M, \text{ дБ}, \quad (5)$$

где  $\lambda$  – длина волны, м;  $\delta$  – параметр, учитывающий расположение дифракционной кромки выемки для определения разности хода звукового луча в присутствии экранирующего сооружения:

$$\delta = \sqrt{(r_1 + r_2 + y \cdot H)^2 + (H - h_{\text{иш}})^2} + \sqrt{(R_3 - r_2 - y \cdot H)^2 + h_{\text{рт}}^2} - \sqrt{(r_1 + R_3)^2 + (H + h_{\text{рт}} - h_{\text{иш}})^2},$$

где  $H$  – глубина выемки, м;  $y$  – уклон выемки;  $h_{\text{иш}}$  – высота источника шума (ИШ), м;  $h_{\text{рт}}$  – высота расчётной точки, м;  $R_3$  – расстояние от края проезжей части

(путей) до защищаемой застройки, м;  $r_1$  – расстояние от центра ИШ до края проезжей части (пути), определяется в зависимости от категории дороги, м;  $r_2$  – расстояние от края проезжей части (пути) до выемки, определяется технологией возведения сооружения, м.

Следует отметить, что при расчёте эффективности экранирующих сооружений и оценке акустических характеристик источника шума, центр последнего отличается.

$K_M$  – введенная поправка на материал сооружения, дБ(А). Она учитывает звукопоглощающие свойства откосов выемки и рассчитывается исходя из принятых в НТД [3, 4] дополнительных 3 дБ (дБА) на звукопоглощающие свойства экранов:

$$K_M = 3 + 10 \lg(1 - \alpha_{\text{покр}}),$$

где  $\alpha_{\text{покр}}$  – частотнозависимый коэффициент звукопоглощения покрытия экранирующего сооружения; для грунтовых выемок, покрытых травой, его значения в октавных полосах со среднегеометрическими частотами 63-8000 Гц лежат в диапазоне 0,1-0,3 [2].

Такой подход позволит сравнивать акустические эффективности прямых экранов и выемок, рассчитывая их по одной формуле. Требуются лишь уточнения значений  $K_M$  для этих сооружений в зависимости от материала поверхности: выемки из грунта, камня, покрытые снегом и пр., экраны деревянные, бетонные, металлические, из пластика, смешанные, со звукопоглощающим слоем и пр. (например, через  $\alpha_{\text{покр}}$ ).

Для расчётов в дБА рекомендуется принять эффективность сооружения по значению для октавной полосы 1000 Гц (что подтверждено экспериментально), где  $K_M$  земляных сооружений составит 1,5 дБА (при  $\alpha_{\text{покр}} = 0,3$ ),  $K_M$  для поглощающих экранов 3 дБА,  $K_M$  для отражающих экранов 0 дБА.

Коррекция на склон исключена из расчётов.

### 3. Оценка точности предлагаемой методики расчета акустической эффективности выемки

Сравнение расчётов акустической эффективности выемки по уточнённым формулам НТД (формулы (4) и (5)), с экспериментальной эффективностью приведены в таблице 3 (уклон выемки 2:1).

Таблица 3

Сравнение расчётов акустической эффективности выемки ( $\Delta L^B$ ) по модернизированным формулам НТД с экспериментальной

Методика определения	$\Delta L^B$ , дБ, в октавных полосах со среднегеометрическими частотами, Гц								$\Delta L^B$ , дБА
	63	125	250	500	1000	2000	4000	8000	
$\alpha_{\text{покр}}[2]$	0,11	0,15	0,20	0,25	0,29	0,30	0,30	0,30	0,30
$K_M$	2,5	2,3	2,0	1,8	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5
Выемка 4 м									
$\Delta L^B$ (эксперимент)	0	1,3	2,3	3,4	5,4	7,3	9,3	11,0	6,2
$\Delta L^B$ (ГОСТмод.)	2,5	2,9	3,5	4,3	5,7	7,2	9,2	11,6	5,7
$\Delta L^B$ (СПмод.)	2,7	3,2	3,9	4,9	6,6	8,5	11,1	13,9	6,6

Выемка 6 м									
$\Delta L^B$ (эксперимент)	1,0	3,0	4,0	5,0	8,7	10,0	12,0	15,0	9,0
$\Delta L^B$ (ГОСТмод.)	2,9	3,6	4,8	6,3	8,5	10,8	13,4	16,2	8,5
$\Delta L^B$ (СПмод.)	3,3	4,1	5,6	7,5	10,2	13,0	16,0	19,0	10,2
Выемка 8 м									
$\Delta L^B$ (эксперимент)	1,4	3,4	4,4	6,4	10,0	11,4	14,0	17,0	11,0
$\Delta L^B$ (ГОСТмод.)	3,2	4,2	5,7	7,7	10,2	12,7	15,5	18,3	10,2
$\Delta L^B$ (СПмод.)	3,7	4,9	6,8	9,2	12,2	15,2	18,2	21,2	12,2

Модернизированные формулы СП [4] и Курце совпадут, результаты расчётов по формулам ОДМ [5] и Маекавы при рассматриваемом подходе будут иметь значения на 2-3 дБА ниже полученных в ходе экспериментов.

Результаты сравнения приведены на рисунке 3 (а-в).

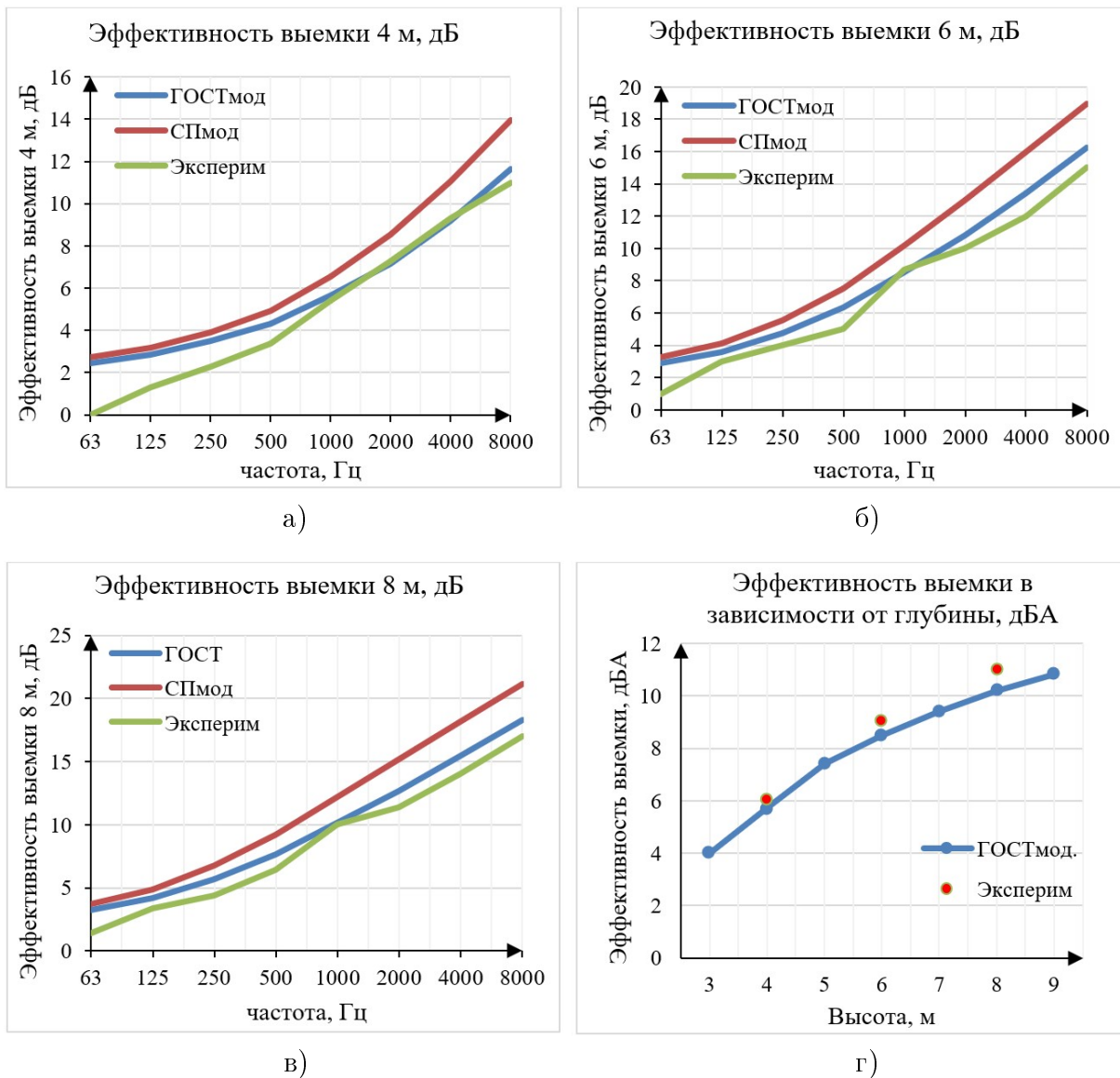


Рис. 2. Сравнение расчётов акустической эффективности выемки по модернизированным формулам НТД с экспериментальной

Расчёты акустической эффективности выемки по преобразованным формулам НТД показывают сходимость с экспериментом в пределах 3 дБ по всему спектру частот. Максимальное превышение наблюдается в низкочастотной области. В средне- и высокочастотном диапазоне значения акустической эффективности, рассчитанной по ГОСТмод., практически совпадают с экспериментальной. Сравнение интегральных значений расчётной эффективности и экспериментальных данных показывает приемлемую сходимость в пределах 1 дБА.

Зависимость акустической эффективности выемки от высоты представлена на рисунке 3 г.

### **Заключение**

Проложение дороги в выемке – эффективное средство решения проблемы повышенного шума. Действующие нормативно-технические документы недостаточно точно оценивают её акустическую эффективность: оценка эта носит противоречивый характер несмотря на то, что основывается на одной теории; акустические расчёты не позволяют корректно сравнить варианты шумозащитных конструкций (экранов, выемок, насыпей).

Для повышения точности расчётов и возможности сопоставления альтернативных вариантов экранирующих сооружений была предпринята попытка уточнения формул расчёта, представленных в НТД и литературе. С этой целью были проведены измерения и расчеты экспериментальной акустической эффективности выемки. В натуральных условиях получены снижения уровней звука и звукового давления транспортного потока выемками глубиной 4, 6 и 8 м. Для каждого исследуемого земляного сооружения измерялись УЗД и УЗ на подобных ровных участках в аналогичных точках. Получены значения акустической эффективности, дБ, в частотном диапазоне 63-8000 Гц. Характер полученных зависимостей – постоянное увеличение с ростом частоты в пределах 1-3 дБ на октаву. Установлено неравномерное увеличение акустической эффективности выемки при увеличении её глубины.

Сопоставив звукопоглощение экранов и грунтовой выемки и учтя уклон сооружения только для определения расположения его дифракционной кромки, были преобразованы формулы определения акустической эффективности выемки по методикам НТД: введён коэффициент, учитывающий материал сооружения, исключена коррекция на склон. Рассчитанные по модернизированной формуле ГОСТа [3] значения акустической эффективности выемок глубиной 6 м и 8 м практически полностью совпадают с рассчитанной на основании проведённых экспериментов (в пределах 1-2 дБ по всему рассматриваемому диапазону частот). Для 4-х метровой выемки только для октавной полосы 63 Гц разница составила 2,5 дБ. Расхождения между значениями акустической эффективности, рассчитанной по модернизированной формуле СП [4], и экспериментальной составляет 1,5-3 дБ во всем диапазоне частот. Сравнение интегральных значений расчётной акустической эффективности и экспериментальных данных показывает приемлемую сходимость в пределах 1 дБА для обеих методик.

### **Список литературы**

1. Об утверждении Правил установления санитарно-защитных зон и использования земельных участков, расположенных в границах санитарно-защитных зон : Постановление Правительства Российской Федерации от 3.03.2018 г. № 222. –



Текст : электронный – URL: <https://docs.cntd.ru/document/556716724> (дата обращения: 25.06.2024).

2. Иванов, Н. И. Основы виброакустики : учебник для вузов / Н. И. Иванов, А. С. Никифоров. – Санкт-Петербург : Издательство "Политехника", 2000. – 482 с. – ISBN 5-7325-0599-7

3. ГОСТ 33325-2015 Шум. Методы расчета уровней внешнего шума, излучаемого железнодорожным транспортом (с Поправкой, с Изменением N1) : принят Межгосударственным советом по стандартизации, метрологии и сертификации от 18 июня 2015 г. N 47 : введен 01.03.2016. – Текст : электронный. – URL: <https://docs.cntd.ru/document/1200124230> (дата обращения: 25.06.2024).

4. СП 276.1325800.2016. Свод правил. Здания и территории. Правила проектирования защиты от шума транспортных потоков. – Москва : Минстрой России, 2016. – 146 с.

5. ОДМ 218.2.013-2011. Отраслевой дорожный методический документ. Методические рекомендации по защите от транспортного шума территорий, прилегающих к автомобильным дорогам. – Москва : - Информавтодор, 2011. – 123 с.

6. Борцова, С. С. Расчет акустической эффективности выемки / С. С. Борцова, М. В. Буторина, Н. И. Иванов // Noise Theory and Practice. – 2023. – Т. 9, № 4(35). – С. 59-66.

7. 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.

8. Галяутдинов, И. Н. Исследование акустической эффективности проложения автомобильной дороги в выемке / И. Н. Галяутдинов, И. И. Шарафуллин // Техника и технология транспорта. – 2022. – № 1(24).

9. Куклин, Д. А. Проблема снижения внешнего шума поездов в источнике и на пути распространения: специальность 01.04.06 "Акустика" : диссертация на соискание ученой степени доктора технических наук / Куклин Денис Александрович, 2016. – 434 с.

10. Минина, Н. Н. Проблема снижения акустического воздействия на жилую застройку при проектировании, строительстве и функционировании транспортных сооружений : специальность 01.04.06 "Акустика" : диссертация на соискание ученой степени доктора технических наук / Минина Наталия Николаевна. – Санкт-Петербург, 2012. – 350 с.

11. High-Speed Ground Transportation Noise and Vibration Impact Assessment : Guidance Manual / С. Hanson, J. Ross, D. Towers ; U.S. Department of Transportation. – Washington : ANSI Std., 2012. – 248 с. – Текст : электронный. – URL: <https://railroads.dot.gov/elibrary/high-speed-ground-transportation-noise-and-vibration-impact-assessment> (дата обращения: 25.06.2024).

12. Борцова, С. С. Выбор оптимальной шумозащитной конструкции по параметрам, влияющим на акустическую эффективность / С. С. Борцова // Noise Theory and Practice. – 2021. – Т. 7, № 5(27). – С. 48-65.

13. ГОСТ 33328-2015 Экраны акустические для железнодорожного транспорта. Методы контроля. – Москва : Стандартинформ, 2019. - 12 с.

14. ГОСТ 51943-2003 Экраны акустические для защиты от шума транспорта. Методы экспериментальной оценки эффективности. – Москва : ИПК Издательство стандартов, 2019. - 12 с.

15. СП 51.13330.2011. Свод правил. Защита от шума. Актуализированная редакция СНиП 23-03-2003. – Москва : Минрегион России, 2011. – 41 с.

16. ГОСТ 23337-2014. Методы измерения шума на селитебной территории и в помещениях жилых и общественных зданий : издание официальное. – Москва : Стандартинформ, 2015. – 20 с.
17. ГОСТ 20444-2014. Шум. Транспортные потоки. Методы определения шумовой характеристики : издание официальное. – Москва : Стандартинформ, 2015. – 18 с.
18. Шашурин, А. Е. Новые технические и технологические решения для снижения акустического загрязнения шумозащитными экранами / А. Е. Шашурин. – Санкт-Петербург : Балтийский государственный технический университет "Военмех", 2018. – 134 с. – ISBN 978-5-907054-27-1.

## References

1. On approval of the Rules for the establishment of sanitary Protection zones and the use of Land Plots located within the boundaries of sanitary protection zones: Decree of the Government of the Russian Federation dated 03/3/2018 No. 222.
2. Ivanov, N. I. Fundamentals of vibroacoustics : textbook for universities / N. I. Ivanov, A. S. Nikiforov. – St. Petersburg : Publishing house "Polytechnic", 2000. – 482 p. – ISBN 5-7325-0599-7
3. GOST 33325-2015 Noise. Methods for calculating the levels of external noise emitted by rail transport (as Amended, with Change N1) : adopted by the Interstate Council for Standardization, Metrology and Certification dated June 18, 2015 N 47 : introduced 03/01/2016. 4.
4. SP 276.1325800.2016. A set of rules. Buildings and territories. Rules for designing protection against traffic noise. – Moscow : Ministry of Construction of Russia, 2016. – 146 p.
5. ODM 218.2.013-2011. An industry-specific road guidance document. Methodological recommendations for the protection of territories adjacent to highways from traffic noise. – Moscow : Informavtodor, 2011. 123 p.
6. Bortsova, S. S. Calculation of the acoustic efficiency of excavation / S. S. Bortsova, M. V. Butorina, N. I. Ivanov // Noize Theory and Practice. – 2023. – Vol. 9, No. 4(35). – pp. 59-66.
7. Shabarova, A.V. Comparison of methods for calculating the propagation of noise of railway transport in various types of building / A.V. Shabarova, M. V. Butorina, D. A. Kuklin // Noise Theory and Practice. – 2022. – Vol. 8, No. 3(30). – pp. 16-33.
8. Galyautdinov, I. N. Investigation of the acoustic efficiency of laying a highway in a recess / I. N. Galyautdinov, I. I. Sharafullin // Technique and technology of transport. – 2022. – № 1(24).
9. Kuklin, D. A. The problem of reducing the external noise of trains in the source and on the way of propagation: specialty 01.04.06 "Acoustics": dissertation for the degree of Doctor of technical Sciences / Kuklin Denis Alexandrovich, 2016. – 434 p.
10. Minina, N. N. The problem of reducing the acoustic impact on residential buildings in the design, construction and operation of transport facilities : specialty 01.04.06 "Acoustics" : dissertation for the degree of Doctor of Technical Sciences / Minina Natalia Nikolaevna. – St. Petersburg, 2012. – 350 p.
11. High-Speed Ground Transportation Noise and Vibration Impact Assessment : Guidance Manual / S. Hanson, J. Ross, D. Towers ; U.S. Department of Transportation. – Washington : ANSI Std., 2012. – 248 p. – Text : electronic. – URL: <https://railroads.dot.gov/elibrary/high-speed-ground-transportation-noise-and-vibration-impact-assessment> (date of application: 06/25/2024).

- 
12. Bortsova, S. S. Choosing the optimal noise protection design according to parameters affecting acoustic efficiency / S. S. Bortsova // Noise Theory and Practice. – 2021. – Vol. 7, No. 5(27). – pp. 48-65.
  13. GOST 33328-2015 Acoustic screens for railway transport. Methods of control. – Moscow : Standartinform, 2019. - 12 p.
  14. GOST 51943-2003 Acoustic screens for protection from traffic noise. Methods of experimental efficiency assessment. – Moscow : IPK Publishing House of Standards, 2019. - 12 p.
  15. SP 51.13330.2011. A set of rules. Noise protection. Updated version of SNiP 23-03-2003. – Moscow : Ministry of Regional Development of Russia, 2011. – 41 p.
  16. GOST 23337-2014. Methods of measuring noise in residential areas and in residential and public buildings : official publication. – Moscow : Standartinform, 2015. – 20 p.
  17. GOST 20444-2014. Noise. Traffic flows. Methods for determining the noise characteristic : official publication. – Moscow : Standartinform, 2015. – 18 p.
  18. Shashurin, A. E. New technical and technological solutions to reduce acoustic pollution by noise-proof screens / A. E. Shashurin. – St. Petersburg : Baltic State Technical University "Voenmeh", 2018. – 134 p. – ISBN 978-5-907054-27-1.