

УДК 534.833.522

OECD 01.03.AA

## Анализ методик расчета эффективности шумозащитных экранов

Безверхая Е.А.<sup>1\*</sup>, Чеботарева Е.Ю.<sup>2</sup><sup>1,2</sup> Магистрант кафедры «Экология и безопасность жизнедеятельности»<sup>1,2</sup> 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.<sup>1\*</sup>, Chebotareva E.Y.<sup>2</sup>*<sup>1,2</sup> *Undergraduate student of Environment and Safety chair*<sup>1,2</sup> *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,  $\Delta L_{\text{экр}}$ , согласно выведенной Маекавой формуле, определяется, как:

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

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

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

где  $\lambda$  – длина звуковой волны, м;

$\delta$  – разность длин путей звукового луча, м.

Разность длин звукового луча  $\delta$  вычисляется по формуле:

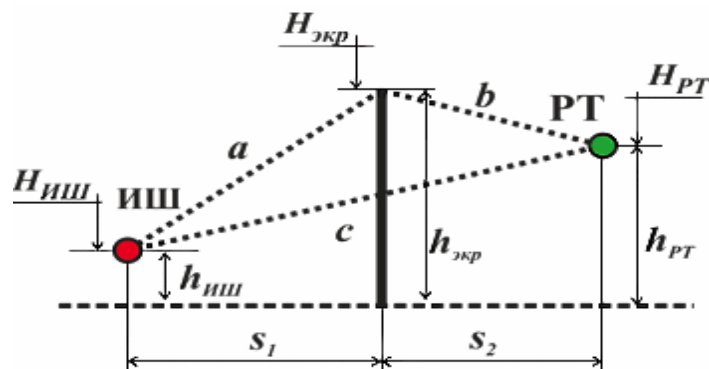
$$\delta = a + b - c, \text{ м} \quad (3)$$

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.



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

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

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

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

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

$h_{\text{экр}}$  – 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,  $\Delta L_{\text{экр}}$ ):

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

где  $\delta$  – 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).

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

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

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)  $C_3 = 1$ ;

$\lambda$  – 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 приписывают 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).

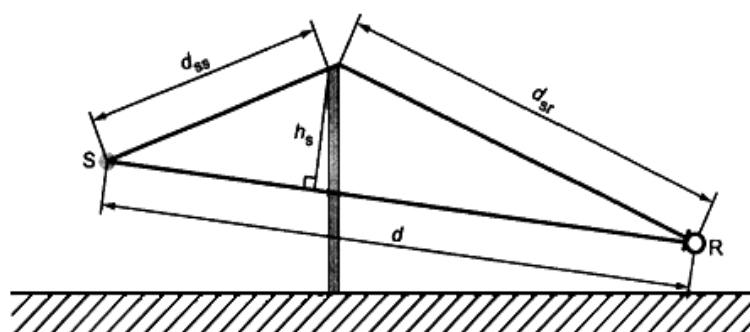


Рис. 2. Геометрические величины для определения разности длин путей распространения звука при дифракции на одной кромке [5]

## 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-б).

### 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
РТ3 (100 м)	ГОСТ 31295.2-2005 [5]	8	6	13	11	16	14
	СП 276. 1325800.2016 [4]	10	7	15	13	19	16
	ОДМ 218. 2.013-2011 [3]	11	10	17	15	20	18

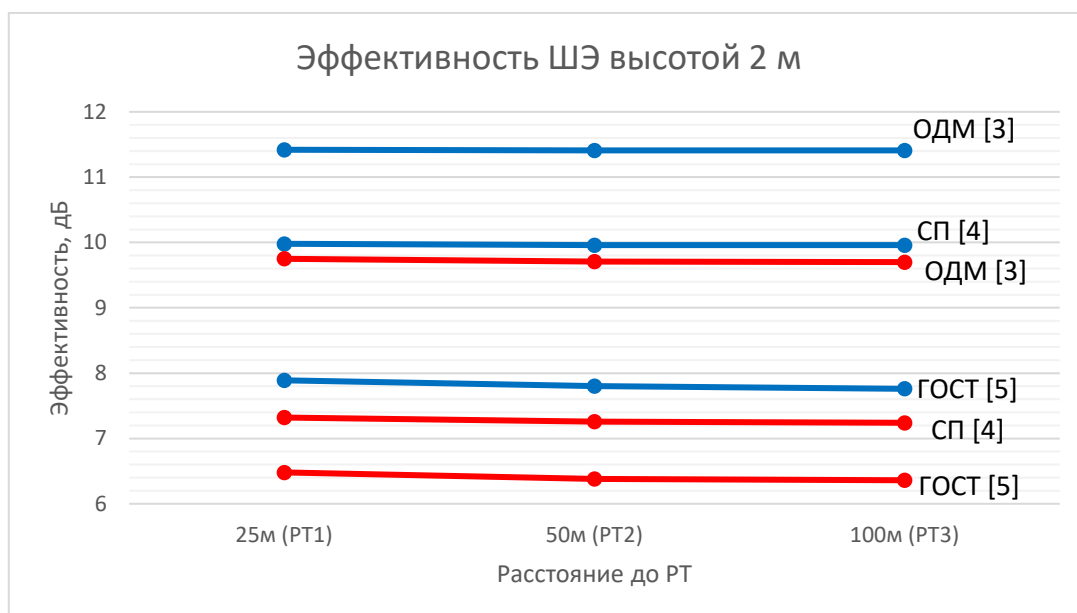
Сравнивая результаты, полученные по разным методикам, видим, что в среднем разница в эффективности для ближней и дальней полос составляет:

- 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:

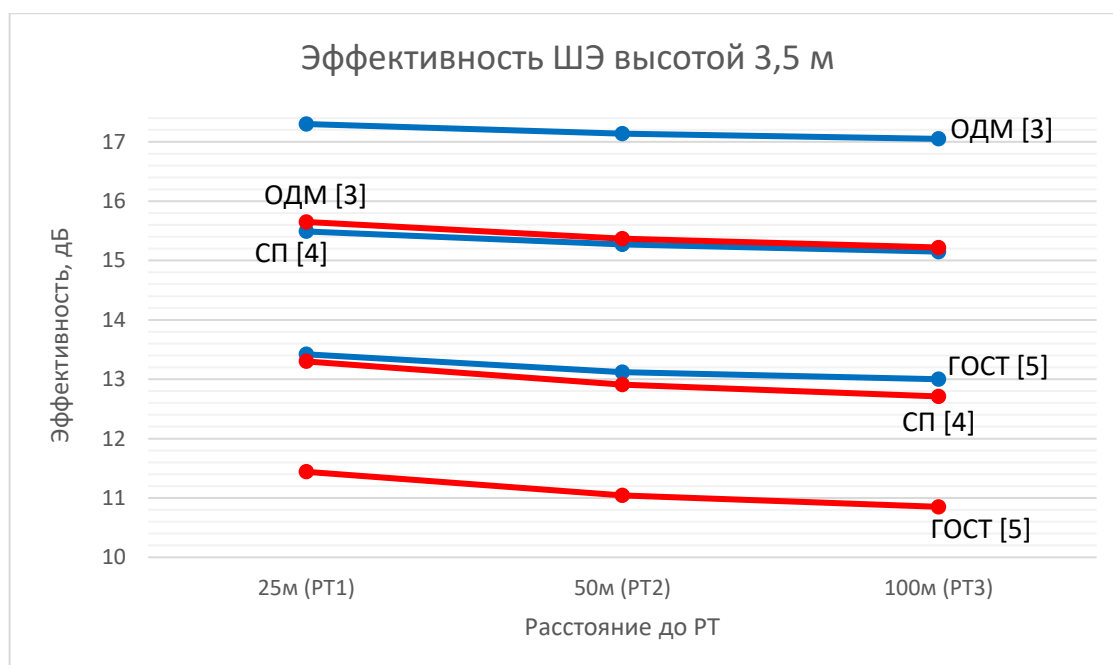
- для ближней полосы, при увеличении высоты с 2 м до 3,5 м эффективность ШЭ возрастает с 10 до 15 дБ, а при увеличении высоты ШЭ до 5 м, его эффективность повышается с 15 до 19 дБ. Аналогичная ситуация наблюдается и для дальней полосы: при увеличении высоты ШЭ с 2 м до 3,5 м, его эффективность возрастает 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.



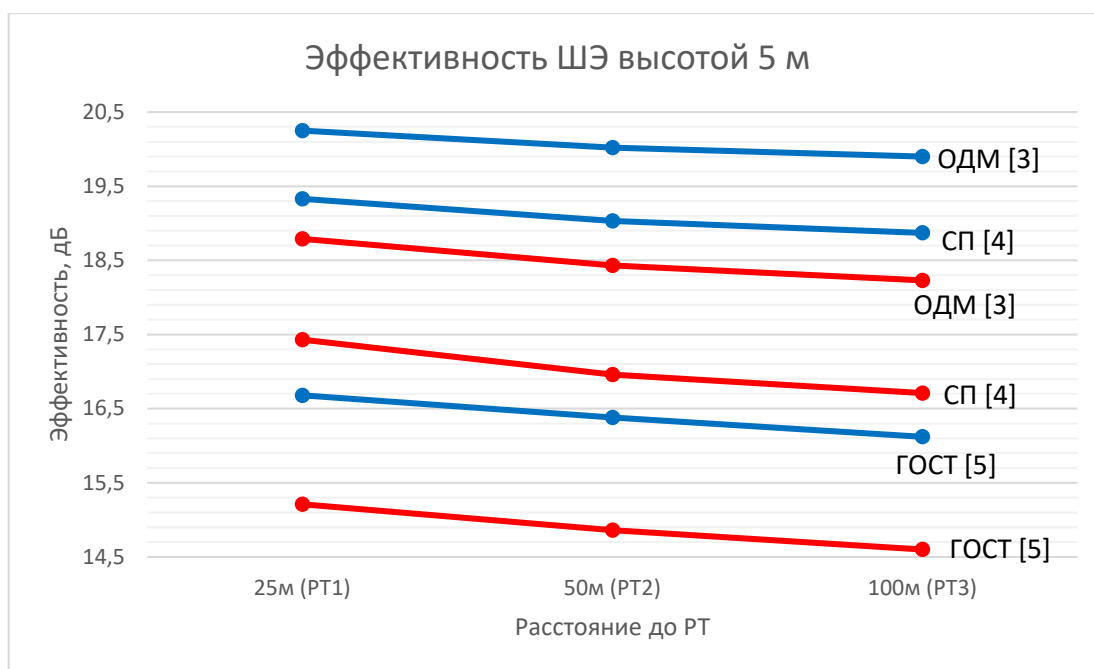
— значения эффективности ШЭ, полученные для ближней полосы автодороги;  
— значения эффективности ШЭ, полученные для дальней полосы автодороги

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.

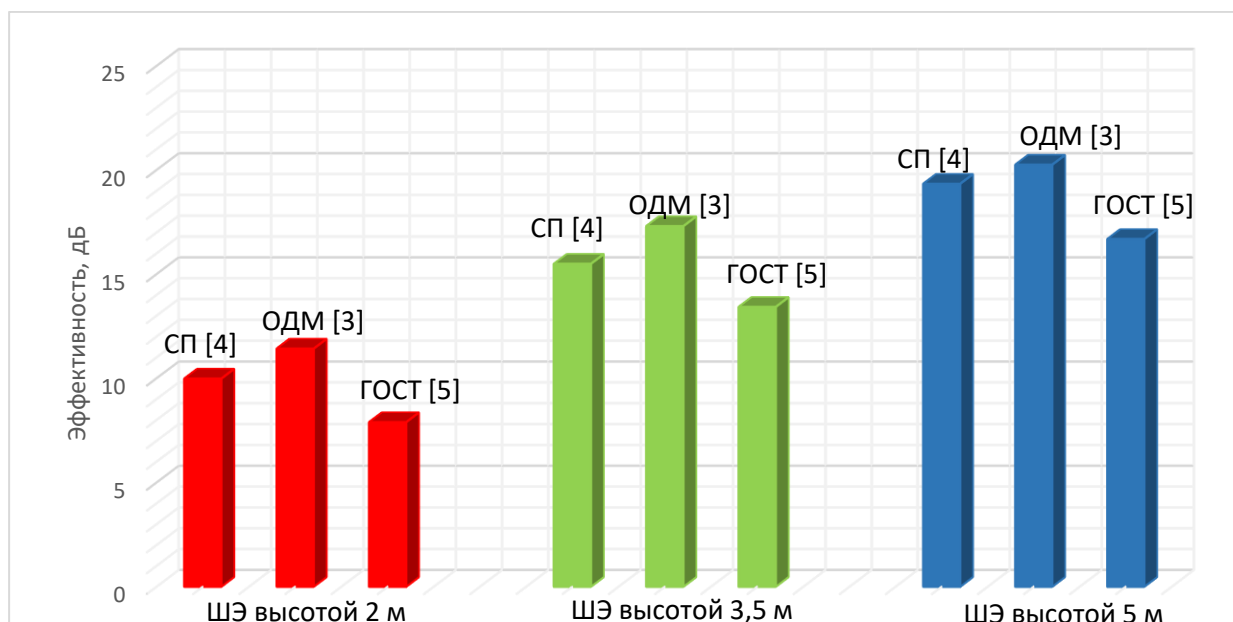


Рис. 6. Расчетная эффективность ШЭ различной высоты на расстоянии 25 м для ближней полосы автодороги

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.