

УДК 534.835.44, 534.835.462

OECD 01.03.AA

## Предложения по расчету акустической долговечности шумозащитных экранов

Маслова С.С.<sup>1</sup>, Иванов Н.И.<sup>2</sup>, Рассошенко Ю.С.<sup>3\*</sup>

<sup>1</sup>Бакалавр кафедры «Экология и безопасность жизнедеятельности»,

<sup>2</sup>Д.т.н., заведующий кафедрой «Экология и безопасность жизнедеятельности»,

<sup>3</sup>К.т.н., старший преподаватель кафедры «Экология и безопасность жизнедеятельности»

<sup>1,2,3</sup> БГТУ «ВОЕНМЕХ» им. Д.Ф. Устинова,

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

### Аннотация

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

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

### *Proposals for calculation of the noise barrier acoustic durability*

*Maslova S.S.<sup>1</sup>, Ivanov N.I.<sup>2</sup>, Rassoshenko I.S.<sup>3\*</sup>*

*<sup>1</sup> Bachelor of the Department 'Ecology and life safety'*

*<sup>2</sup> DSc, Professor, Head of the Department 'Ecology and life safety'*

*<sup>3</sup> Ph.D., Senior lecturer of the Department 'Ecology and life safety'*

*<sup>1,2,3</sup> BSTU 'VOENMEH' named after D.F. Ustinov,  
Russia, St. Petersburg, 1-st Krasnoarmeyskaya str., h.1*

### *Abstract*

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

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

### Введение

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

---

\*E-mail: kb\_iak@mail.ru (Рассошенко Ю.С.)

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

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

## **1. Факторы, оказывающие влияние на акустическую долговечность шумозащитных экранов**

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

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

### **1.1. Материалы, применяемые при изготовлении шумозащитных экранов**

Шумозащитные экраны могут представлять собой [1]:

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

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

#### **1.1.1. Древесина**

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

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

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

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

#### **1.1.2. Металл**

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

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

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

### *1.1.3. Бетон*

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

### *1.1.4. Поликарбонат, акрил*

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

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

### *1.1.5. Закаленное стекло*

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

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

## *1.2. Агрессивность окружающей среды*

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

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

Таблица 1  
Дорожно-климатические зоны России [2]

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

Таблица 2  
Ветровые районы России [2]

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

### 1.2. Качество сборки и установки шумозащитного экрана

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

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

### 1.3. Вандалоустойчивость материала

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

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

#### 1.4. Качество шумопоглощающего материала

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

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

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

#### 1.5. Обслуживание шумозащитного экрана во время эксплуатации

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

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



Рис. 1. Выпадение панелей

## 2. Предложение вычислительного метода для определения акустической долговечности ШЭ

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

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

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

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

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

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

Таблица 3

Процентное соотношение влияния материала на акустическую долговечность ШЭ

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

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

Для составного экрана из оцинкованной стали с толщиной металлического листа 0,7 мм максимально-возможный срок эксплуатации с 25 лет сокращается на 60%, и в расчетах будет принимать участие только 28 баллов (0,4x70 баллов), характеризующих данную группу факторов.

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

Таблица 4

Процентное соотношение влияния плотности ШПМ на акустическую долговечность ШЭ

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

Таблица 5

Процентное соотношение влияния качества сборки ШЭ на его акустическую долговечность

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

Таблица 6

Процентное соотношение влияния вандалоустойчивости ШЭ на его акустическую долговечность

Вандалоустойчивость материала		Доля баллов, %	Балл
Категория	Материал		
1	2	3	4
I	Тяжелые бетоны (керамзитобетон, щепабетон и т.д.)	100	5
II	Металлы	80	
III	Древесина	70	
IV	Пластик/ закаленное стекло	50	

Таблица 7

Процентное соотношение влияния агрессивности среды на акустическую долговечность ШЭ

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

Таблица 8

Процентное соотношения влияния обслуживания ШЭ на его акустическую долговечность

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

### 3. Численный метод расчета прогнозируемой акустической долговечности ШЭ

#### 3.1. Описание расчетной формулы

Согласно проделанному анализу авторами статьи предлагается следующая расчетная формула (1) по определению акустической долговечности ШЭ ( $A_{ШЭ}$ ):

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

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

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

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

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

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

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

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

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

#### 3.2. Определение прогнозируемой долговечности ШЭ из импрегнированной древесины

Шумозащитный экран высотой 5 м расположен в Псковском районе, выполнен из импрегнированной древесины, введен в эксплуатацию в 2010 г. (рисунок 2). На 2018 г. срок эксплуатации составляет 8 лет. Эстетический внешний вид ШЭ сохранен, изменения визуально не наблюдаются. Плотность шумопоглощающего материала 110 мг/м<sup>3</sup>. Осмотры регулярные.



Рис. 2. ШЭ на автомобильной дороге в Псковской области

Таблица 9

Расчет акустической долговечности ШЭ из импрегнированной древесины

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

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

### 3.3. Определение прогнозируемой долговечности ШЭ из оцинкованной стали

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



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

Таблица 10

Расчет акустической долговечности ШЭ из оцинкованной стали

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

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

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

### Заключение

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

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

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

### Список литературы

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