



## СОДЕРЖАНИЕ

ВВЕДЕНИЕ.....	5
ТЕРМИНЫ И ОПРЕДЕЛЕНИЯ.....	8
ГЛАВА 1. ИССЛЕДОВАНИЕ ФОРМИРОВАНИЯ ВНЕШНЕГО ШУМА АВТОМОБИЛЕЙ НА АВТОМОБИЛЬНЫХ ДОРОГАХ И ЕГО ВОЗДЕЙСТВИЕ НА ОРГАНИЗМ ЧЕЛОВЕКА .....	10
1.1 Нормируемые характеристики транспортного шума в жилой застройке, прилегающей к автомобильным дорогам .....	10
1.2 Физические принципы снижения шума шумозащитными экранами	14
1.3 Акустические аспекты проектирования экранов.....	17
1.4 Характер акустического загрязнения в городах и населенных пунктах	22
1.5 Действие шума на организм человека .....	25
ГЛАВА 2. ИНФОРМАЦИОННО-АНАЛИТИЧЕСКИЙ ОБЗОР ОПЫТА ПРИМЕНЕНИЯ ШУМОЗАЩИТНЫХ ЭКРАНОВ НА АВТОМОБИЛЬНЫХ ДОРОГАХ .....	28
2.1 Опыт применения шумозащитных экранов отечественный и зарубежный.....	28
2.2 Эффективность шумозащитных экранов на автомобильных дорогах	33
2.3 Снижение шума шумозащитными экранами в жилой застройке .....	35
2.4 Анализ акустической долговечности шумозащитных экранов .....	38
2.5 Эксплуатация шумозащитных экранов .....	43

					<b>ВКР 03.32.00.000. ПЗ</b>			
<i>Изм.</i>	<i>Лист</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Подпись</i>	<i>Дата</i>	Совершенствование конструктивных решений шумозащитных экранов на автомобильных дорогах	<i>Лит.</i>	<i>Лист</i>	<i>Листов</i>
<i>Разраб.</i>		Богданович					2	93
<i>Провер.</i>		Клековкина				<b>СПбГАСУ-2019</b>		
						<b>6-СМ-2</b>		

ГЛАВА 3. ИНФОРМАЦИОННО-АНАЛИТИЧЕСКИЙ ОБЗОР ИСПОЛЬЗУЕМЫХ КОНСТРУКЦИЙ И МАТЕРИАЛОВ ШУМОЗАЩИТНЫХ ЭКРАНОВ .....	46
3.1 Классификация шумозащитных экранов .....	46
3.2 Влияние надстройки на свободном ребре .....	48
3.2 Материалы для устройства шумозащитных экранов и обработки поверхности .....	53
3.3 Конструкции и монтаж шумозащитных экранов .....	60
ГЛАВА 4. РАСЧЕТ КОНСТРУКЦИЙ ШУМОЗАЩИТНЫХ ЭКРАНОВ ДЛЯ АВТОМОБИЛЬНЫХ ДОРОГ .....	62
4.1 Определение размеров шумозащитных экранов .....	62
4.1.1 Высота шумозащитных экранов .....	62
4.1.2 Длина шумозащитных экранов .....	64
4.2 Алгоритм выбора шумозащитных конструкций .....	66
ГЛАВА 5. РАЗРАБОТКА РЕКОМЕНДАЦИЙ ПО ПРИМЕНЕНИЮ ШУМОЗАЩИТНЫХ ЭКРАНОВ НА АВТОМОБИЛЬНЫХ ДОРОГАХ И ТЕХНОЛОГИИ УСТРОЙСТВА .....	68
5.1 Основные проблемы шумозащитных экранов.....	68
5.2 Пеноалюминий .....	77
5.3 Шумозащитные экраны с интегрированными солнечными батареями .....	81
ЗАКЛЮЧЕНИЕ .....	85
СПИСОК ИСПОЛЬЗУЕМОЙ ЛИТЕРАТУРЫ .....	90

## ПЕРЕЧЕНЬ ГРАФИЧЕСКОГО МАТЕРИАЛА

Лист1. Общие данные.

Лист2. Классификация шумозащитных экранов. Шумоотражающие экраны.

Лист3. Классификация шумозащитных экранов. Шумопоглощающие экраны.

Лист4. Классификация шумозащитных экранов. Комбинированные экраны.

Лист5. Формирования внешнего шума автомобилей на автомобильных дорогах.

Лист6. Эффективность шумозащитных экранов.

Лист7. Основные группы ошибок проектирования и монтажа ШЭ.

Лист8. Основные причины неудовлетворительного состояния шумозащитных экранов.

					ВКР 03.32.00.000. ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись			4

## ВВЕДЕНИЕ

Среди всех факторов негативного воздействия автомобильных дорог с движущимися автомобильными потоками на окружающую среду и человека в последние годы наибольшее внимание уделялось шуму уличного движения. Во многом это связано с тем, что транспортный шум является одним из самых раздражающих факторов физического воздействия на человека. В мире и в нашей стране мы приобрели опыт снижения шума в жилых зданиях при проектировании дорог и их реконструкции. После реализации ряда крупных проектов по строительству шумозащитных экранов (например, по строительству МКАД) отношение к проблеме изменилось, в отечественной промышленности начали быстро развиваться выпускающие элементы шумозащитных экранов различных дизайн, назначение и внешний вид. До 90-х годов необходимость создания нормальных условий для работы и отдыха человека была только заявлена, и, несмотря на самые строгие санитарные нормы в мире, на протяжении десятилетий ничего не было сделано для решения этой проблемы. В настоящее время защита жилых зданий от шума стала одним из элементов дорожного проекта, а шумозащитные экраны являются такими же естественными элементами дороги, как ограждения или дорожная разметка.

Многочисленные исследования ученых способствовали снижению шума в жилой застройке. Постоянное круглосуточное воздействие шума усиливает нервное напряжение жителей придорожных поселков, снижает продуктивность и эффективность отдыха населения, влияет на их здоровье. Эта проблема осталась актуальной для основных дорог старой постройки (новых транспортных коридоров, обеспечивающих соблюдение санитарных норм, больше не существует). Сегодня 40% протяженности магистральных дорог в Подмоскowie находится в зоне влияния городов и сельских поселений, и строительство жилых домов вдоль дорог продолжается.

					<b>ВКР 03.32.00.000. ПЗ</b>	<i>Лист</i>
<i>Изм.</i>	<i>Лист</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Подпись</i>			5

Отсутствие технически и экономически обоснованных значений буферных зон перед строительством в нормативных документах на проектирование дорог привело к тому, что во многих населенных пунктах уровни шума превышают допустимые значения, регламентируемые санитарными нормами «Шум на рабочих зонах, в жилых и общественных зданиях и на территории жилой застройки».

Объект исследования: шумозащитные экраны в планировочной структуре городов.

Предмет исследования: совершенствование конструктивных решений шумозащитных экранов.

Целью исследования является выдвижение предложений по совершенствованию конструктивных решений шумозащитных экранов на автомобильных дорогах.

Задачи исследования:

- оценка акустического загрязнения городов и населенных пунктов и выявление основных источников шума;
- разработать требования к шумозащитным экранам и рекомендации по их проектированию, монтажу и эксплуатации;
- анализ практики применения шумозащитных экранов для снижения акустического загрязнения в городах и населённых пунктах;
- систематизировать классификацию шумозащитных экранов по конструктивному исполнению, принципам действия и расположению в пространственной структуре застройки;
- определить расчетные характеристики шумозащитных экранов;
- определить физические принципы снижения шума шумозащитными экранами;
- выполнить оценку акустической эффективности, акустической долговечности и акустических свойств основных видов шумозащитных

					<b>ВКР 03.32.00.000. ПЗ</b>	<i>Лист</i>
						6
<i>Изм.</i>	<i>Лист</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Подпись</i>			

- экранов, установленных в РФ в связи с их техническими характеристиками и технологиями;
- выявление причин недостаточной акустической эффективности шумозащитных экранов, включая ошибки проектирования, монтажа и качества изготовления шумозащитных конструкций;
  - анализ состояния транспортных шумозащитных экранов из различных материалов на различных сроках службы и последующий анализ их акустической долговечности.
  - разработка рекомендаций по применению шумозащитных экранов на автомобильных дорогах и технологии устройства

Публикации:

По материалам ВКР опубликовано 2 работы.

1. III Всероссийская межвузовская конференция «Магистерские слушания» 25-26 октября 2018 г., СПбГАСУ.  
Секция: «Автомобильные дороги, мосты и тоннели».  
Тема статьи: «Эффективность шумозащитных экранов на автомобильных дорогах».
2. Выпуск научного сборника «Современное строительство. Выпуск 2», том 1, май 2019г., СПбГАСУ.  
Тема статьи: «Анализ акустической долговечности шумозащитных экранов».

Структура и объём работы:

Выпускная квалификационная работа состоит из введения, 5 глав, заключения, списка литературы из 33 наименований, изложена на 93 страницах машинописного текста, в том числе содержит 7 таблиц и 42 рисунок.

					<b>ВКР 03.32.00.000. ПЗ</b>	<i>Лист</i>
						7
<i>Изм.</i>	<i>Лист</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Подпись</i>			

## ТЕРМИНЫ И ОПРЕДЕЛЕНИЯ

Согласно СП 51.13330.2011 [3]:

**Непостоянный шум:** Шум, уровень звука которого изменяется за время оценки более чем на 5 дБА при измерениях на временной характеристике S шумомера по ГОСТ 17187.

**Постоянный шум:** Шум, уровень звука которого изменяется за время оценки не более чем на 5 дБА при измерениях на временной характеристике S шумомера по ГОСТ 17187.

**Эквивалентный уровень звука (непостоянного шума):** Уровень звука постоянного шума, который имеет то же самое среднеквадратическое звуковое давление, что и исследуемый непостоянный шум в течение определенного интервала времени.

**Допустимый уровень шума:** Уровень, который не вызывает у человека значительного беспокойства и существенных изменений показателей функционального состояния систем и анализаторов его организма, чувствительных к шуму.

**Максимальный уровень звука, дБА:** Уровень звука непостоянного шума, соответствующий максимальному показанию измерительного прямопоказывающего прибора (шумомера) при визуальном отсчете, или уровень звука, превышаемый в течение 1% длительности измерительного интервала при регистрации шума автоматическим оценивающим устройством (статистическим анализатором).

**Шумозащитные экраны (ШЭ):** Сооружения в виде вертикальных или наклонных стенок различной конструкции, земляных насыпей, выемок, галерей и т.п., установленные вдоль автомобильных и железных дорог с целью снижения шума.

**Шумозащитные окна:** Окна со специальными вентиляционными устройствами, обеспечивающие повышенную звукоизоляцию при одновременном обеспечении нормативного воздухообмена в помещении.

					<b>ВКР 03.32.00.000. ПЗ</b>	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись			8



Согласно СТО АВТОДОР 2.9-2014 [13]:

Акустический экран (шумозащитный экран, экран, АЭ): Протяженная искусственная преграда, устанавливаемая между автомобильной дорогой и защищаемым объектом, предназначенная для уменьшения шума автомобильной дороги.

Акустическая эффективность экрана, дБ, дБА: Величина, равная разности уровней звукового давления, дБ, в одной и той же измерительной (расчетной) точке вблизи защищаемого от шума объекта до и после установки АЭ, определенных при одинаковых условиях (та же излучаемая мощность источника шума, то же окружение: рельеф, структура местности и отражающих звук строений на ней).

					<b>ВКР 03.32.00.000. ПЗ</b>	<i>Лист</i>
						9
<i>Изм.</i>	<i>Лист</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Подпись</i>			

# ГЛАВА 1. ИССЛЕДОВАНИЕ ФОРМИРОВАНИЯ ВНЕШНЕГО ШУМА АВТОМОБИЛЕЙ НА АВТОМОБИЛЬНЫХ ДОРОГАХ И ЕГО ВОЗДЕЙСТВИЕ НА ОРГАНИЗМ ЧЕЛОВЕКА

## 1.1 Нормируемые характеристики транспортного шума в жилой застройке, прилегающей к автомобильным дорогам

В настоящее время основными нормативными документами, при проектировании автомобильных дорог для обеспечения акустического комфорта в жилой застройке являются [1-4].

Развитие методов исследования акустических характеристик шума, объективных патологических изменений в органе слуха, центральной нервной системе, показывают, что наилучшим образом раздражение человека шумом характеризуется эквивалентным уровнем звука –  $L_{э\text{кв}}$ [2]. Эквивалентный уровень звука принят в качестве нормируемой характеристики непостоянных шумов в Российской Федерации.

Нормируемыми параметрами непостоянного шума являются эквивалентные (по энергии) уровни звука  $L_{A\text{экв}}$ , дБА, и максимальные уровни звука  $L_{A\text{макс}}$ , дБА.

Эквивалентный уровень звука устанавливают в результате измерений и определяют по формуле:

$$L_{\text{экв}} = 10 \lg \int_0^T 10^{0.1L_t} dt \quad (1.1)$$

где

$T$  - продолжительность измерения уровней звука;

$L_t$  - текущее значение уровня звука.

Допустимые и максимальные значения уровней шума на территориях, примыкающих к жилым зданиям, зданиям общественного назначения (лечебные, учебные, гостиницы и т.п.) в дневной (с 7-00 до 23-00 ч) и ночной (с 23-00 до 7-00 ч) периоды времени регламентируются санитарными нормами СН

					<b>ВКР 03.32.00.000. ПЗ</b>	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись			10

2.2.4/2.1.8.562-96 «Шум на рабочих местах, в помещениях жилых, общественных зданий и на территории жилой застройки» [1].

Значения допустимых эквивалентных уровней звука ( $L_{A_{дон}}$ ) и максимальных уровней звука ( $L_{A_{макс}}$ ) на территориях, примыкающих к автомобильным дорогам с учетом поправки указанной в п.2 Примечания к таблице 3 СН 2.2.4/2.1.8.562-96 представлены в таблице 1.1.1.

Основными факторами, определяющими уровень транспортного шума, являются:

- интенсивность движения;
- доля наиболее шумных грузовых автомобилей;
- характер придорожной территории;
- дорожные условия, определяющие режим движения.

В зависимости от интенсивности движения эквивалентный уровень звука изменяется согласно таблице 1.1.2.

					<b>ВКР 03.32.00.000. ПЗ</b>	Лист
						11
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись			

Таблица 1.1.1

№ п/п	Вид трудовой деятельности, рабочее место	Время суток	Допустимые эквивалентные уровни звука в расчетной точке $L_{Aдоп}$ (дБА)	Максимальные уровни звука $L_{Aмакс.}$ дБА
1	Территории, непосредственно прилегающие к зданиям больниц и санаториев	с 7 до 23ч с 23 до 7ч	55 45	70 60
2	Жилые комнаты квартир, жилые помещения домов отдыха, пансионатов, домов-интернатов для престарелых и инвалидов, спальные помещения в детских дошкольных учреждениях и школах-интернатах	с 7 до 23ч с 23 до 7ч	50 40	65 55
3	Территории, непосредственно прилегающие к жилым домам, зданиям поликлиник, зданиям амбулаторий, диспансеров, домов отдыха, пансионатов, домов-интернатов для престарелых и инвалидов, детских дошкольных учреждений, школ и других учебных заведений, библиотек	с 7 до 23ч с 23 до 7ч	65 55	80 70
4	Территории, непосредственно прилегающие к зданиям гостиниц и общежитий	с 7 до 23ч с 23 до 7ч	55 45	70 60
5	Площадки отдыха на территории больниц и санаториев	-	45	60
6	Площадки отдыха на территории микрорайонов и групп жилых домов, домов отдыха, пансионатов, домов-интернатов для престарелых и инвалидов, площадки детских дошкольных учреждений, школ и др. учебных заведений	-	55	70

Таблица 1.1.2.

Интенсивность движения, авт./час	Эквивалентный уровень звука, дБА	Интенсивность движения, авт./час	Эквивалентный уровень звука, дБА
50	65	880	76
60	66	1150	77
80	67	1650	78
100	68	2400	79
140	69	3000	80
170	70	4000	82
230	71	5000	83
300	72	6000	83
400	73	7000	84
500	74	8000	84
660	75	9000	85

Расчетное значение эквивалентного уровня звука при движении транспортного потока (шумовую характеристику транспортного потока  $L_{ШХТП}$ ) принято определять на расстоянии 7,5 м от оси ближней полосы движения транспортных средств, на высоте 1,5 м от уровня покрытия проезжей части. Величина шумовой характеристики транспортного потока, характеризующая реальные дорожные условия определяют по формуле[2]:

$$L_{ШХТП} = L_{трп} + \Delta L_{груз} + \Delta L_{ск} + \Delta L_{ук} + \Delta L_{пок} + \Delta L_{рп} + \Delta L_{зас} + \Delta L_{перес} \quad (1.2)$$

где

$L_{ШХТП}$  - расчетное значение эквивалентного уровня звука при движении транспортного потока в реальных дорожных условиях, дБА;

$L_{трп}$  - расчетное значение эквивалентного уровня звука транспортного потока на расстоянии 7,5 от оси ближайшей полосы движения прямолинейного горизонтального участка автомобильной дороги с мелкозернистым

асфальтобетонным покрытием при распространении шума над грунтом на высоте 1,5 м, при скорости движения соответствующей интенсивности движения, в составе транспортного потока 40% грузовых автомобилей, дБА;

$\Delta L_{\text{груз}}$  - поправка, учитывающая изменение количества грузовых автомобилей и автобусов в транспортном потоке по сравнению с расчетным составом, дБА. К грузовым относят автомобили, масса которых составляет более 3500 кг;

$\Delta L_{\text{ск}}$  - поправка учитывающая, изменение средней скорости движения по сравнению с расчетным значением, дБА;

$\Delta L_{\text{ук}}$  - поправка, учитывающая величину продольного уклона, дБА;

$\Delta L_{\text{пок}}$  - поправка, учитывающая тип дорожного покрытия, дБА;

$\Delta L_{\text{рп}}$  - поправка, учитывающая наличие центральной разделительной полосы, дБА;

$\Delta L_{\text{зас}}$  - поправка, учитывающая влияние придорожной застройки, дБА;

$\Delta L_{\text{перес}}$  - поправка, учитывающая наличие пересечения.

## 1.2 Физические принципы снижения шума шумозащитными экранами

Физический эффект, обеспечивающий снижение шума при установке АЭ основан на отражении звука от физической преграды (акустического экрана), поэтому в классификации средств защиты от шума акустический экран рассматривается как конструкция звукоизоляции. Но, в отличие от звукоизолирующих конструкций бесконечных размеров (например, звукоизолирующая перегородка и др.), экран имеет конечные размеры, и звуковая энергия, падающая на экран, частично отражается от него, а частично, учитывая, что размеры экрана могут быть сравнимы с длиной волны (например, в области низких и средних частот), огибает свободное(ые) ребро(а) экрана, дифрагируя за него. Факторы, влияющие на эффективность экрана,

					<b>ВКР 03.32.00.000. ПЗ</b>	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись			14

используемого для защиты от дорожного шума, можно разделить на три группы: связанные с источником шума, окружающей средой и самим экраном. Наиболее значимыми из них являются следующие:

- высота экрана;
- расположение экрана относительно системы «источник-защищаемый объект»;
- конфигурация экрана;
- звукопоглощение материала экрана;
- особенности источника шума (спектральные характеристики источника – чем ближе спектр источника шума к высокочастотному, тем эффективнее шумозащита экраном, протяженность источника шума);
- метеорологические условия и характеристики местности (отражение звука от поверхности земли, растительности или вблизи расположенных сооружений);
- звукоизоляция акустического экрана

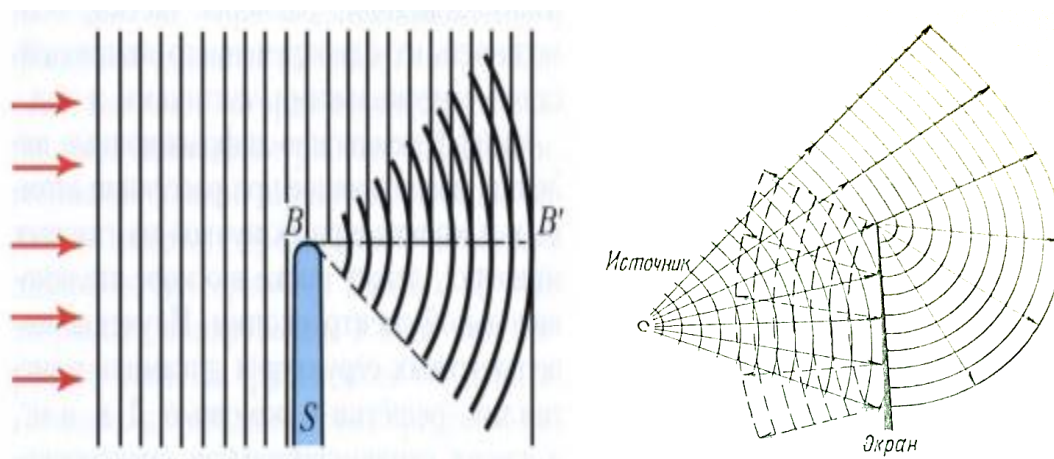


Рис. 1.2.1 Схема дифракции звуковой волны от края экрана

Дифракция, или огибание звуковыми волнами препятствия, может происходить и по верху экрана, и вокруг него. Из-за природы звуковых волн дифракция не изменяет все частоты равномерно. Высокие частоты (более

короткие волны) дифрагируют в меньшей степени; в то время как более низкие частоты (более длинные волны) дифрагируют глубже в «теневую» зону позади экрана. Поэтому экран более эффективен для уменьшения волн звука с высокой частотой по сравнению с волнами звука с более низкими частотами.

Важный аспект дифракции – разность длины между траекторией от источника через вершину экрана до приемника и прямого пути от источника к приемнику при отсутствии между ними препятствий.

Шумозащитный экран работает на нескольких принципах акустической защиты, основными из которых являются отражение и поглощение звука. Эффект снижения шума экраном образуется за счет образования звуковой тени за ШЭ, где звук снижен. Ухудшение эффективности работы ШЭ получается за счет явления дифракции. Рассмотрим эти принципы на примере, показанном на рис. 1.2.2.

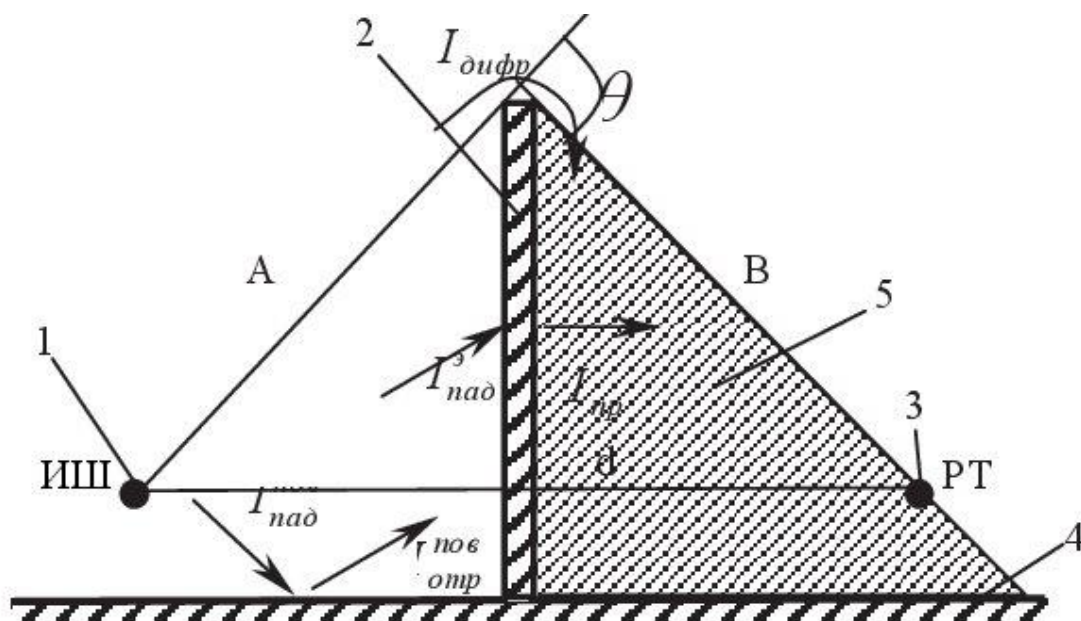


Рис. 1.2.2 Схема расчета эффективности акустического экрана:  
 1–источник шума (ИШ), 2–акустический экран (АЭ), 3–расчетная точка (РТ), 4–ближрасположенная поверхность (отражающая или поглощающая),  
 5 – область звуковой тени



Звуковая энергия по пути от ИШ к РТ перераспределяется и уменьшается за счет следующих эффектов. Сначала происходит частичное затухание звука за счет поглощения звукопоглощающей поверхностью.

Уменьшившаяся звуковая энергия падает на физическую преграду – шумозащитный экран. Часть падающей энергии проходит через ШЭ, а часть поглощается, если он имеет звукопоглощение, или отражается от него. Если ШЭ имеет ограждающую поверхность часть звуковой энергии дифрагирует через свободное ребро ШЭ; при этом, если ШЭ отражает звук, то к падающей энергии добавляется часть энергии отраженного звука.

Из изложенного следует, что основной эффект АЭ достигается уменьшением доли дифрагированного звука и созданием зоны акустической тени за экраном.

Снижение дифрагирующей через АЭ звуковой энергии, следовательно, увеличение эффективности АЭ, может быть достигнуто следующими путями:

- 1) снижением расстояния от источника шума до АЭ и от АЭ до защищаемого объекта;
- 2) увеличением высоты и/или длины АЭ.

Приближение АЭ к источнику – не всегда реализуемая мера (например, этот метод широко распространен для снижения шума от подвижного состава железнодорожного транспорта, но имеет свои ограничения при проектировании автомобильных дорог). Таким образом, как правило, основной путь увеличения эффективности АЭ, устанавливаемых на автодорогах, – это увеличение их высоты и/или протяженности.

### **1.3 Акустические аспекты проектирования экранов**

Акустическими целями проекта являются степень ослабления шума за экраном. Он определяется как разность между уровнем звука в данном приемнике до установки экрана и уровнем звука в том же самом приемнике

					<b>ВКР 03.32.00.000. ПЗ</b>	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись			17

после устройства экрана. Считается что каждый дополнительный 1 м высоты экрана выше линии визирования обеспечивает дополнительное ослабление шума на 0,5-5 дБА.

Шумозащитный экран должен быть достаточно высоким и длинным, чтобы только малая часть звуковой волны дифрагировала вокруг него. Если экран недостаточно длинен, для зданий, находящихся ближе к его концам, снижение шума составит менее 5 дБА. Эмпирическое правило – экран должен иметь такую длину, чтобы расстояние между приемником и концом экрана было в 4 раза больше длины перпендикуляра от приемника до экрана (рис. 1.3.1). Другой вариант этого правила состоит в том, что угол между перпендикуляром от приемника до экрана и линией от приемника до конца экрана должен составлять не менее  $80^\circ$ .

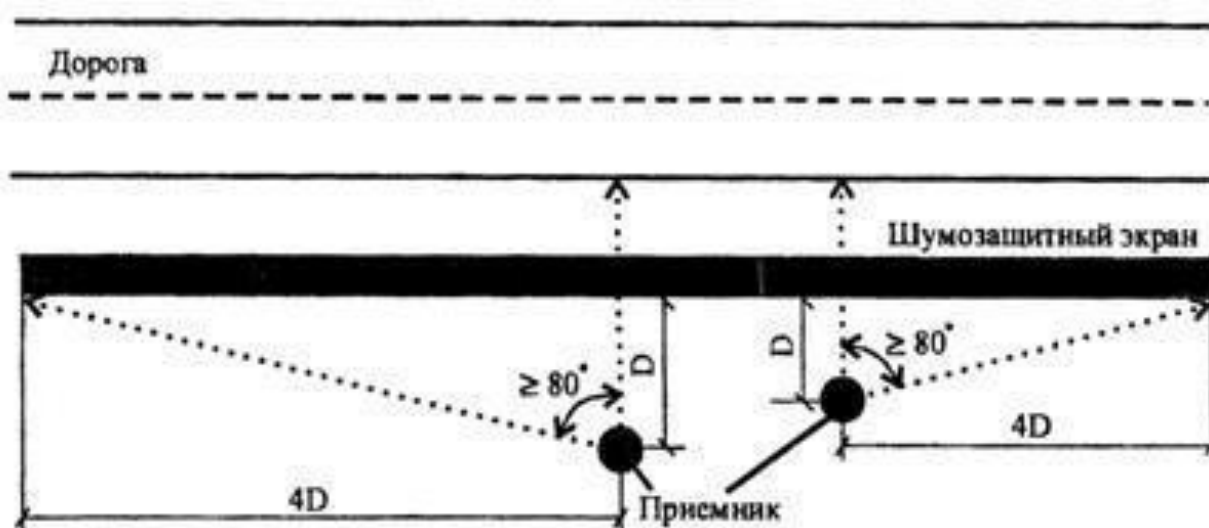


Рис.1.3.1 Общее требование к размещению экрана ( $D$  – расстояние от приемника до экрана)

Должным образом спроектированные шумозащитные экраны должны достигать  $IL$  около 10 дБ (А), что эквивалентно снижению в 2 раза восприятия шума для первой линии домов позади экрана. Для зданий, не находящихся непосредственно позади экрана, снижение шума может составлять от 3 до 5 дБ(А), что едва ощущается человеческим ухом (табл. 1.3.1).

Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	

Соотношение между требованиями к снижению шума экраном и сложностью получения этого снижения

Снижение шума экраном, дБА	Сложность достижения	Снижение энергии звука, %	Субъективное снижение слышимости
на 5	просто	68	заметное
на 10	достижимо	90	половина слышимости
на 15	очень сложно	97	треть слышимости
на 20	почти невозможно	99	четверть слышимости

По акустическим характеристикам конструкции шумозащитных экранов делят на две группы: шумоотражающие и шумопоглощающие. От шумоотражающих экранов звуковая энергия отражается в противоположную от защищаемого объекта сторону, шумопоглощающие в результате поглощения звуковой энергии не вызывают увеличения уровней звука на противоположной стороне дороги и увеличения уровней звука в салонах проезжающих автомобилей (рисунок 1.3.2). Для защищаемой застройки акустическая эффективность шумоотражающего и шумопоглощающего экранов одинакова.

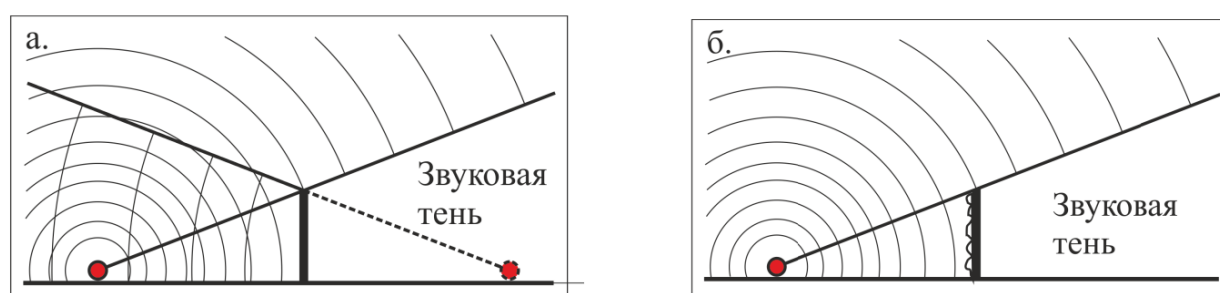


Рисунок 1.3.2 Схема распространения шума в месте установки экрана: а – шумоотражающего; б – шумопоглощающего

Изм.	Лист	№ докум.	Подпись
------	------	----------	---------

Экран без дополнительной обработки звукопоглощающим материалом может считаться звукоотражающим. Отражающий экран на одной стороне дороги может привести к отражению определенного количества звуковой энергии обратно на противоположную сторону дороги.

Как правило, жители чувствуют усиление звука после того, как отражающий экран установлен на противоположной стороне дороги, хотя теоретически и практически доказано, что усиление звука в таких случаях не превышает 1 - 2 дБ (А). Это незаметно, но на противоположной стороне дороги люди могут почувствовать изменение качества звука, поскольку характеристика отраженного звука может отличаться от источника из-за изменения частот.

Параллельные экраны также могут быть установлены вдоль дорог - два экрана, расположенные на противоположных сторонах дороги. В этом случае следует оценить возможность снижения эффективности каждого экрана из-за многократных отражений звуковых волн.

Это снижение эффективности может составлять от 2 до 6 дБ (А), т.е. отдельно стоящий экран с эффективным снижением уровня шума на 10 дБ (А) может снижать уровень шума только на 4 - 8 дБ (А), если другой экран помещен параллельно рассматриваемому на противоположной стороне дороги.

Проблемы, вызванные отражающими экранами, могут быть решены при использовании одного метода или комбинации следующих трех методов.

Первый метод. Для параллельных экранов необходимо, чтобы расстояние между ними в 10 раз превосходило их среднюю высоту. Соотношение 10:1 (w/h) значительно ослабит ухудшение их деятельности. Это может привести к уменьшению числа отражений звуковой волны между экранами и к ослаблению отраженного звука из-за рассеивания и поглощения звука в атмосфере.

Второй метод. На одну или обе стороны экрана наносится звукопоглощающий материал. Решение об использовании звукопоглощающего покрытия принимается с учетом экономических соображений, так как

					<b>ВКР 03.32.00.000. ПЗ</b>	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись			20

стоимость шумопоглощающего материала (вместе с работами), наносимого на экран во время строительства или после введения экрана в эксплуатацию, в США составляет от 75 до 118 \$/м<sup>2</sup>. При средней стоимости базового варианта 97 \$/м<sup>2</sup>, например, для экрана высотой 3,6 м это повлечет увеличение затрат на 0,4 млн. долл. на 1 км длины экрана.

Третий метод. Один или оба экрана устраиваются с наклоном в сторону от дороги. Исследования показали, что угол в 7° практически восстанавливает эффективность шумозащитных экранов. Однако для этого один экран должен располагаться выше другого.

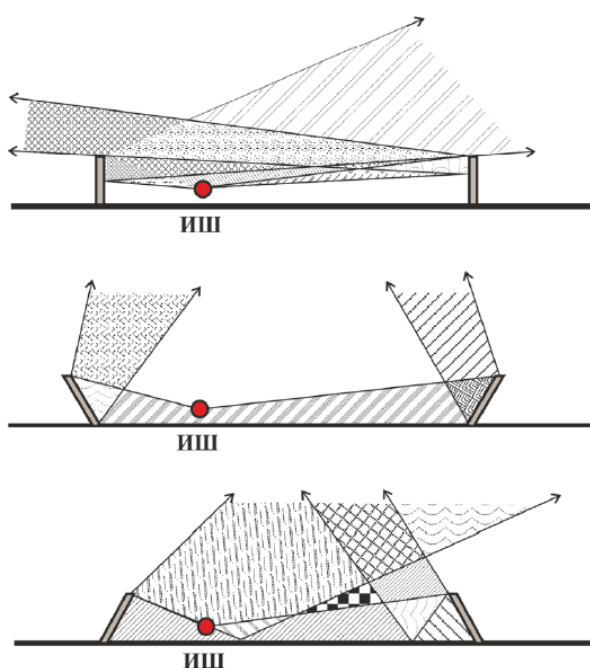


Рисунок 1.3.3 Отражение шума от экранов при их различном наклоне

Экраны, которые перекрывают друг друга по длине, обычно создаются для обеспечения доступа для технического обслуживания, движения пешеходов и обеспечения безопасности. Общее эмпирическое правило - соотношение между длиной участка перекрытия и расстоянием между экранами должно быть 4:1, чтобы обеспечить незначительное ухудшение акустических характеристик экрана (рис. 1.3.4). Если соотношение 4:1 невозможно выполнить, необходимо рассмотреть условия нанесения шумопоглощающего покрытия на поверхность экрана.

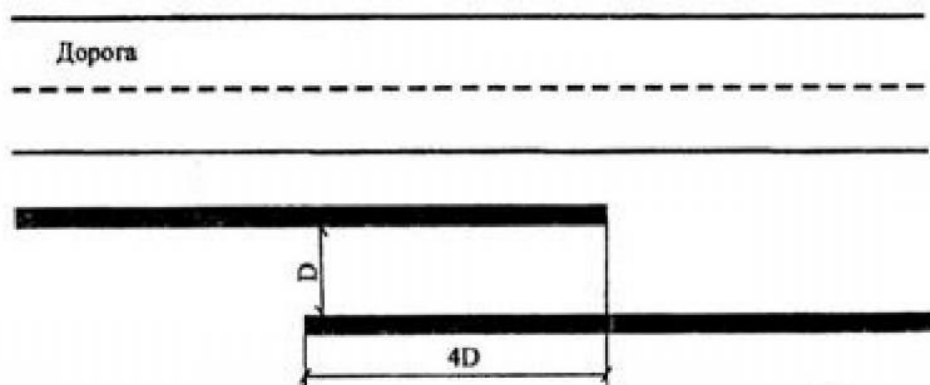


Рисунок 1.3.4 Перекрывающиеся шумозащитные экраны ( $D$  - расстояние между шумозащитными экранами)

#### 1.4 Характер акустического загрязнения в городах и населенных пунктах

На основе исследования [6], в котором были проведены измерения уровней шума от крупнейших автомагистралей в городе Санкт-Петербург и Ленинградской области, Москве и Московской области, Чебоксарах, Рязани, Уфе, Сочи, Пскове, Самаре, составлена таблица 1.4.1. Интенсивность движения на обследуемых участках по официальным данным (ФКУ РОСАВТОДОР) составляла от 7 000 авт/сутки на съездах до 180 000 авт/сутки и более на участках с 8-мью полосами движения.

					<b>ВКР 03.32.00.000. ПЗ</b>	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись			22

Таблица 1.4.1

Шумовые характеристики автомобильных дорог в дневной период  
времени

Автомобильная дорога	ШХ, дБА		Состав транспортного потока (время измерений – от 5 мин)			
	Экв УЗ	Макс. УЗ	легковые	грузовые	автобусы	др. виды
г. Москва и Московская область						
А-108	74	84	188	231	16	–
	74	84	210	201	9	–
	76	86	197	221	10	–
М-2 «Крым»	80	84	257	184	20	–
М-4 «Дон»	79	89	251	161	5	–
	79	89	290	120	5	–
М-10 «Россия»	79	85	251	134	30	–
	78	88	270	44	29	–
	78	88	267	134	23	–
М-8 «Холмогоры»	84	90	273	134	28	–
М-9 «Балтия»	86	93	312	89	17	–
г. Чебоксары						
М-7 «Волга»	73	85	267	142	3	–
	76	89	147	254	3	–
	76	85	138	271	6	–
г. Рязань						
М-5 «Урал»	76	84	297	90	20	–

Продолжение таблицы 1.4.1

г. Сочи						
М-4 «Дон»	70	80	364	12	18	–
А-147 (М-27)	75	82	378	17	28	–
г. Псков						
М-9 «Балтия»	86	93	312	89	17	–
г. Санкт-Петербург						
А-118 КАД	80	89	409	99	5	–
	77	83	437	84	2	–
	85	96	302	110	4	–
	82	93	427	87	–	–
Р-21 «Кола»	78	87	435	95	7	–
	74	83	362	32	8	–
	74	88	468	45	8	–

Согласно результатам вышеупомянутого исследования, шумовые характеристики автомобильных дорог в Санкт-Петербурге и Ленинградской области составляли 74–85 дБА при эквивалентном уровне звука, 83–96 дБА при максимальном уровне звука, 74–86 дБА и 84–93 дБА по Москве и Московской области соответственно. При проведении расчетов по распространению шума на местности автомобильная дорога аппроксимируется линейным источником шума при оценке эквивалентного уровня звука и точечным источником шума при оценке максимального уровня звука для случая, когда максимальный уровень звука создается наиболее шумным автомобилем при проезде на кратчайшем расстоянии от жилой застройки.

Для оценки акустической обстановки вдоль автомобильных дорог условно рассматривалась зона на расстоянии 100 м от оси транспортной магистрали.



Анализируя представленные данные, в 100% случаев на расстоянии 100 м от оси автомобильных дорог остаются превышения по эквивалентному уровню звука на величину от 1 до 20 дБА. Выполненный анализ подтверждает данные, приведенные Роспотребнадзором в [14].

### 1.5 Действие шума на организм человека

Шум оказывает вредное воздействие на людей. Этот эффект зависит от уровня и характера шума, его продолжительности и индивидуальных особенностей человека.

Уровень шума 20-30 дБ практически безвреден для человека. Это естественный шумовой фон, без которого человеческая жизнь невозможна.

Уровень шума до 65 дБ вызывает раздражение, которое носит только психологический характер. Особенно негативно это сказывается на умственной работе. Часто такой шум, производимый человеком, не беспокоит его, а посторонний вызывает раздражение.

При уровне шума 65–85 дБ возможен побочный физиологический эффект. Через волокна слуховых нервов шум передается в центральную и вегетативную нервную системы, а через них он воздействует на внутренние органы, приводя к изменениям функционального состояния организма, влияет на психическое состояние человека. Так, при указанном уровне шума пульс и артериальное давление увеличиваются, сосуды сужаются, что снижает кровоснабжение организма, и человек быстрее устает. Установлено, что во время работы, требующей внимания, при увеличении уровня шума с 65 до 85 дБ наблюдается снижение производительности труда на 30%. [5].

Помимо частоты и уровня громкости шума, на развитие потери слуха влияют возраст, слуховая чувствительность, длительность, характер шумового воздействия, ряд других причин. Болезнь развивается постепенно, поэтому особенно важно заранее принять соответствующие меры для защиты от шума.

					<b>ВКР 03.32.00.000. ПЗ</b>	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись			25

Под воздействием сильных шумов, особенно высокочастотных, происходят необратимые изменения в органе слуха. При высоких уровнях шума снижение слуховой чувствительности происходит уже через 1–2 года работы, на средних - обнаруживается значительно позже, через 5–10 лет.

Последовательность, с которой происходит потеря слуха, теперь хорошо изучена. Сильный шум вызывает временную дисфункцию слуха. При нормальных условиях через день или два слух восстанавливается. Но если воздействие шума длится месяцами или, как в промышленности, годами, восстановления не происходит, и временный сдвиг порога слышимости превращается в постоянный.

Шум мешает нормальному отдыху и восстановлению сил, нарушает сон. Систематическое недосыпание и бессонница приводят к серьезным нервным срывам.

Шум оказывает вредное воздействие на зрительные и вестибулярные анализаторы, снижает стабильность ясного зрения и рефлекторную деятельность. Шум способствует увеличению числа различных заболеваний также потому, что он оказывает угнетающее воздействие на психику, способствует значительным расходам нервной энергии, вызывает психическое недовольство и протест.

Транспортный или производственный шум действует на человека угнетающе - утомляет, раздражает, мешает концентрации внимания. Как только такой шум прекращается, человек испытывает чувство облегчения и покоя.

Воздействие уровня шума 85 дБ и выше приводит к ухудшению слуха. Риск потери слуха у работников с шумом 85 дБ составляет 3%, при 90 дБ - 10%, при 100 дБ - 29% [5]. Кроме того, увеличивается влияние шума на систему кровообращения, ухудшается деятельность желудка и кишечника, появляются чувство тошноты, головной боли и шума в ушах.

					<b>ВКР 03.32.00.000. ПЗ</b>	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись			26

Работники в шумных магазинах развивают гипертонию через 10–12 лет, а признаки гипертонии появляются у людей, работающих с импульсным шумом через 2–3 года.

Уровень шума 120 дБ и выше оказывает механическое воздействие на весь организм. Звук, проникая через кожу, вызывает механические колебания тканей, в результате чего разрушаются нервные клетки, разрываются мелкие кровеносные сосуды, лопаются барабанные перепонки.

Звук в 130 дБ уже вызывает у человека болезненные ощущения, а при 150 дБ он становится для него невыносимым. Звук 180 дБ вызывает усталость металла, а при 190 дБ происходит разрушение клепаных соединений [5].

					<b>ВКР 03.32.00.000. ПЗ</b>	<i>Лист</i>
						27
<i>Изм.</i>	<i>Лист</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Подпись</i>			

## ГЛАВА 2. ИНФОРМАЦИОННО-АНАЛИТИЧЕСКИЙ ОБЗОР ОПЫТА ПРИМЕНЕНИЯ ШУМОЗАЩИТНЫХ ЭКРАНОВ НА АВТОМОБИЛЬНЫХ ДОРОГАХ

### 2.1 Опыт применения шумозащитных экранов отечественный и зарубежный

В Российской Федерации в последние годы проблема ограничения воздействия шума на людей была решена за счет использования различных методов защиты от шума: устройства защиты от шума экранов, улучшения свойств дорожного покрытия, а также с помощью дополнительных мер, таких как ландшафтный дизайн, звукоизоляционные планировочные решения, планировка территории и схемы движения транспортных средств и транспортных потоков, устройство звуконепроницаемых окон. Из опыта видно, что проблему шумозащитных конструкций следует рассматривать в целом - не только с точки зрения уменьшения акустического дискомфорта, но и с учетом технических и экономических аспектов, обслуживания конструкций, вплоть до эстетических и включающих восприятие.

Одним из наиболее распространенных способов защиты от шума по способу его распространения, особенно в жилых районах с небольшим расстоянием от источника шума до защищаемого объекта, являются акустические экраны (АЭ).

Шумозащитные экраны служат препятствием для распространения звуковых волн на пути их распространения от источника шума до расчетной точки или объекта, подлежащего защите. АЭ просто необходим, потому что шум является еще одним источником скрытого стресса, в котором, благодаря шуму, вы можете оставаться постоянно днем и ночью.

Появление первых акустических экранов, используемых для снижения шума от движения в жилых зданиях, восходит к концу 1960-х и началу 1970-х годов, когда первый акустический экран был построен в 1968 году в

					<b>ВКР 03.32.00.000. ПЗ</b>	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись			28

Калифорнии (США). Появление законов о шуме во многих странах привело к массовому использованию этих объектов. Сегодня во многих странах длина экранов вдоль дорог достигает нескольких тысяч километров.

В Германии установлены шумозащитные экраны, которые не только защищают от шума, но и поглощают вредные вещества. А на экранах они устанавливают фотоэлектрические панели, которые генерируют электричество от солнечного света.

В США предпочтение отдавалось отражающим ШЭ, и в то же время они практически отказались от использования металлических ШЭ. В Японии, Южной Корее установлены в основном светопоглощающие ШЭ из стали и алюминия. В странах Скандинавии, особенно в Финляндии, деревянные ШЭ находят широкое применение. Они могут хорошо вписаться в сельский ландшафт, а в некоторых случаях они могут также оказаться независимым проектом в пригородных или городских районах. В Италии используются светопоглощающие металлические кожухи, панели которых изготовлены из алюминия и дерева; для скоростных железных дорог используются ШЭ из бетона. В России экран в основном используется.

В Российской Федерации АЭ впервые использовались при реконструкции МКАД в 1995-1998 гг. Опыт использования АЭ в нашей стране невелик по сравнению с другими развитыми странами, первые нормативные документы, позволяющие конструировать АЭ в нашей стране, были выпущены в конце 70-х годов прошлого века. (СНиП II-12-77).

В настоящее время до 80% всех шумозащитных экранов в России представляют собой металлические конструкции с кассетными панелями и наполнителем из минеральной ваты. Эта технология пришла к нам из Европы, где она использовалась в 60-70-х годах прошлого века. Основным недостатком этой технологии является металл, независимо от того, насколько он защищен от контакта с агрессивной средой, он все же подвержен коррозии.

					<b>ВКР 03.32.00.000. ПЗ</b>	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись			29

В России наблюдается тенденция использования экранов с металлическими панелями из оцинкованной стали, которые часто приходят в негодность после 3-5 лет эксплуатации. Часто панели изготавливаются из тонкого металла (оцинкованная сталь 0,5 мм), поэтому они становятся непригодными для использования в течение одного сезона. Для сравнения на мировом рынке металлические сита используются в основном из алюминия и нержавеющей стали, а не из оцинкованной стали, поскольку срок их службы значительно дольше (более 15 лет). В Европе предпочтение отдается тяжелым грохотам из щебеночного или керамзитобетона (около 30% от общего количества используемых материалов) и пропитанным деревянным грохотам, устойчивым к любому типу коррозии (также около 30%).



Рис.2.1.1 Экран из импрегнированной древесины



Рис.2.1.2 Экран с применением щепобетона

Импрегнация древесины - это процесс пропитки натурального материала растворами и антисептиками с целью приобретения необходимых качеств будущих продуктов:

- устойчивость к вредителям;
- устойчивость к смачиванию, гниению;
- огнестойкость;
- увеличить прочность дерева;
- увеличить срок службы древесины.

«Импрегнировать» на латыни означает «наполнять». Другими словами, импрегнат проникает в структуру дерева, заполняет его пространство, укрепляя материал изнутри.

Около 85% всех экранов, установленных в России, - это оцинкованные стальные панели, 10% - из алюминия и нержавеющей стали. В нашей стране мало экранов из пропитанной древесины (около 3%), а экраны из

керамзитобетона и щебня почти никогда не используются. На долю других материалов приходится 1%.

В настоящее время в России разработана нормативно-техническая документация, регламентирующая требования к конструкции и расположению шумозащитных экранов. Основными документами являются [2, 9, 11, 12, 13].

Изучая и анализируя эти нормативные документы, можно увидеть, как развиваются подходы к проектированию таких структур; новые задачи ставятся для решения проблем, выявленных в процессе эксплуатации. Однако, несмотря на такое обилие нормативно-технической документации, чрезвычайно трудно добиться согласованности между теоретической и практической эффективностью шумозащитных экранов. Исправление технической документации необходимо с учетом основных проблем и ошибок, возникающих на практике.

В настоящее время в нашей стране технология производства и использование шумозащитных экранов развиваются достаточно интенсивно, внедряются различные инновации и более эффективные решения, однако общий уровень шумозащитных сооружений не дотягивает до общеевропейских норм.

При сравнении требований к шумозащитным панелям, предъявляемым в России и в Европе можно отметить следующее [6]:

1. Толщина металлического оцинкованного листа в России допускается 0,8 мм, в Европе – 1,2 мм. При таких требованиях уже на первом этапе изготовления стоимость качественной оцинкованной панели возрастает, по сравнению с панелями из других материалов. Таким образом, из-за высокой стоимости и низкой долговечности оцинкованных панелей, в Европе их изготовление становится крайне невыгодным и исключается из практического применения.



2. В России обработка материала практически не регламентирована, в Европейском Союзе – предъявляются требования ко всем этапам механической обработки, а антикоррозионная обработка применяется после этих этапов.

3. Требования к звукоизоляции в Российской Федерации определяются только сертификатами и протоколами испытаний, в то время как в Европе существуют ограничения по поверхностной плотности панели. Это условие позволяет недобросовестным производителям в Российской Федерации изготавливать звуковые панели с низкой звукоизоляцией, подтверждающие значения сертификатов для измерений в акустической камере. Таким образом, на панели одинаковой конструкции (одинаковой толщины, плотности материала, размера воздушного зазора и т. Д.) Показатель шумоизоляции у производителей различается на 7–9 дБ и достигает 36 дБ для оцинкованной панели с толщиной листа 0,7 мм.

Таким образом, необходимо провести масштабное исследование шумозащитных экранов, установленных в Российской Федерации, чтобы определить их состояние и найти причины низкой акустической прочности шумозащитных экранов в нашей стране. Также необходимо обосновать использование более передовых технологий для обеспечения требуемой акустической стойкости шумозащитных экранов.

## **2.2 Эффективность шумозащитных экранов на автомобильных дорогах**

По ряду причин в городе при уже существующей застройке практически всегда единственным возможным методом является установка АЭ. Помимо того, что он является препятствием распространению звуковых волн, он еще является физическим препятствием для распространения вредных и загрязняющих веществ. По данным предоставленным Балтийским Государственным Техническим Университетом (ВОЕНМЕХ) за АЭ высотой 4 метра, установленного вдоль автомобильной дороги, понижение показателей составило [6]:

					<b>ВКР 03.32.00.000. ПЗ</b>	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись			33

- уровень звука 12-15 дБА;
- концентрация вредных химических веществ (оксид и диоксид азота) в 3-10 раз;
- содержание вредных тяжелых металлов за акустическим экраном практически не обнаружено.

Опыт в эксплуатации шумозащитных экранов свидетельствует, что их эффективность составляет всего 14–18 дБА, редко когда достигает 20 дБА.

Эти значения достигаются только при правильной конструкции шумозащитных экранов - прежде всего, при правильном выборе их высоты, длины и линии прохода. В соответствии с исследованиями, достаточно использовать панели с индексом звукоизоляции в воздухе около 28 дБА в конструкции экрана, чтобы достичь вышеупомянутой эффективности ШЭ на автомагистралях; большие значения индекса не приведут к увеличению эффективности экрана. Проблема в том, что, зная только лишь индекс изоляции воздушного шума, невозможно охарактеризовать эффективность шумозащитного экрана. Значение индекса изоляции воздушного шума определяется в лабораторных условиях в специальной акустической камере. Его физический смысл состоит в том, что он показывает уровень шума, снижаемого экраном при условии, что длина и высота экрана бесконечны. Однако на практике ШЭ имеет конечные длину и высоту. По этой причине звуковые волны, падающие на экран, частично рассеиваются, огибают экран сверху и сбоку, проникая за него [7].

Эффективному использованию акустических экранов (АЭ) и обеспечению требуемого снижения шума у нормируемых объектов препятствуют следующие проблемы:

- недостаточная фактическая акустическая эффективность экранов (5-10 дБА);
- некорректно выбранные параметры АЭ (высота, длина, расположение и пр.);

- низкое качество акустических панелей АЭ;
- неверно запроектированное совмещение АЭ с прочими элементами;
- обустройства автомобильной дороги;
- ошибки при монтаже;
- ухудшение акустических свойств АЭ в процессе эксплуатации;
- ухудшение внешнего вида АЭ в процессе эксплуатации;
- недостаточная вандалозащищенность и безопасность при эксплуатации;
- малый срок службы и разрушение отдельных частей АЭ.

Из выше перечисленного следует, что установка АЭ способствует снижению сразу нескольких вредных факторов и является эффективным способом обеспечения экологической безопасности.

### **2.3 Снижение шума шумозащитными экранами в жилой застройке**

Города, планирование и развитие которых складывались веками, оказались непригодными для движения большого количества транспортных средств по улицам, а жилые комплексы не были защищены от шума дорожного движения.

Защита жилых зданий от шума является сложной задачей, которая решается путем проведения комплекса градостроительных и строительно-акустических мероприятий.

Градостроительные мероприятия по снижению шума в зданиях включают в себя:

- функциональное зонирование территории застройки;
- трассировка магистральных дорог скоростного и грузового движения в обход жилых районов и зон отдыха;
- дифференциация улично-дорожной сети по составу транспортных потоков с выделением основного объема грузового движения на специализированные магистрали;

					<b>ВКР 03.32.00.000. ПЗ</b>	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись			35

- концентрация транспортных потоков на небольшом числе магистральных улиц с высокой пропускной способностью, проходящих по возможности вне жилой застройки (по границам промышленных и коммунально-складских зон, в полосах отвода железных дорог);
- создание системы парковки автомобилей на границе жилых районов и групп жилых домов.

Целесообразно объединить здания торговых и общественных центров и сервисных учреждений в единые протяженные комплексы и расположить их вдоль транспортных артерий, превратив их в эффективные шумозащитные экраны и сделав их удобными для прохода, когда население перемещается на работу и с работы (рис.2.3.1).



Рисунок 2.3.1 – Схема распространения уличного шума

Территории жилых районов не должны пересекаться с автомагистралями и дорогами грузового транспорта. При соответствующем обосновании разрешается размещать скоростные дороги в канавках, туннелях и пандусах, если они оснащены новейшими звукоизолирующими экранами или глухими ограждениями.

В случаях, когда необходимо защитить жилое пространство от воздействия уличного шума, применяются меры по снижению акустического

шума. К ним относятся: специальные шумозащитные здания, зеленые насаждения, экраны, стены, звуконепроницаемые окна и перепланировка помещений внутри здания.

Графики наличия превышения эквивалентных уровней звука в обследованных жилых районах до и после проведения мероприятий по защите от шума представлены на рисунке 2.3.2, а графики присутствия превышения максимальных уровней звука показаны на рисунке 2,3. 3. Общее количество протестированных ШЭ превышает 40 [6].

Как видно из графиков на рисунках 2.3.2 - 2.3.3, превышение эквивалентных уровней звука после установки ШЭ уменьшилось только на 12%, тогда как превышение более 10 дБА осталось в 19% случаев с начальными %. Снижение максимальных уровней звука ШЭ оказалось более эффективным, превышения были снижены на 25%.

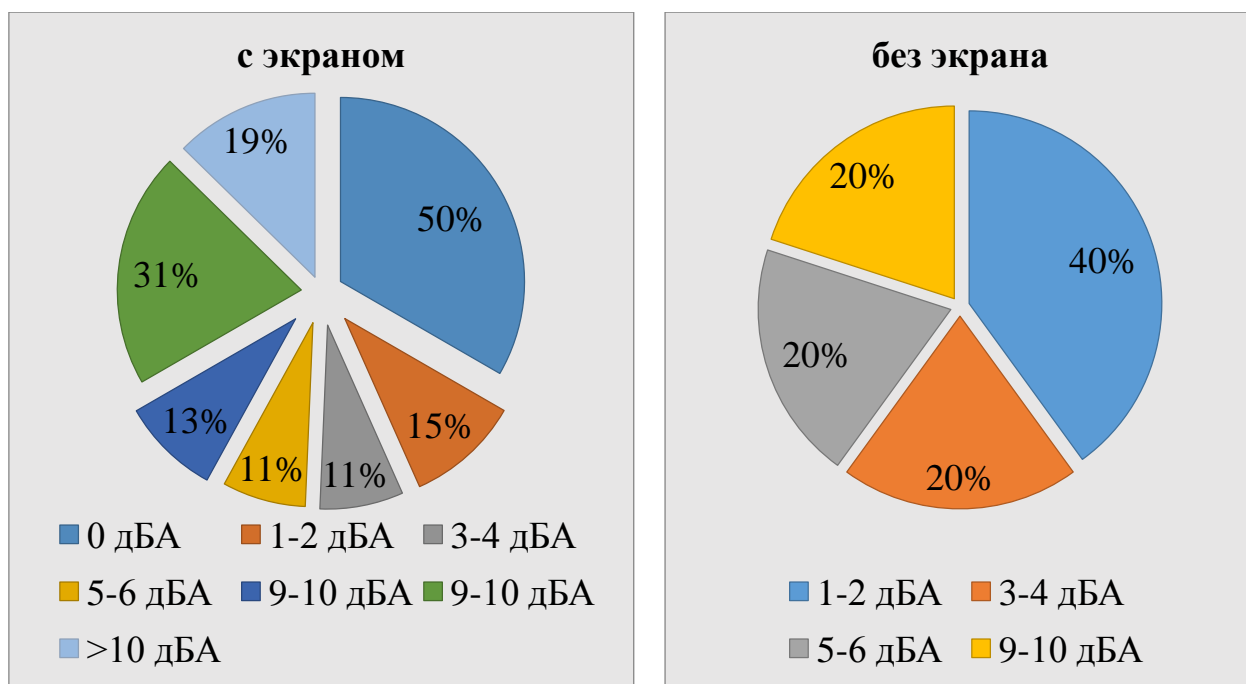


Рисунок 2.3.2 – Превышение эквивалентных уровней звука на селитебной территории до и после установки шумозащитных экранов

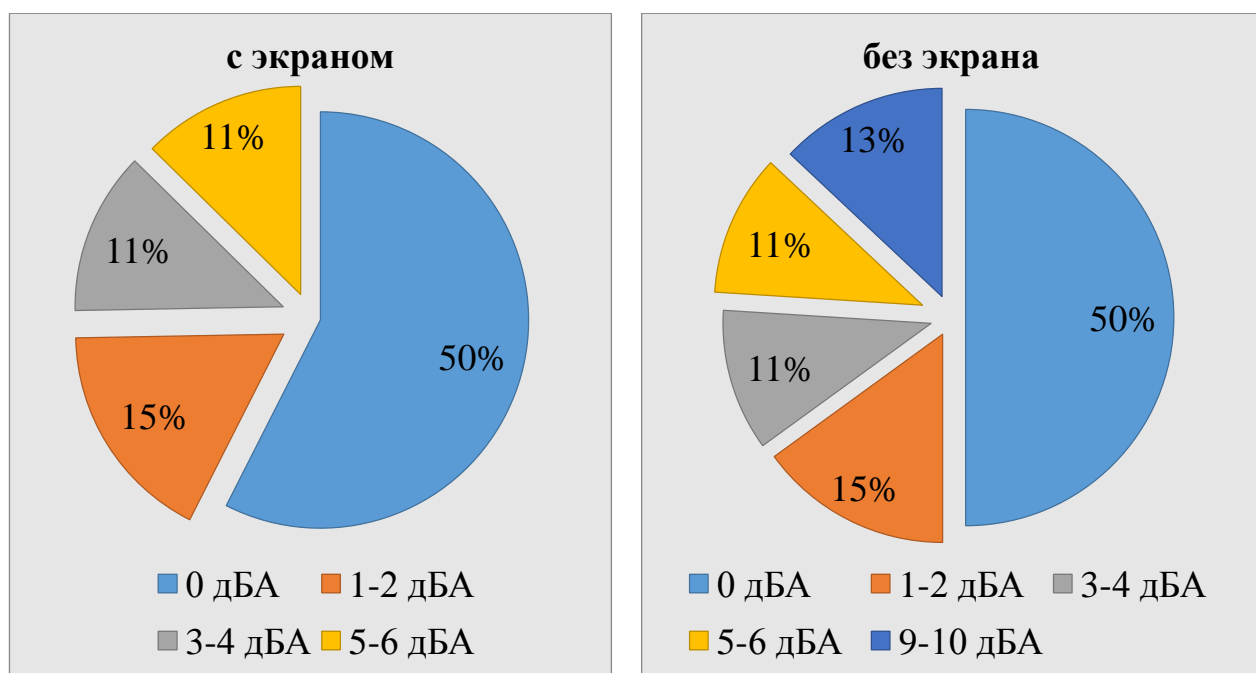


Рисунок 2.3.3 – Превышение максимальных уровней звука на селитебной территории до и после установки шумозащитных экранов

По результатам полевых исследований [6] был сделан вывод о том, что более 80% шумозащитных экранов не полностью выполняют свою функцию, и превышения при эквивалентных и максимальных уровнях шума от 1 до 14 дБА остаются в жилых районах. Вклад сторонних источников шума составляет до 8 дБА. Причинами такой ситуации являются, как правило, неразумные технические решения и устаревшие технологии, используемые на практике.

Выполненные обследования [6] показали, что проблема проектирования, изготовления, установки и монтажа ШЭ требует своего решения.

## 2.4 Анализ акустической долговечности шумозащитных экранов

Работа шумозащитных экранов базируется на нескольких основных принципах акустической защиты, такие как — отражение и поглощение звука. Однако, вопрос об акустической долговечности ШЭ, к сожалению, проработан в недостаточной степени. Таким образом, устанавливаемые шумозащитные

экраны редко выдерживают установленный производителем срок службы, а их эффективность снижается и теряется эстетический вид.

Акустическая долговечность – способность шумозащитного экрана сохранять установленные шумозащитные свойства на заданный гарантийный срок службы.

Согласно [6], при осмотре ШЭ в общем количестве 40 штук, которые установлены вдоль дорог в Российской Федерации, 80% были ШЭ из оцинкованной стали (рисунок 2.4.1).

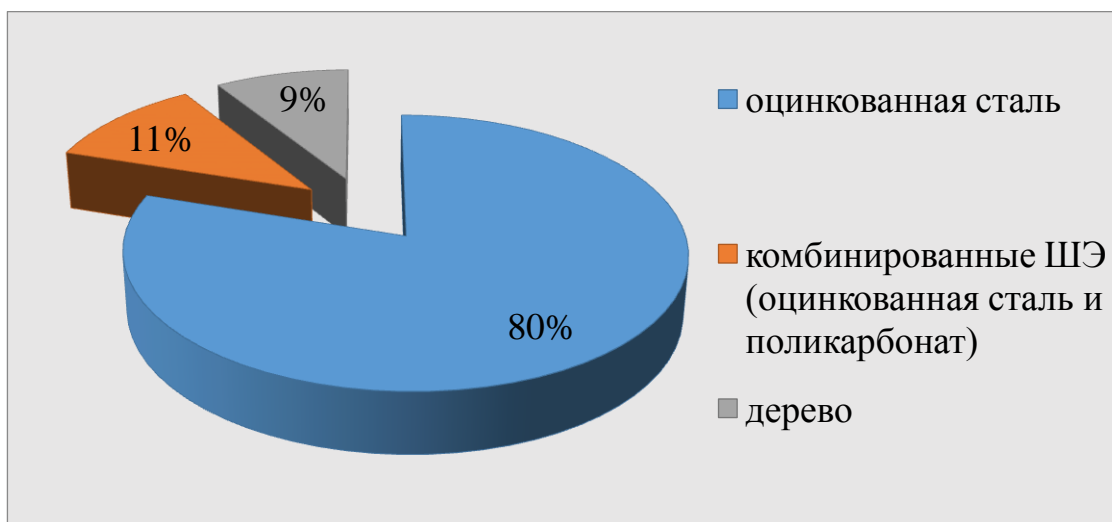


Рис.2.4.1 – Материалы применяемы для ШЭ, на обследуемых дорогах

После анализа было обнаружено, что из 40 исследованных звукоизолированных экранов 21 из этих ячеек уже потерял свои первоначальные свойства, и их эффективность значительно снизилась. Таким образом, только 47% ШЭ были в хорошем состоянии, большинство из которых моложе 5 лет. Диаграмма состояния исследуемых шумозащитных экранов представлена на рисунке 2.4.2.

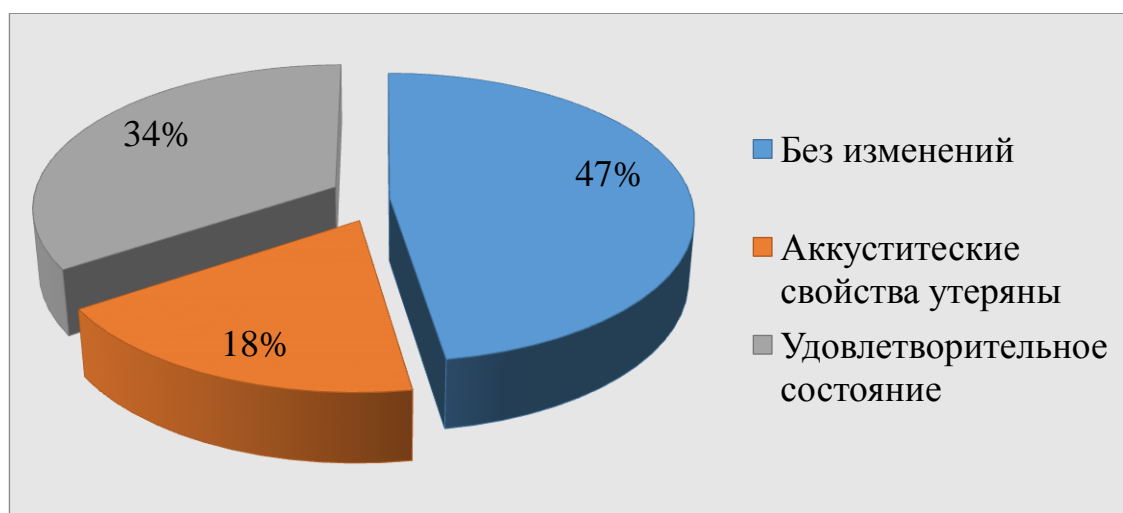


Рис.2.4.2 – Состояние исследованных ШЭ (возраст не более 5 лет)

Самыми распространёнными причинами неудовлетворительного состояния шумозащитных экранов являлись:

- высокий уровень коррозии металла;
- выпадения панелей;
- нарушение целостности конструкций;
- разрушение фундамента.

В России большинство экранов (до 80%), используемых на железных и автомобильных дорогах, изготовлены из стали, обработанной слоем цинка, срок службы которого на автомобильных дорогах не превышает 7–8 лет, что приводит к неоправданно высоким затратам на замену их. Необходимо внедрять новые технологии, которые обеспечивают высочайшую акустическую долговечность ШЭ. Согласно исследованию, уже на 3-м году эксплуатации 7 из 10 шумозащитных экранов теряют свои первоначальные акустические свойства, состояние 50% ШЭ можно оценить как удовлетворительное, 20% - как неудовлетворительное. Начиная с 8-го года эксплуатации состояние 50% шумозащитных экранов характеризуется как удовлетворительное, а 50% - как неудовлетворительное.



Исследование установленных на автомобильных дорогах Российской Федерации деревянных ШЭ, наоборот, показывает их высокое качество при сроках эксплуатации до 10 лет.

Важно понимать, какие ЭС следует выбирать для использования, чтобы быть уверенным, что экраны выполняют не только свои акустические функции, но и отвечают проектным требованиям, а также сохраняют свои акустические характеристики в течение достаточно длительного срока службы при минимально возможном техническом обслуживании. ,

Чтобы сохранить акустические характеристики шумозащитных экранов и их основные свойства, необходимо проводить регулярный контроль качества.

К факторам, оказывающим влияние на акустическую долговечность шумозащитных экранов, 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.

Необходимо контролировать акустические характеристики в течение всего срока службы ШЭ, поскольку это имеет ключевое значение для обеспечения соответствия продукции установленным требованиям.

Как правило, доступных производителям акустических данных недостаточно, чтобы надежно определить взаимосвязь между сроком службы экрана и акустическими характеристиками с учетом временных факторов.

Необходимо ежегодно проводить визуальную оценку шумозащитных экранов на соответствие установленным требованиям. Если такие проверки выявляют дефекты или повреждения шумозащитного экрана, которые могут отрицательно повлиять на его функциональные свойства, то в дополнение к проверкам могут потребоваться акустические измерения.

					<b>ВКР 03.32.00.000. ПЗ</b>	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись			41

Средняя акустическая эффективность шумозащитных экранов на автодорогах составляет 5–12 дБА, на железных дорогах 8– 14 дБА. Более 80% обследованных шумозащитных экранов не выполняют свои функции, отмечено превышение значений эквивалентного уровня звука у защищаемых экранами от шума зданий от 1 до 14 дБА. Причинами недостаточной эффективности шумозащитных экранов являются:

- ошибки при проектировании (в 38% случаев неправильно выбрана высота экрана, а в 85% случаев – длина);

- неправильно выбирается шаг стоек и размеры других элементов, что обусловлено недостатками существующей НТД, недостаточной изученностью акустических процессов и акустических свойств экранов (исследованиями доказано, что в 68% звукоизоляция экранов не превышает 15–18 дБА, что почти вдвое меньше заявляемых изготовителями значений, а коэффициент звукопоглощения не превышает 38 на отдельных частотах 0,5–0,7 при заявленных изготовителями значениях равных 1);

- применение устаревших малоэффективных технологий, не обеспечивающих акустическую долговечность экранов (90% ШЭ для автодорог изготавливаются из оцинкованной стали, что ведёт к их разрушению через 5–7 лет вместо предписанного срока службы более 15 лет).

Для увеличения акустической долговечности нужно менять подход в изготовлении экранов, а именно разрабатывать и внедрять новые технические и технологические решения для проектирования, производства и эксплуатации транспортных и технологических шумозащитных экранов, а также производить мониторинг уже установленных систем шумоизоляции дорожной инфраструктуры.

## 2.5 Эксплуатация шумозащитных экранов

Продолжительность срока службы шумозащитного экрана зависит от многих факторов, в том числе от типа материала экрана, структуры его поверхности, цвета, конструкции. Климатические факторы и расположение экранов относительно дороги также влияют на их долговечность. Многие из этих вопросов обсуждались выше, но есть ряд моментов, которые требуют дополнительного освещения.

Шумозащитные экраны, поврежденные в определенных зонах в результате ошибок проектирования; дефекты, которые появляются значительно позже после установки экрана; автомобильные удары или другие металлические частицы, а также старение. Причины и срочность ремонта могут варьироваться в зависимости от серьезности и степени ущерба и политики управляющей организации. Оценка потребности в ремонте производится с учетом следующих факторов.

1. Безопасность. Достаточно серьезное повреждение, в результате которого целостность экрана была нарушена или его компоненты были установлены заново, но таким образом, что они создают препятствие и / или опасность для транспортных средств или пешеходов.

2. Долговечность. Повреждение достаточно серьезное, чтобы сократить срок службы некоторых или всех компонентов шумозащитного экрана.

3. Эффективность. Повреждения, которые значительно снижают акустическую эффективность шумозащитного экрана или в случае, если экран огражден.

4. Эстетика. Повреждения создают неприглядный вид.

Очень часто требуется замена элементов экрана. Если компоненты представляют собой стандартные изделия, такие как стальные каналы для опор, то их легко изготовить, а если они изготовлены на заказ для отдельного проекта, то замена будет очень трудной.

					<b>ВКР 03.32.00.000. ПЗ</b>	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись			43

Чтобы решить эту проблему, некоторые агентства обязали подрядчика (изготовителя) поставлять дополнительные компоненты организациям, ответственным за обслуживание экранов. Как правило, дополнительно требуется 10% заменяемых частей. Недостаток такой практики заключается в том, что в ответственной за обслуживание организации после нескольких лет эксплуатации шумозащитных экранов скапливается большое количество запасных деталей, которые, возможно, никогда не будут использованы.

Все материалы шумозащитного экрана через какое-то время изнашиваются. Скорость и степень износа зависят от типа материала, близости расположения от проезжей части, стойкости к противогололедным реагентам, климата и ряда других факторов. Типичные повреждения, связанные с износом материала экрана, следующие:

- Коррозия металла, обычно вызываемая чрезмерной влажностью и применением в зимний период противогололедных реагентов, медленно разрушает металл или проникает через защитное покрытие. При текущем ремонте можно удалить ржавчину и перекрасить конструкцию краской с повышенным содержанием цинка. В случае конденсирования влаги на деталях экрана необходимо внести изменения в проект для устранения этого явления. Если оставить все без изменений, металлические компоненты экрана будут продолжать ржаветь до полного их разрушения и тогда потребуются их замена.

- В некоторых случаях и в определенных климатических условиях поверхность экранов не может полностью высохнуть, или это займет длительный период времени, в течение которого должна стоять сухая погода. На таких участках уже на стадии проектирования должны применяться такие конструкции и материалы экрана, как и обработка его поверхности, что может минимизировать такие состояния и быть способным к регулярной очистке.

- Ухудшение свойств от ультрафиолетового воздействия солнечных лучей. Чаще всего происходит неравномерное изменение цвета шумозащитного

					<b>ВКР 03.32.00.000. ПЗ</b>	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись			44

экрана. Учет воздействия ультрафиолета особенно важен для прозрачных экранов.

- Потеря цвета и цвета покрытия обычно происходит в результате пескоструйной обработки или воздействия грязи и твердых частиц, вызванных воздушными потоками от быстро движущихся транспортных средств. Повреждение краски или покрытия - эстетическая проблема. Если такое покрытие или цвет защищает материал, то это относится к проблеме долговечности материала экрана. При текущем ремонте необходимо удалить поврежденный материал с поверхности экрана и перекрасить его.

- Изменение размеров чаще всего происходит в деревянных шумозащитных экранах, но иногда - в металлических и железобетонных панелях.

Основной причиной этого для древесины считается чрезмерная влажность и неправильная обработка. В результате на щите появляются трещины. Если ширина раскрытия трещины мала, ремонт может быть осуществлен шпаклевкой. В случае значительных дефектов, детали должны быть заменены.

					<b>ВКР 03.32.00.000. ПЗ</b>	<i>Лист</i>
						45
<i>Изм.</i>	<i>Лист</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Подпись</i>			

# ГЛАВА 3. ИНФОРМАЦИОННО-АНАЛИТИЧЕСКИЙ ОБЗОР ИСПОЛЬЗУЕМЫХ КОНСТРУКЦИЙ И МАТЕРИАЛОВ ШУМОЗАЩИТНЫХ ЭКРАНОВ

## 3.1 Классификация шумозащитных экранов

В зависимости от светопрозрачности АЭ можно разделить на несколько видов: полностью прозрачные, с прозрачными вставками, тонированные и светонепроницаемые.

Главным критерием, согласно которому классифицируют шумозащитные экраны, является принцип действия, то есть они подразделяются на:

1. Шумоотражающие экраны. Они возвращают звуковую волну в обратном направлении, тем самым усиливая шумовую нагрузку в самом источнике. По этой причине такие сооружения нельзя использовать для шумовой изоляции автострад, железных дорог, метро, так как они могут создавать невыносимые условия для пассажиров. Такие экраны применяются, в основном, для защиты жилых домов от окружающего шума. Обычно они одновременно выполняют функцию пожарной защиты и включают в себя огнестойкие панели.
2. Шумопоглощающие экраны. Они состоят из перфорированных панелей, внутри которых помещается звукопоглощающий материал. Звуковые волны проникают в экран через перфорационные отверстия и поглощаются внутри экрана. Для максимального поглощения звуковых волн высота таких экранов должна быть не менее 3 метров. Шумопоглощающие панели значительно дешевле, чем отражающие. Позволяют снижать шум от проезжающего по дороге транспорта на 20-30 децибел. Изготавливаются такие экраны из комбинированных панелей, оболочка которых металлическая, а наполнитель — минеральная или базальтовая вата. Звукопоглощающие экраны работают по принципу улавливания, рассеивания и гашения звуковых волн. То есть шум, попадая на панель,

					ВКР 03.32.00.000. ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись			46

поглощается ею, тем самым снижается шумовой фон за пределами ограждения.

3. На автомобильных дорогах чаще всего использует комбинированные (отражающе-поглощающие) экраны. В этом случае в верхней части основной шумопоглощающей конструкции добавляются прозрачные шумоотражающие панели. Однако расчеты и натурные измерения показывают, что замена шумопоглощающих панелей на прозрачные звукоотражающие панели при прочих равных условиях снижает эффективность экрана на 1–2 дБА.

Комбинированные экраны с прозрачными вставками, они позволяют улучшить освещенность трассы, а также уменьшают усталость, так как однотонность трассы негативно сказывается на реакции водителей, более того, водитель может уснуть за рулем или не ощущать реальной скорости движения.

По высоте ШЭ делятся на:

- экраны малой высоты – до 2 м;
- экраны средней высоты 2 – 6 м;
- высокие экраны – высотой более 6 м.

В зависимости от характера застройки защищаемой территории подразделяются на:

- экраны, защищающие территории свободные от близко расположенной застройки (отношение расстояния до застройки  $l$  к высоте сооружения  $h$  более 20);
- экраны на участках односторонней жилой застройки;
- экраны в случае двухсторонней жилой застройки.

					<b>ВКР 03.32.00.000. ПЗ</b>	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись			47

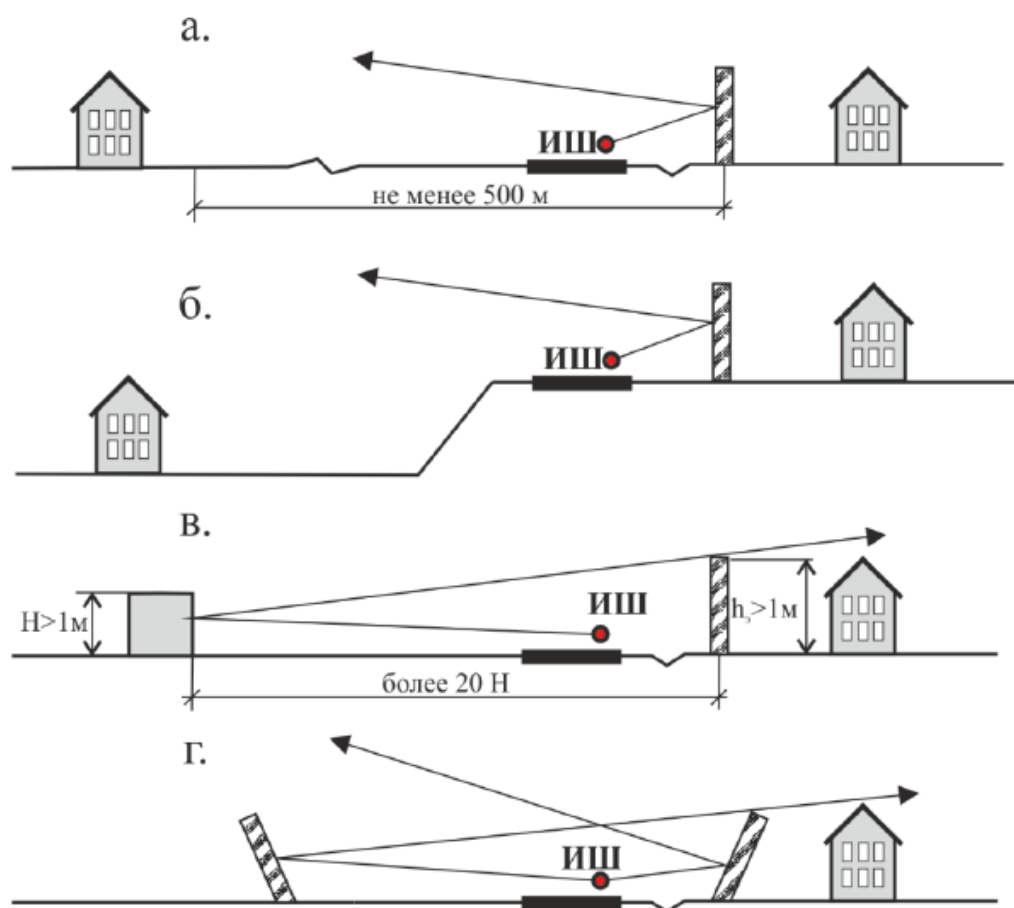


Рисунок 3.1.1 - Схемы применения шумоотражающих экранов на автомобильных дорогах

### 3.2 Влияние надстройки на свободном ребре

Свободное ребро – «слабое» место шумозащитного экрана, поэтому логичны попытки затруднить, снизить дифракцию звука на свободном ребре. Надстройки на ребре разнообразны как по конструктивному исполнению, так и по принципу действия. Авторами работы [8] предложена классификация надстроек (таблица 3.2.1).

Тип конструкции верхней части экрана можно разделить на:

- вертикальный экран (традиционное решение) (рис 3.1.2 а);
- «Г» - образная верхняя часть экрана (рис 3.1.1);

Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	





Рис. 3.2.1 – Шумозащитный экран с Г-образной надстройкой

- «Т» - образная верхняя часть экрана (рис 3.2.2 б);
- «У» - образная верхняя часть экрана (рис 3.2.2 в);
- стрелообразная верхняя часть экрана (рис 3.2.2 г);
- цилиндрическая верхняя часть экрана (рис 3.2.2 д);
- эллипсообразная верхняя часть экрана (рис 3.2.2 е);
- криволинейный экран (рис 3.2.2 ж);
- пилообразная верхняя часть экрана (рис 3.2.2 з).
- с антидифрактором (рис. 3.2.3, рис. 3.2.4)

Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	

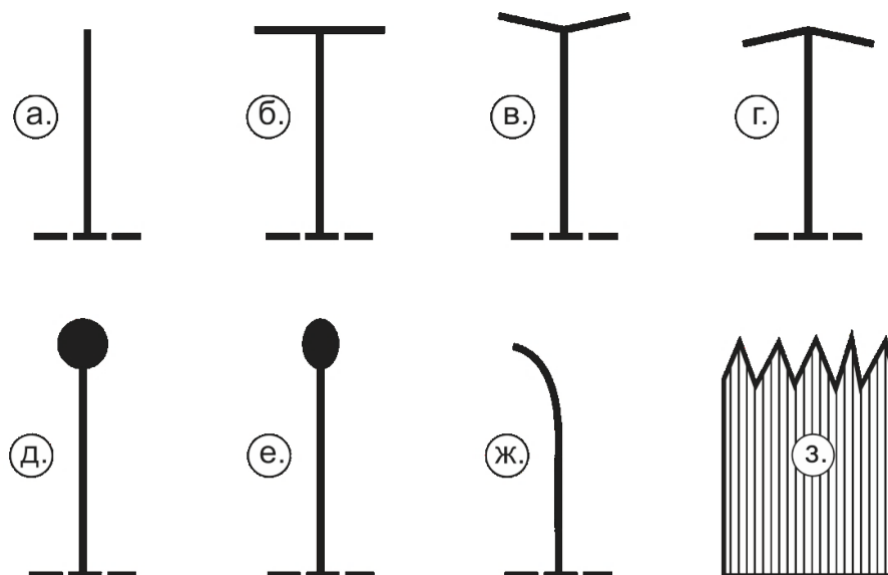


Рисунок 3.2.2 – Схемы устройства верхней части шумозащитных экранов

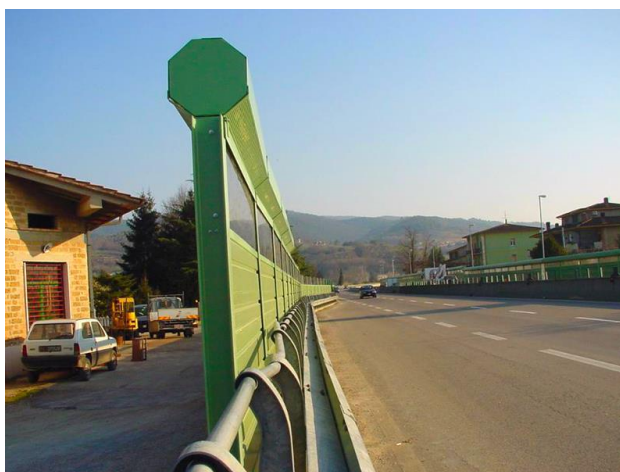


Рис. 3.2.3 – Шумозащитный экран с антидиффрактором

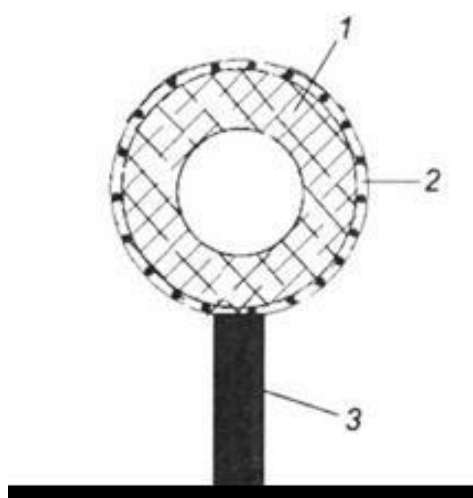


Рис.3.2.4 – Схема антидиффрактора

1 – звукопоглощающий материал; 2 – перфорация; 3 – ШЭ

Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	

Классификация надстроек

Основные принципы действия	Конструктивные схемы	Примечание
<p>Увеличение угла дифракции</p>	 <p>Г-образные Y-образные стреловидные X-образные с многократным краем П-образные Т-образные</p>	<p>за счет различного расположения полок 1 в разном сочетании</p>
<p>Увеличение акустического сопротивления свободного ребра (Звукопоглощением) Изменением профиля свободного</p>	 <p>а) неправильный (случайный) б) правильный</p>	<p>расположение устройств с ЗПМ на свободном ребре или с использованием сложного профиля (случайного или правильного) на свободном ребре</p>
<p>Использование интерференции в резонаторах</p>	 <p><math>\lambda/4</math> волновой резонатор</p>	<p>Резонаторы Гельмгольца и др. для шумопоглощения и шуморассеивания</p>
<p>Комбинированный</p>	 <p>водяное колесо гриб Т-образный с ЗПМ</p>	<p>используются устройства, которые обеспечивают: звукопоглощение, увеличение угла дифракции, резонансное поглощение</p>

Все надстройки могут быть сведены к четырем типам по принципу действия:

- увеличивающие угол дифракции (Г-, Х-, У-, Т-образные и др.) путем применения полок различного сочетания и расположения в пространстве;
- увеличение препятствования свободного ребра (ухудшающие прохождение дифрагированного звука) путем применения звукопоглощающих устройств и изменением профиля свободного ребра;
- использующие интерференцию звука в резонансных устройствах различных типов;
- комбинированные устройства, в которых сочетается два и более из приведенных выше принципов (увеличение угла дифракции, звукопоглощение на ребре, резонансное устройство) [9].

Примеры дополнительной эффективности за счёт различных надстроек на свободном ребре приведены в таблице 3.2.2.

Таблица 3.2.2

Эффективность экрана за счет различных надстроек на свободном ребре

Название	Дополнительная эффективность, дБА
Г–образный	1,5-2,5
Стреловидный	0-0,5
Т–образный	3-5,5
У–образный	4-5
Х–образный	4,5-5,5
П–образный	3,5-4,5
Ломанный	1-2

### 3.2 Материалы для устройства шумозащитных экранов и обработки поверхности

Материалы, применяемые для изготовления акустических панелей [2]:

- бетон
- кирпич
- металл
- дерево
- композитные материалы
- светопрозрачные и другие материалы.

**Бетон.** Бетон, пожалуй, самый распространенный строительный материал. Изготовленные из него экраны (могут быть как сборные, так и монолитные) при правильном изготовлении и соответствующей поддержке долговечны, способны выдерживать высокие и низкие температуры, солнечный свет, влажность и соли. Чтобы придать бетонным изделиям эстетический вид, можно покрасить их поверхность или заранее ввести пигменты в бетонную смесь перед формованием. Кроме того, бетон пригоден для использования практически во всех типах монтажа, его стены гибкие в устройстве и очень долговечны, устойчивы к разрушению в случае удара транспортного средства.



Рис. 3.2.1 Разновидности бетонных шумозащитных экранов

### Кирпичная, каменная и блочная кладка.

Кирпич сделан из смеси глины и песка, которую формуют и помещают в печь для сушки и обжига с целью повышения прочности и долговечности кирпича. Кирпич может быть разных размеров, но чаще всего он имеет размеры  $70 \times 95 \times 200$  мм.

Кирпичные блоки выполнены из вибропрессованного бетона. Эти блоки также могут быть любого размера, но чаще всего их изготавливают толщиной от 200 до 300 мм, высотой от 200 до 250 мм и длиной от 355 до 460 мм.

Кирпичные и блочные стены (рис. 3.2.2) укладываются вручную или в виде предварительно собранных панелей. В некоторых случаях кирпич используется в качестве вставки на кирпичную кладку или монолитные стены.

Все кирпичные и блочные стены возводятся на фундаменте из сплошной бетонной полосы. Стена должна быть закреплена с помощью арматуры. Вертикальные и горизонтальные арматурные стержни непосредственно в стене также необходимы для обеспечения прочности конструкции. Предварительно собранные панели обычно имеют соответствующие выпуски арматуры и закладных деталей.

Бетонные блоки менее подходят для северных регионов, где они подвергаются частым антиобледенительным агентам.

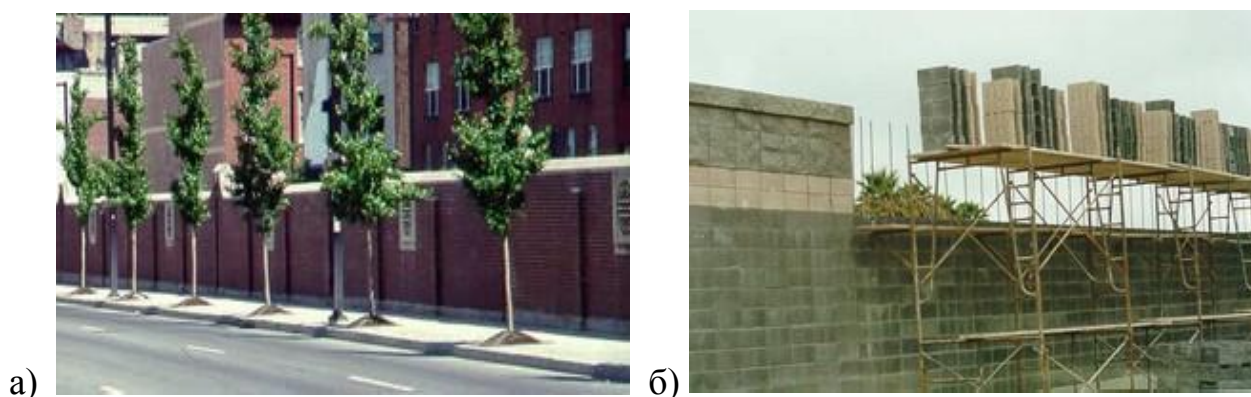


Рис. 3.2.2 Шумозащитный экран: а – кирпичный; б – блочный

**Металл.** Чаще всего используются сталь (включая нержавеющую) и алюминий. Сталь является относительно недорогим и популярным металлом в строительстве, представляющим собой сплав железа с углеродом и другими элементами, нержавеющая сталь - это сталь с включением большого количества химических элементов, так что сплав может эффективно противостоять коррозии. Алюминиевые конструкции легки и долговечны, надежны в эксплуатации.

Металлические панели по сравнению с бетонными имеют преимущество по массе на 1 м<sup>2</sup>, что делает их особенно полезными для вертикального размещения шумозащитных элементов, монтажа на существующих подпорных стенах или мостовых конструкциях. Металлические изделия можно использовать в любой местности, а нержавеющая сталь послужит залогом того, что средства защиты от шума не нарушат ржавчину. Стоит также упомянуть, что металл может давать блики - блики фар или солнца; нарушать гармоничный вид ландшафта, придавая ему грубый индустриальный стиль; Из-за того, что металлические панели шумозащитного экрана часто имеют небольшую ширину, они не выдерживают воздействия внешних сил.

Большинство металлических защитных покрытий не соответствуют минимальным требованиям звукоизоляции. Однако, добавив гофрированные элементы или ребра к профилю материала панелей, можно улучшить их акустические свойства.

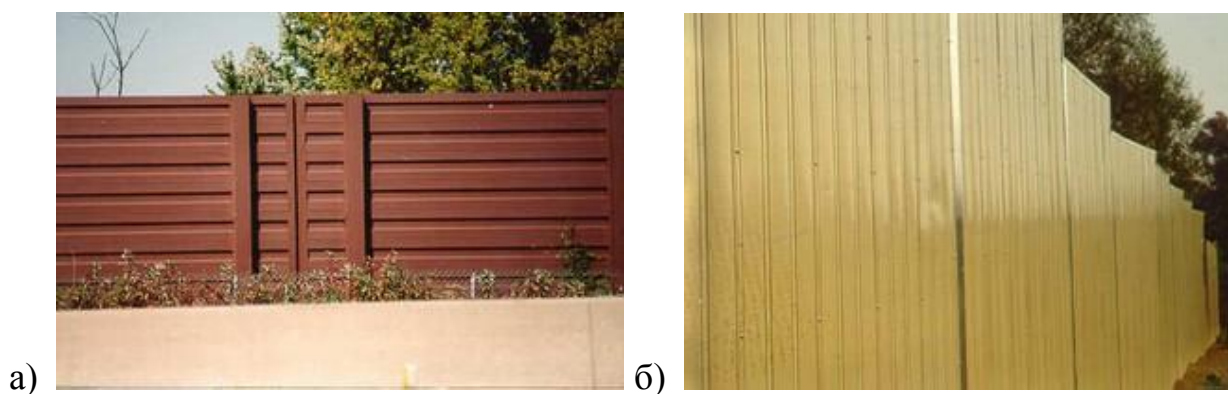


Рис. 3.2.3 Шумозащитный экран: а – стальной; б – алюминиевый

**Дерево.** Как правило, такие материалы, как дерево и фанера, участвуют в производстве шумозащитных экранов. В зависимости от свойств породы, некоторые виды древесины могут по-разному подходить для пропитки защитными веществами, в результате чего не каждый тип может быть эффективным в качестве материала. Панели отлично вписываются в сельский пейзаж. Но отсутствие огнестойкости и склонность к деформации, появление трещин (чем толще конструкция, тем выше вероятность того, что она изменит свою форму).



Рис. 3.2.4 Шумозащитный экран из импрегнированной древесины

**Прозрачные материалы.** При строительстве прозрачных экранов используются безопасное закаленное стекло, многослойные небьющиеся стекла и пластиковые материалы.

Естественно, прозрачные конструкции – то, что надо, чтобы свести к минимуму негативное визуальное восприятие подобных строений. Они не закрывают обзор водителям транспортных средств, не мешают местным жителям или работникам, задача которых состоит в технической поддержке экрана. Существенными недостатками таких материалов, как стекло,

					<b>ВКР 03.32.00.000. ПЗ</b>	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись			56



пластмасса или прозрачный ячеистый поликарбонат является то, что они подвергаются нападкам вандалов.

Стекло обладает высокой способностью отражать фары автомобиля. Чтобы защитить водителей от фар встречных автомобилей, необходимо спроектировать достаточно высокое основание, сохранив при этом возможность хорошего обзора или предусмотреть наклон экрана.

Пластик, обладающий высокими акустическими свойствами, лучше обрабатывается, чем стекло, более технологичен, для крепления можно использовать болтовое соединение. Это практически неразрушимый материал, но он теряет прозрачность из-за царапин из-за ударов автомобилей, ударов камней, мытья сильно загрязненных поверхностей. Наиболее подходящим материалом для строительства прозрачных экранов являются поликарбонаты.[2].



Рис. 3.2.4 Прозрачный шумозащитный экран

**Композиты.** Композиты могут состоять из двух или более первичных материалов, таких как стекловолокнистая фанера или древесная стружка, смешанные с бетоном. Именно при смешивании компонентов свойства получаемого материала изменяются. Композиты, как правило, прочные, жесткие, износостойкие.

**Минеральная вата.** Минеральная вата - материал, который очень популярен среди производителей звукопоглощающих установок благодаря своей эффективности в поглощении звука. Существует два основных типа минеральной ваты: стеклянная и базальтовая (каменная).

Первый тип изготавливается из того же сырья, что и стекло, либо из отходов стекольной промышленности. Стекловолокно имеет толщину 3-15 микрон, поэтому изделия из него очень прочные и эластичные и выдерживают до 450SO. Стекловата используется для звукоизоляции, потому что она хорошо поглощает звук.

Каменная вата получается путем плавления габбро-базальтовых пород. Большим преимуществом этого материала является его устойчивость к возгоранию: волокна каменной ваты могут подвергаться воздействию температур до 1000 градусов по Цельсию без риска его таяния. Открытая пористость обеспечивает отличные звукопоглощающие свойства.

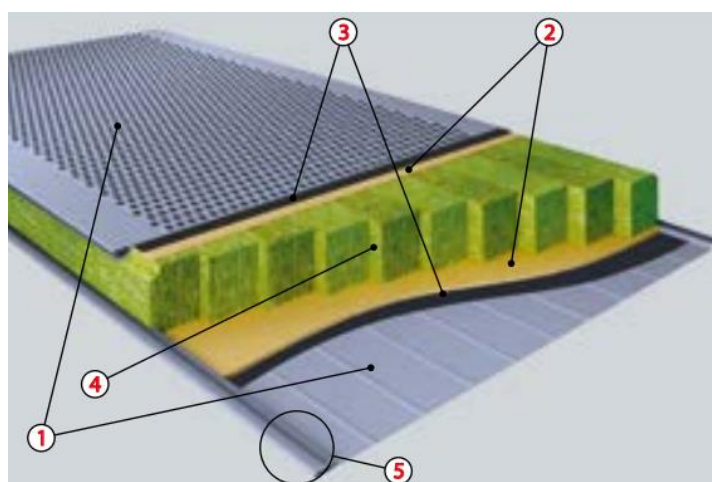


Рис. 3.2.5 Конструкция шумозащитного экрана с минеральной ватой:

- 1 – оцинкованная тонколистовая сталь с перфорацией и полимерным покрытием, 2 – двухкомпонентный синтетический клей, 3 – защитная мембрана, 4 – наполнитель шумоизолирующий, 5 – замковое соединение типа.

Акустические характеристики современных материалов шумозащитных экранов представлены в таблице 3.2.1 [2].

Характеристики современных материалов шумозащитных экранов

Табл. 3.2.1

Материал	Толщина (S), мм	Плотность, кг/м <sup>2</sup>	Шумопоглощение, дБА
Поликарбонат	8-12	10-14	30-33
Акрил	15	18	32
Облегченные цементобетонные блоки 200x200x400	200	151	34
Плотный цементобетон	100	224	40
Пористый цементобетон	150	244	39
Пористый цементобетон	100	161	36
Кирпич	150	288	40
Стальной лист	1,27	9,8	25
Стальной лист	0,95	7,3	22
Стальной лист	0,79	6,1	20
Стальной лист	0,64	4,9	18
Алюминиевый лист	1,59	4,4	23
Алюминиевый лист	3,18	8,8	25
Алюминиевый лист	6,35	17,1	27
Древесина	25	18	21
Фанера	13	8,3	20
Фанера	25	16,1	23
Абсорбирующие комбинированные панели (пленка полиэстера на металлическом листе)	50-125	20-30	30-47

Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	

ВКР 03.32.00.000. ПЗ

Лист

59

### 3.3 Конструкции и монтаж шумозащитных экранов

При подборе вида панелей, а также их конструкций необходимо принимать во внимание следующие факторы:

– Расстояние между опорами. Большой интервал между опорами экономически выгоднее, однако, при этом может возникнуть необходимость монтажа сборных панелей. Длинные узкие панели как правило меньше подвергаются деформациям. Такие деформации имеют значения для швов и стыков между панелями, а также связей между панелями и визуальным восприятием ШЭ.

– Требования к транспортировке. В связи с ограничениями, установленными на автомобильных дорогах к перевозимым грузам по высоте, крупногабаритные панели, монтируемые в вертикальном положении, необходимо перевозить в горизонтальном положении, а на месте - поднимать их, что приводит к появлению значительных боковых нагрузок.

– Ограничения по весу и габаритам. Некоторые сборные конструкции могут иметь ограничения по весу и размерам.

– Акустические особенности. При устройстве ШЭ с применением сборных панелей особый интерес следует уделять изоляции горизонтальных швов между панелями.

– Эстетические аспекты.

Шумозащитный экран – это объект среды, который несет не только утилитарные функции, но и является частью городской инфраструктуры, в которой общий облик имеет важное значение. По этой причине, например, строительство небоскреба Лахта центр было перенесено с Охты, где данная постройка нарушала бы общий вид Санкт-Петербурга (города с низкими постройками), так как находилась бы в пешем удалении от исторического центра. ШЭ – должны иметь приятный, внешний вид, так как большинство из них устанавливаются в жилых районах. Для многих людей вид из окна имеет крайне важную роль. Однако дизайн шумозащитного экрана не должен портить

					<b>ВКР 03.32.00.000. ПЗ</b>	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись			60

его шумоподавляющие свойства. Следовательно, необходимо найти баланс между эстетической и функциональной составляющими акустических экранов.

Сборные панели по своей конструкции формируют горизонтальные швы, при заделке которых следует учитывать не только технические нюансы, но и эстетику. Горизонтальные швы панелей могут улучшать эстетическое восприятие шумозащитного экрана.

– Характерные особенности установки (монтажа). Для монтажа бетонных панелей необходимо грузоподъемное оборудование, в особенности для панелей из тяжелого бетона. В некоторых случаях (к примеру, в случае если в экран должен быть «врезан» пешеходный переход или мост) могут возникнуть трудности при монтаже конструкций. С другой стороны, использование панелей крупных размеров требует меньшего количества их подъемов и монтажных операций и снижает количество швов и стыков.

– Удобство в эксплуатации. Следует принимать во внимание вероятность замены элемента экрана в случае его повреждения. В том числе и при незначительном повреждении крупногабаритной панели необходимо её замена, в то время как для более узких панелей затраты на замену станут существенно меньше. Заново устанавливаемый элемент по части материалу, расцветке, текстуре для крупногабаритных панелей должен быть подобен заменяемому, в то время как для узких панелей, возможно, некоторое разнообразие. Необходимо принимать во внимание, что при операциях демонтажирования/установки возможно дополнительное повреждение элементов.

– Связь панелей и опор. Для взаимосвязи панели с опорой имеется ряд разных методов. При подборе метода связи более значимы конструктивные и акустические соображения, в особенности при применении неоднородных материалов, таких как сталь, алюминий, пластик, стекло и др. Стык панели с опорой не должен усугублять акустические свойства экрана, по этой причине панели должны плотно прилегать к опоре по всей площади поверхности.

# ГЛАВА 4. РАСЧЕТ КОНСТРУКЦИЙ ШУМОЗАЩИТНЫХ ЭКРАНОВ ДЛЯ АВТОМОБИЛЬНЫХ ДОРОГ

## 4.1 Определение размеров шумозащитных экранов

### 4.1.1 Высота шумозащитных экранов

Акустическая эффективность экрана зависит от разности длин путей звукового луча  $\delta$ , определяемой в соответствии со схемой, представленной на рисунке 4.1.1.1 по формуле [2]:

$$\delta = a + b - c \quad (4.1)$$

где

$\delta$  - разности длин путей звукового луча, м;

$a$  - кратчайшее расстояние между акустическим центром источника шума и верхней кромкой экрана, м;

$b$  - кратчайшее расстояние от верхней кромки экрана до расчетной точки, м;

$c$  - кратчайшее расстояние от акустического центра источника шума до расчетной точки, м.

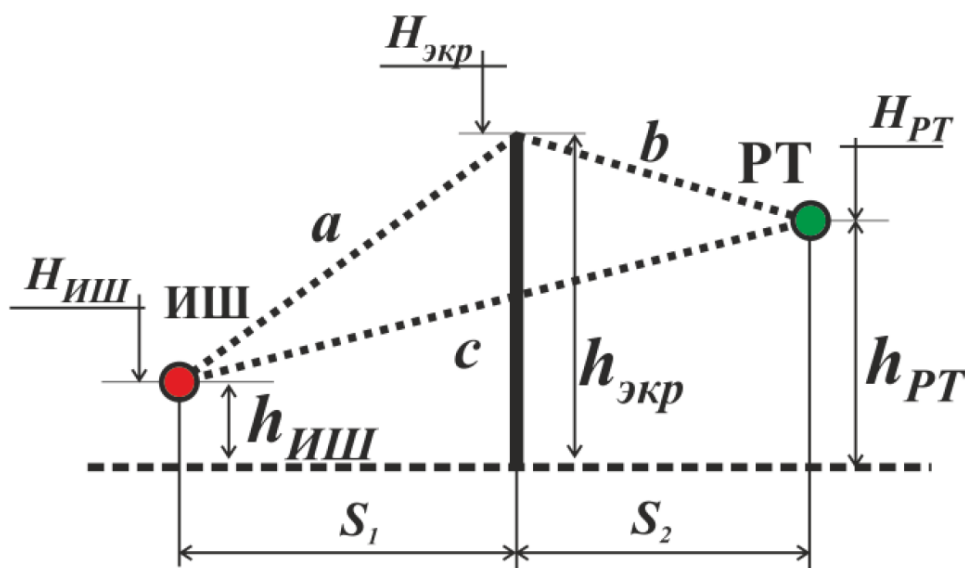


Рисунок 4.1.1.1 - Расчетная схема определения разницы пути ( $\delta$ ) для экрана

Изм.	Лист	№ докум.	Подпись

Расстояния  $a$ ,  $b$  и  $c$  определяются с точностью до сотых долей метра по формулам [2]:

$$a = \sqrt{S_1^2 + (h_{\text{экр}} + h_{\text{ИШ}})^2} \quad (4.2)$$

$$b = \sqrt{S_2^2 + (h_{\text{экр}} - h_{\text{РТ}})^2} \quad (4.3)$$

$$c = \sqrt{(S_1^2 + S_2^2) + (h_{\text{ИШ}} + h_{\text{РТ}})^2} \quad (4.4)$$

где

$h_{\text{ИШ}}$  - высота источника шума над уровнем проезжей части, м;

$h_{\text{экр}}$  - высота экрана, м;

$h_{\text{РТ}}$  - высота расчетной точки над уровнем земли, м.

$S_1$  - расстояние от источника шума до экрана, м;

$S_2$  - расстояние от экрана до расчетной точки, м.

При выполнении расчетов положение акустического центра источника шума назначается на высоте 1,00 м над уровнем проезжей части на оси проезжей части для двухполосных дорог или на оси наиболее удаленной от расчетной точки полосе движения в случае многополосных дорог.

Шумопонижение экрана в зависимости от разницы путей прохождения звука  $\delta$  определяется графически, по номограмме на рисунке 4.1.1.2., или по формуле:

$$\Delta L_{\text{экр}} = 18,2 + 7,81g(\delta + 0,2) \quad (4.5)$$

где

$\Delta L_{\text{экр}}$  - шумопонижение экрана, дБА;

$\delta$  - разница между геометрическим расстоянием источник шума - расчетная точка и кратчайшим расстоянием между источником шума и расчетной точкой, м;

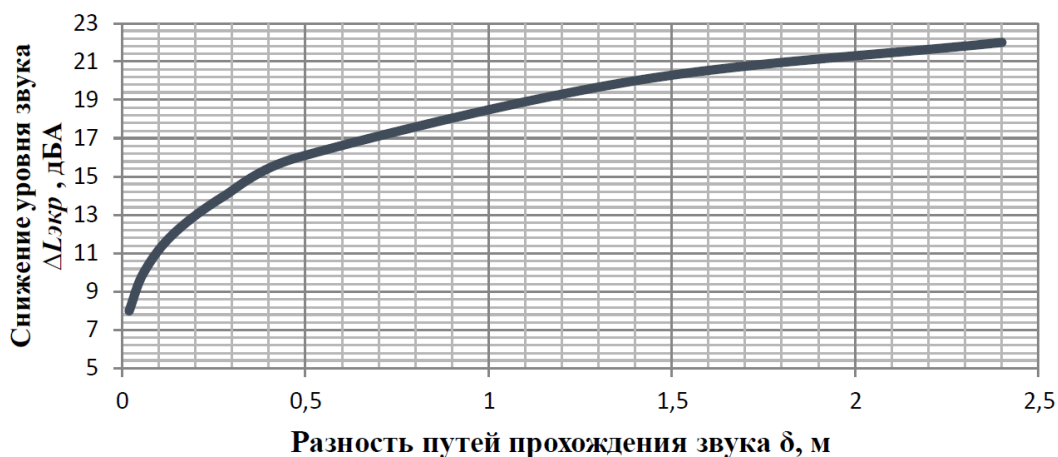


Рисунок 4.1.1.2 - Шумопонижение экрана в зависимости от разницы путей прохождения звука( $\delta$ )

#### 4.1.2 Длина шумозащитных экранов

Длина шумозащитного экрана должна обеспечивать снижение эквивалентных уровней звука до расчетных значений. Это зависит от расстояния оси ближайшей полосы до здания, а также от прогнозируемого снижения эквивалентного уровня звука.

Минимальная длина шумозащитного экрана за пределами жилой застройки должна составлять не менее 100 - 150 м и составлять не менее 4-х расстояний от проезжей части до расчетной точки (рисунок 4.1.2.1) [9].

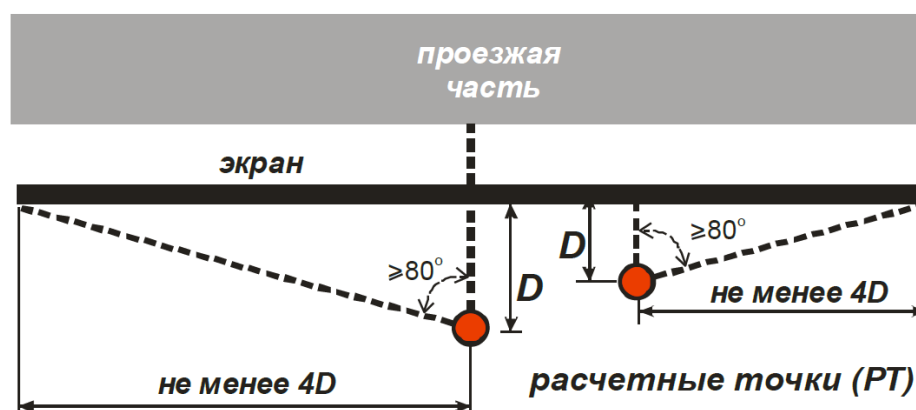


Рисунок 4.1.2.1-Минимальная длина шумозащитного экрана за пределами жилой застройки экрана

Изм.	Лист	№ докум.	Подпись
------	------	----------	---------



Значение минимальной длины отгона шумозащитного сооружения ( $l_{отг}$ ) определяется по номограмме приведенной на рисунке 4.1.2.2 в зависимости от расстояния ближайшей полосы движения до застройки

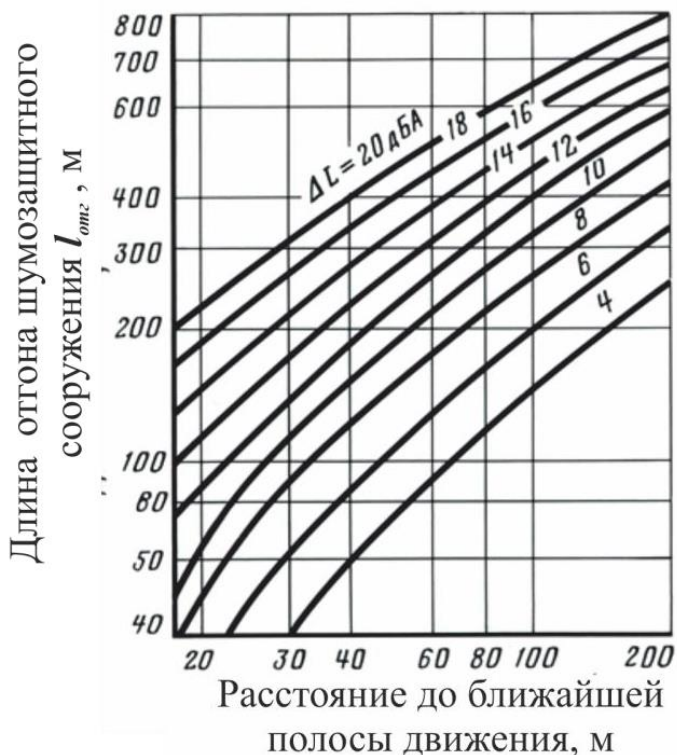


Рисунок 4.1.2.2 - Зависимость минимальной длины отгона шумозащитного сооружения  $l_{отг}$  от расстояния ближайшей полосы движения до застройки

Длина шумозащитного может быть уменьшена, если его концы отогнуты в плане в сторону от источника шума (рисунок 4.1.2.3).

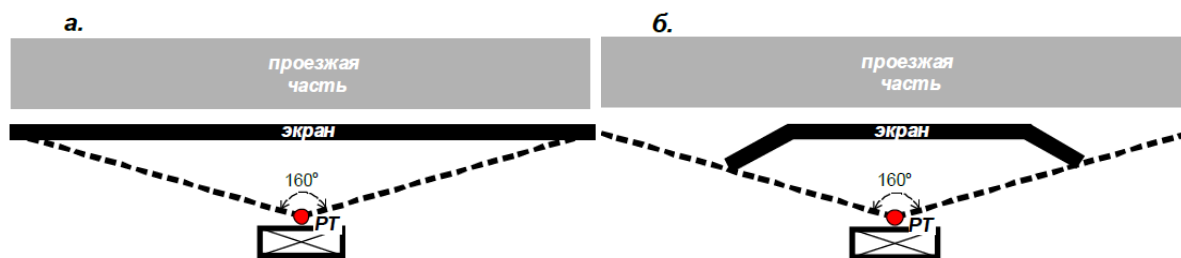


Рисунок 4.1.2.3 – Схема уменьшения общей длины экрана

Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	

## 4.2 Алгоритм выбора шумозащитных конструкций

Алгоритм решения:

1. Сбор исходных данных (категория дороги, количество полос движения, рельеф местности, ширина дороги, ширина полосы отвода и др.).
2. Оценка наличия пассивных шумозащитных мероприятий и первичный акустический расчёт с учётом их размещения без применения активных мер шумозащиты.
3. Определение по таблице 2 перечня необходимых и возможных активных шумозащитных мероприятий (в отдельности или в комплексе), обеспечивающих требуемую эффективность.
4. Проверка возможности реализации подходящих шумозащитных конструкций (раздел 7 ОДМ [2]).
5. Окончательный выбор шумозащитных конструкций по шкале оптимальности, приведённой в таблице 4 [2]. Выбор конструкции с наибольшим количеством баллов.

### **Пример**

*Исходные данные:* По результатам акустических расчётов, выполняемых по нормативной документации, в т.ч. по ОДМ 218.2.013-2011[2], с учётом пассивных мероприятий в расчётной точке получено превышение на 12 дБА. Категория автомобильной дороги – II, количество полос движения – 2 шт., дорога проходит на насыпи высотой до 2 метров, средняя ширина полосы отвода в районе шумозащитных мероприятий – 50 м, ширина дороги – 15 м.

*Решение:* Согласно исходным данным требуемая эффективность шумозащитных мероприятий составляет 12 дБА. Согласно таблице 2 ОДМ [2] такую эффективность могут обеспечить два мероприятия – устройство земляного вала и строительство шумозащитного экрана. В соответствии с

					<b>ВКР 03.32.00.000. ПЗ</b>	<i>Лист</i>
<i>Изм.</i>	<i>Лист</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Подпись</i>			66

исходными данными мы имеем достаточные размеры полосы отвода для устройства обеих конструкций (пространство между дорогой и границами полосы отвода с одной стороны равно  $b=(50-15)/2=17,5$  метров, что согласно рисунку 10 настоящего ОДМ позволит выполнить вал высотой более 6 метров). В соответствии с таблицей 4 [2] определяется оптимальная конструкция. Так, согласно таблице 4 устройство земляного вала соответствует 47 баллам по шкале оптимальности, строительство шумозащитного экрана – 55 баллам. Наибольшее количество баллов по шкале оптимальности у шумозащитного экрана, значит, предпочтение отдается данной шумозащитной конструкции.

*Вывод:* в качестве конструкции активных мероприятий рекомендуется выбирать шумозащитный экран, акустическими расчётами в разделе МООС с учётом указаний п.8 ОДМ [2] выбирается место его установки относительно источника шума, габаритные размеры – длина и высота. Детальные чертежи конструкции рекомендуется разрабатывать в разделе ИЛЮ, данные передаются для разработки индивидуальных поперечных профилей автодороги в разделе ТКР.

					<b>ВКР 03.32.00.000. ПЗ</b>	<i>Лист</i>
						67
<i>Изм.</i>	<i>Лист</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Подпись</i>			

# ГЛАВА 5. РАЗРАБОТКА РЕКОМЕНДАЦИЙ ПО ПРИМЕНЕНИЮ ШУМОЗАЩИТНЫХ ЭКРАНОВ НА АВТОМОБИЛЬНЫХ ДОРОГАХ И ТЕХНОЛОГИИ УСТРОЙСТВА

## 5.1 Основные проблемы шумозащитных экранов

Основным требованием к шумозащитным экранам является поддержание достаточного уровня акустической прочности экранов в течение срока службы, чтобы обеспечить поддержание уровней шума на требуемом уровне. По этой причине важно, чтобы конструкции экранов были, насколько это возможно, готовы противодействовать влиянию факторов, которые имеют все шансы оказать негативное влияние на их акустические свойства. Потеря эксплуатационных свойств также может быть выражена в виде повреждения из-за механического напряжения, вандализма и т. д.

Чтобы гарантировать акустическую эффективность используемых материалов на весь заявляемый производителем период эксплуатации необходимо, чтобы используемые материалы были надежны в отношении условий, которые могут появляться в окружающей среде, к примеру, высокая влажность; соль, применяемая в зимний период с целью обслуживания дороги; невысокие температуры; дождь; ультрафиолетовый свет и т.д. Конструкции ШЭ обязаны быть защищенными и оставаться неповрежденными, т.е. не разрушаться под действием собственного веса либо из-за дополнительного веса, влажности либо пыли, полученных за период эксплуатации.

Однако деградация звукопоглощающих материалов может послужить причиной к некоторому повышению числа отраженного звука, значение которого находится в зависимости от степени деградации использованных материалов следующим образом:

- в тех случаях, если ШЭ установлен только на одной стороне дороги, возможно увеличение уровень шума на другой от ШЭ стороне дороги;

					<b>ВКР 03.32.00.000. ПЗ</b>	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись			68

- в тех случаях, если ШЭ установлены, к примеру, по обе стороны от автомобильной дороги, могут повыситься уровни шума из-за одним либо обоими ШЭ за счет уменьшения поглощения звука, отраженного между 2-мя экранами.

В обоих вариантах уровни шума за экранами могут повыситься из-за увеличенных эффектов отражения между экраном и высокими бортами машин.

Для сравнения, металл менее подвержен коррозии, а исследования, проведенные в Европе, показывают, что через 20 лет уровень звукопоглощения акустических элементов обычно изменяется на 1 дБ, что связано с пылью и микроорганизмами, которые накапливаются в волокнах звука. поглощающий материал.

Исследование алюминиевых экранов со звукопоглощающими материалами велось с применением полевого метода обследования по стандарту ЕМ 1793–6 [10]. Были испытаны 2 экрана одной и той же конструкции, один из которых был возведен в 1994 г., а второй в 2005 г. Результаты выявили, что характеристики поглощения звука нового экрана были на 0,3–0,8 дБ больше, нежели у старого экрана.

Вдобавок к влиянию условий окружающей среды и любому природному ухудшению свойств, связанному с видом применяемых материалов, есть несколько иных проблем, которые могут оказать влияние на акустическую долговечность и срок службы экрана.

Монтаж экрана. Неправильная установка, связанная с несоблюдением инструкций по установке от производителя, сразу увеличивает риск ее износа. Низкое качество монтажа часто проявляется в виде четко видимых дефектов, таких как неровные или не вертикальные опоры, плохая установка внутренней изоляции между акустическими элементами или между акустическими элементами и опорами, а также промежутки между панелями или между нижним элементом экрана и земля. Привлечение опытных установщиков, знакомых с продуктами, в сочетании с визуальными проверками недавно

установленного экрана, либо в конце, либо во время установки, являются наиболее важными факторами обеспечения правильной установки шумозащитного экрана.

Пропускные (технологические) проходы. Дополнительным фактором, влияющим на характеристики шумозащитного экрана, является включение пропускных проходов в шумозащитные экраны, которые необходимы для обеспечения доступа к проезжей части в случае аварийной эвакуации или для предоставления обслуживающему персоналу доступа к другим дорожным или объектам.

Важно, чтобы проходы имели те же акустические качества, что и экран, и были сконструированы таким образом, чтобы исключить или, по меньшей мере, минимизировать прохождение звука через зазоры вокруг рамы прохода. Было отмечено, что во многих случаях проходы были неправильно спроектированы или установлены после установки самого ШЭ и, следовательно, они низкого качества и плохо оборудованы; таким образом, это может повлиять не только на целостность прохода, но и на сам экран.

Существуют две основные группы параметров, которые обеспечивают акустическую долговечность ШЭ:

- внешние характеристики ШЭ (связанные с его установкой);
- внутренние характеристики ШЭ (характеристики отдельных материалов или компонентов).

Выбор материалов для экрана зависит от ряда факторов, включая физический размер экрана, расположение экрана и местные условия окружающей среды, эстетические требования к качеству, включая местные архитектурные виды, восприятие и принятие конструкции широкой общественностью.

При выборе материала и конструкции шумозащитных экранов следует учитывать, что металлические и прозрачные экраны под определенным углом падения могут создавать эффект бликов, кроме того для избегания негативного

воздействия атмосферных факторов, воздействия ультрафиолетового излучения и последующей потери прозрачности, должна быть подобрана надлежащая обработка поверхности поликарбоната. Непрозрачные материалы, такие как сталь, алюминий, требуют обработки поверхности для уменьшения коррозии.

В России в основном используются экраны с металлическими панелями из оцинкованной стали. Зачастую панели изготавливаются из тонкого металла (оцинкованная сталь от 0,5 мм), поэтому они становятся непригодными после 5-7 лет эксплуатации. Для сравнения, на мировом рынке для металлических панелей используют в основном алюминий и нержавеющую сталь, а не оцинкованную сталь, поскольку их срок службы значительно выше (более 15 лет).

Можно выделить основные группы ошибок проектирования и установки, которые существенно влияют на эффективность шумозащитного экрана:

- незаполненный зазор в местах установки ступеней фундамента (зазоры) (рис. 5.1.1);
- необоснованные разрывы (рис. 5.1.2);
- зазоры между акустическими панелями и фундаментом (поверхностью земли) (рис. 5.1.3);
- устройство дренажных лотков через фундамент экрана с нарушением его целостности (наличие зазоров) (рис. 5.1.4);
- разрывы, не соответствующие требованиям нормативных документов в области устройства шумозащитных экранов (рис. 5.1.5);
- недостаточная длина ШЭ (рис. 5.1.6).



Рисунок 5.1.1 – Незаполненный зазор в местах устройства ступеней фундамента(наличие брешей)



Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	

ВКР 03.32.00.000. ПЗ





Рисунок 5.1.2 – Необоснованные разрывы в ШЭ



Рисунок 5.1.3 – Щели между акустическими панелями и фундаментом



Рисунок 5.1.4– Образование проемов при организации водоотвода

Изм.	Лист	№ докум.	Подпись



Рисунок 5.1.5 – Разрывы, не удовлетворяющие требованиям нормативных документов в области устройства шумозащитных экранов



Рисунок 5.1.6 – Недостаточная длина ШЭ

По результатам обследования 40 шумозащитных экранов, установленных вдоль автомагистралей, было выявлено, что на этапе проектирования наиболее часто допускаются ошибки при определении требуемой длины ШЭ. Высота экрана, более чем в половине случаев была рассчитана и выбрана правильно, однако, из-за низкого качества исполнения ШЭ и неправильной установки конструкций в 62% не дает требуемых значений [6].

В ходе обследования основными причинами неудовлетворительного состояния шумозащитных экранов являлись глубокая коррозия металла, выпадения панелей, нарушение целостности конструкций, разрушение

Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	

фундамента. Иллюстрации описанных дефектов представлены на рисунках 5.1.7 – 5.1.10.



Рисунок 5.1.7 – Глубокая коррозия металла



Рисунок 5.1.8– Выпадение панелей



Рисунок 5.1.9 – Нарушение целостности конструкций

Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	

ВКР 03.32.00.000. ПЗ

Лист

75



Рисунок 5.1.10 – Разрушение фундамента

Важно понимать, какие шумозащитные экраны следует выбирать для использования, чтобы иметь уверенность в том, что экраны не только выполняют свои акустические функции и соответствуют проектным требованиям, но также сохраняют свои акустические характеристики в течение достаточно длительного срока службы при минимально возможном техническом обслуживании.

Чтобы сохранить акустические характеристики шумозащитных экранов и их свойства, необходимо регулярно контролировать их качество. Необходимо контролировать акустические характеристики в течение всего срока службы ШЭ, поскольку это важно для обеспечения соответствия продукции установленным требованиям.

Как правило, имеющихся у производителей акустических данных недостаточно для определения взаимосвязи между сроком службы экрана и акустическими характеристиками с учетом временных факторов.

Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	

Как и в случае любых основных ресурсов транспортной инфраструктуры, таких как тротуары, дорожные знаки и т. д., ШЭ требуют управления, а в некоторых случаях - технического обслуживания, чтобы гарантировать выполнение своих функций. На практике относительно мало известно об акустической долговечности экранов, и во многих случаях техническое обслуживание проводится только тогда, когда конструкция разрушена или имеет место значительный ущерб.

Рекомендуется проводить визуальные проверки шумозащитных экранов на ежегодной основе. Если в результате таких проверок обнаружены повреждения или дефекты шумозащитного экрана, которые могут отрицательно повлиять на его характеристики по защите от шума, в дополнение к проверкам могут потребоваться акустические измерения.

Для увеличения акустической долговечности нужно менять подход в изготовлении экранов, а именно разрабатывать и внедрять новые технические и технологические решения для проектирования, производства и эксплуатации транспортных и технологических шумозащитных экранов.

## 5.2 Пеноалюминий

В современном мире все больше внимания уделяется композитным материалам. Пеноалюминий один из таких материалов. Данный материал обладает высокой жаростойкостью и благодаря воздушной прослойке может применяться взамен минеральной ваты в шумозащитных конструкциях.

Пенометалл – новый класс ячеистой структуры, имеющих крайне низкую плотность в сочетании с высокой удельной прочностью, шумопоглощением и гидравлическим сопротивлением.

Пеноалюминий — алюминий (или сплав алюминия) ячеистого строения, разновидность пенометалла; состоит из заполненных газом (водородом) металлических ячеек; если ячейки закрытые, то пеноалюминий газонепроницаем

					<b>ВКР 03.32.00.000. ПЗ</b>	<i>Лист</i>
<i>Изм.</i>	<i>Лист</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Подпись</i>			77

и водонепроницаем. На данный момент известно два вида вспененного алюминия: закрытоячеистый (рис. 5.2.2) и открытоячеистый (рис. 5.2.1).

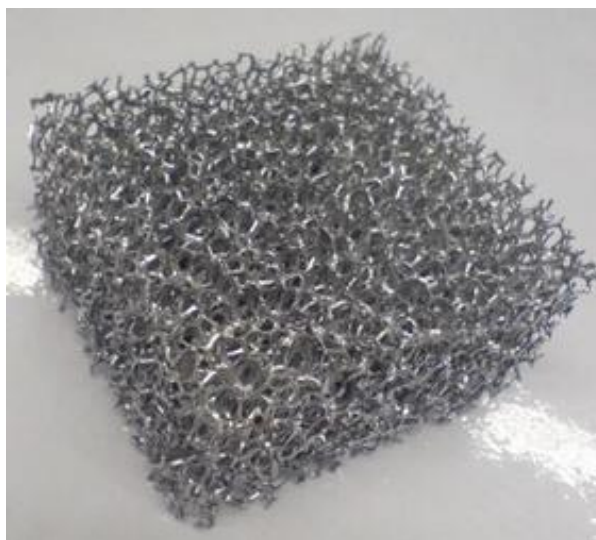


Рисунок 5.2.1 Открытоячеистый пеноалюминий



Рисунок 5.2.2 Закрытоячеистый пеноалюминий

Размер пор в пеноалюминии может колебаться от нескольких долей миллиметра до 30 мм и зависит от тонкостей технологического процесса. Плотность этого материала регулируется в интервале  $0,3-1,5 \text{ г/см}^3$ . Пеноалюминий сохраняет все качества исходного металла – стойкость к коррозии, свариваемость, простоту обработки. Наряду с этим, материал приобретает новые положительные качества:

- способность к окрашиванию и склеиванию;
- эффективное звукопоглощение и поглощение энергии удара;
- пониженную теплопроводность;
- уникальный внешний вид.

Удельный вес пеноалюминия равен аналогичной характеристике пластмассовых и деревянных изделий. При этом материал не горюч, не токсичен, стоек к воздействию ГСМ, термо- и биостоек, устойчив к ультрафиолетовым лучам и радиации. При попадании в воду закрытопористый алюминий плавает без набухания.

Благодаря своей пористо– ячеистой структуре пеналюминий эффективен в звукопоглощении. Данный материал обладает высокой вибростойкостью, высокой прочностью, а также способностью равномерно поглощать энергию при деформации.

Свойства и особенности пеноалюминия:

- Высокие звукопоглощающие свойства (коэфзвукопоглощения >75%)
- Хорошо подходит для поглощения или демпфирования удара (пеноалюминий показывает при деформации сильно нелинейное поведение, характерное для пористых структур)
- Долговечность (срок службы составляет в более 15лет.)
- Электрическая и термическая проводимость значительно меньше, чем у сплошного металла, но лежат в области свойств обычных металлических материалов
- Широкая температурная область применения и негорючесть материала
- Высокая удельная жесткость
- Малая термическая и электрическая проводимость
- Морозостойкость (отсутствие трещин при перепаде температур)

Чаще всего, эти свойства пеноалюминия используются при производстве шумозащитных экранов. Шумозащитные экраны по своему функциональному назначению подразделяются на: шумопоглощающие непрозрачные и

					<b>ВКР 03.32.00.000. ПЗ</b>	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись			79

шумоотражающие прозрачные. Нам интересны шумопоглощающие экраны, в которых может использоваться закрытоячеистый пеноалюминий. Для конструкции шумозащитных экранов подходит блочный пеноалюминий. Размер плит индивидуален для каждой компании. Возможны следующие размеры: 920 x 490 мм, 3000 x 1000 мм и др.

Акустические свойства пеноматериала определяется внутренней структурой, свойствами компактного материала, а так же внешними условиями. С увеличением толщины расширяются границы частотного диапазона в котором материал наиболее эффективен. Величина коэффициента звукопоглощения и частотная характеристика зависит от пористости и размера ячеек. Увеличить максимум поглощения можно добиться, увеличивая воздушный зазор между блоками и стенкой. Средние значения коэффициентов звукопоглощения пеноалюминия представлены на рис. 5.2.1. [16]

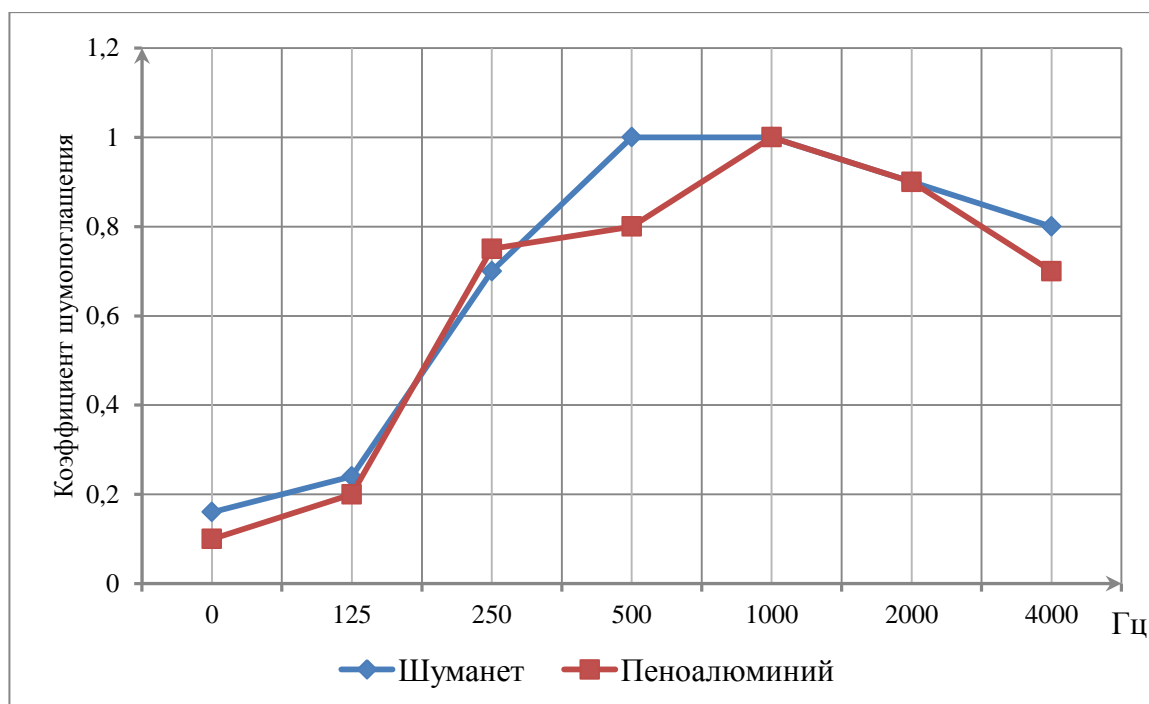


Рис.5.2.1 График коэффициентов звукопоглощения

Главная ценность пеноматериалов заключается не в каком либо одном уникальном свойстве, а в уникальной совокупности характеристик. Несмотря



на определенные преимущества алюминиевой пены, ее стоимость немного выше стандартных материалов которые используют для шумоизоляции, и составляет порядка 300 рублей за м<sup>2</sup>. Для сравнения, цена одного из самых популярных материалов, используемых в шумоизоляции, Шуманет, составляет 250 рублей за м<sup>2</sup>.

### **5.3 Шумозащитные экраны с интегрированными солнечными батареями**

Световое оборудование является неотъемлемой частью при проектировании дорог. Благодаря шумозащитным экранам можно частично сэкономить потребление электроэнергии, устанавливая на ШЭ солнечные батареи. Солнечная батарея представляет собой комбинацию фотоэлектрических преобразователей (фотоэлементов) - полупроводниковых устройств, которые непосредственно преобразуют солнечную энергию в постоянный электрический ток, в отличие от солнечных коллекторов, которые производят теплообменный материал. Таким образом можно сэкономить материальные ресурсы на обслуживание дороги, а также повысить экологичность постройки.

На сегодняшний день проблема обеспечения человечества энергоресурсами является жизненно необходимой. Человечество потребляет более 16 мегатонн ул. и в будущем потребление будет возрастать в разы.

В этой связи нам нужны новые источники, и кардинальные изменения в производстве, распределении, транспортировке и потреблении энергии, основанные на принципиально новых технологиях.

Среди наиболее актуальных и перспективных направлений развития РФ Д.А.Медведев на первое место поставил энергосбережение и повышение энергоэффективности, создание новых видов топлива. По данным международного энергетического агентства, вклад в решение проблемы энергосбережения внесет повышение энергоэффективности — 54% использование возобновляемых источников энергии и биотоплива — 23%.

					<b>ВКР 03.32.00.000. ПЗ</b>	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись			81

Принимая во внимание данные тенденции можно сказать, что все более перспективным становится использование альтернативных источников энергии, среди которых одну из лидирующих позиций удерживает солнечная энергия.

Как показал зарубежный опыт, полный потенциал использования солнечной энергии можно раскрыть, если интегрировать элементы солнечных батарей в различные строительные конструкции, например в крыши и стены коммерческих и промышленных зданий.

Также эффективным решением является сочетание солнечных батарей с шумозащитными экранами. Такой подход позволит получить эффективную защиту от шума вместе с выработкой «чистой» электроэнергии.

В случае улучшения уже существующих шумозащитных экранов, часто приходится сталкиваться с проблемой затенения и низкой интенсивности солнечного излучения. В районах промзон и вдоль трасс с интенсивным транспортным потоком может возникать ситуация при которой фотоэлементы батареи быстро загрязняются и изнашиваются. Следует уделять особое внимание ветровым нагрузкам действующим на экран и фотоэлементы. Одной из самых распространенных и серьезных проблем являются также воровство и вандализм

Несмотря на все перечисленные трудности, применение солнечных батарей интегрированных в шумозащитные экраны обладают рядом преимуществ. Следует отметить, что только за 2009 год использование солнечной энергии в странах Евросоюза выросло на 60% в сравнении с показателями за период с 2004 — 2008 годы. В 2009 году общий объем электроэнергии полученной благодаря солнечной энергии составил приблизительно 24 ГВт, из них около 17% (4 ГВт) приходится на электроэнергию [2], полученную за счет шумозащитных экранов с солнечными батареями

К преимуществам использования шумозащитных барьеров с интегрированными солнечными батареями следует отнести:

- Уменьшение стоимости солнечной батареи, так как в качестве основы выступает шумозащитный экран;
- Двойное использование земельных ресурсов, позволяющее использовать землю по краям дороги как для защиты от шума, так и для производства электро-энергии;
- Положительное восприятие населением;
- Близкое расположение к районам нуждающимся как в электроэнергии, так и в защите от шума;
- Положительное воздействие на экологическую ситуацию.

Для эффективного использования панелей солнечных батарей в шумозащитных экранах, необходимо что бы на каждый метр экрана приходилось от 1 до 5 квадратных метров солнечной батареи. Следует отметить, что вместо шумозащитного экрана можно использовать непосредственно саму панель солнечной батареи, но при этом для обеспечения необходимой защиты от шума необходимо, что бы каждый квадратный метр конструкции весил минимум 25 кг. В частности в Мадридском институте акустики был проведен опыт, который показал, что панель солнцезащитной батареи основой из керамики, позволят достичь снижения шума в 32 дБ.

Первый успешный опыт применения шумозащитного экрана с элементами солнечных батарей был реализован в Швейцарии в 1989 году, после чего в ряде стран европейского содружества также последовали этому примеру.

Примеры шумозащитных экранов с интегрированными солнечными батареями приведены на рисунке 5.3.1.



Рисунок 5.3.1 Шумозащитные экраны с интегрированными солнечными батареями

Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	

ВКР 03.32.00.000. ПЗ

Лист

84

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

1. Показана актуальность проблемы акустического загрязнения городов, основные вклады в которое вносят автомобильный транспорт, а также определены основные факторы, определяющие уровень транспортного шума:
  - интенсивность движения;
  - доля наиболее шумных грузовых автомобилей;
  - характер придорожной территории;
  - дорожные условия, определяющие режим движения.
2. Выявлено влияние шума на организм человека и определены вредные и безвредные для человека уровни шума.
3. Акустическая долговечность ШЭ, прежде всего, связана с используемыми материалами. В Европе наиболее распространенным материалом для шумозащитных экранов является дерево и бетон, в США - бетон и кирпич, в странах Скандинавии - дерево. В России большее количество шумозащитных экранов (около 80%) изготавливаются из оцинкованной стали, всего 10% из алюминия и нержавеющей стали, а также из дерева. В результате низкого качества установленных в России шумозащитных экранов (из оцинкованной стали) они акустически недолговечны, теряют свои свойства через 3-5 лет и требуют полной замены. Для повышения качества шумозащитных экранов и срока их службы необходимо пересмотреть действующую в России нормативно-техническую документацию, касающуюся требований к шумозащитным экранам и использованию новых технологий.
4. Установлено что акустическая эффективность ШЭ на автодорогах достигает 14–18 дБА. Фактическая акустическая эффективность шумозащитных экранов отличается от теоретической расчетной в два и более раз, что связано с ошибками как на стадии проектирования, когда

					<b>ВКР 03.32.00.000. ПЗ</b>	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись			85

определяются необходимые параметры шумозащитного экрана (высота и протяженности, в первую очередь), так и на стадии монтажа конструкции. Эффективному использованию акустических экранов (АЭ) и обеспечению требуемого снижения шума у нормируемых объектов препятствуют следующие проблемы:

- недостаточная фактическая акустическая эффективность экранов (5-10 дБА);
- некорректно выбранные параметры АЭ (высота, длина, расположение и пр.);
- низкое качество акустических панелей АЭ;
- неверно запроектированное совмещение АЭ с прочими элементами;
- обустройства автомобильной дороги;
- ошибки при монтаже;
- ухудшение акустических свойств АЭ в процессе эксплуатации;
- ухудшение внешнего вида АЭ в процессе эксплуатации;
- недостаточная вандалозащищенность и безопасность при эксплуатации;
- малый срок службы и разрушение отдельных частей АЭ.

Данные ошибки, в том числе, связаны и с отсутствием учета количества полос движения на автомобильной дороге, и учета движения подвижного состава по второму пути и др. Наиболее распространенными ошибками также являются: несоответствие шага стоек ШЭ и фундамента, приводящее к образованию щелей, крупных зазоров и проемов; необоснованные разрывы в шумозащитных экранах; негерметичное исполнение конструкции с образованием щелей между акустическими панелями и фундаментом (поверхностью земли); неправильное устройство водоотводов с образованием крупных проемов.

5. В результате анализа шумовых характеристик дорог и уровней звука в прилегающих жилых районах было обнаружено, что более 80%

шумозащитных экранов не полностью выполняют свою функцию и после установки экранов в жилых домах превышают эквивалентные уровни шума от 1 до 14 дБА в жилом районе.

6. Конструкция экрана заметно влияет на его эффективность:

- при отсутствии боковых отгонов технологических П-образных в плане экранов их эффективность за счёт дополнительной дифракции через свободные боковые рёбра снижается на 4–5 дБ (3 дБА);
- наличие щелей в экранах снижает их эффективность до 9–12 дБ в средне-высокочастотном диапазоне (уменьшение эффективности до 8 дБА), то есть при наличии щели эффективность экранов может уменьшиться почти вдвое;
- надстройка на свободном ребре экрана несколько увеличивает его эффективность: Г-образная надстройка снижает УЗ дополнительно на 1,5–2,5 дБА, Т-образная увеличивает эффективность на 3-5,5 дБА.

7. Исследование алюминиевых экранов со звукопоглощающими материалами показало, что алюминий менее восприимчив к коррозии, а исследования, проведенные в Европе, показывают, что 20 лет спустя уровень звукопоглощения акустических элементов изменяется всего на 1 дБ, что связано с пылью и детритом, которые накапливаются в волокнах звукопоглощающего материала. В последние годы вспененный алюминий набирает популярность, сохраняя при этом все качества исходного металла - коррозионную стойкость, свариваемость, простоту обработки. Наряду с этим материал приобретает новые положительные качества - эффективное поглощение звука и поглощение энергии удара.

8. В современном мире все больше внимания уделяется композитным материалам. Пеноалюминий один из таких материалов. Данный материал обладает высокой жаростойкостью и благодаря воздушной прослойке может применяться взамен минеральной ваты в шумозащитных конструкциях.

Главная ценность пеноматериалов заключается не в каком либо одном уникальном свойстве, а в уникальной совокупности характеристик. Несмотря на определенные преимущества алюминиевой пены, ее стоимость немного выше стандартных материалов которые используют для шумоизоляции, и составляет порядка 300 рублей за м<sup>2</sup>. Для сравнения, цена одного из самых популярных материалов, используемых в шумоизоляции, Шуманет, составляет 250 рублей за м<sup>2</sup>. Однако долговечность пеналюминия намного выше минеральной ваты.

9. Конструкции панелей должны отвечать следующим требованиям и рекомендациям:

- в металлической панели должны предусматриваться технологические отверстия в нижней части панели с целью ненакопления воды в теле панели. Детали конструкции шумозащитного экрана должны быть спроектированы таким образом, чтобы исключить возможность скопления влаги, которая способствует гниению или химической коррозии. Крепления из сплавов и металлов должны быть подобраны должным образом, чтобы избежать разности в электрохимических потенциалах, которая усилит коррозию.
- для преждевременного разрушения звукопоглощающий находящийся внутри многослойной панели, должен быть кэширован или обернут стеклотканью.
- светопрозрачные панели должны обладать стойкостью к абразивной пыли и воздействию ультрафиолетовых лучей;
- допустимый прогиб панелей под собственным весом и/или приложенной ветровой нагрузкой не должен превышать 20 мм.

10. Для увеличения акустической долговечности рекомендованы следующие параметры шумозащитных панелей:

- параметры стенок акустических панелей: для алюминиевых и оцинкованных панелей 1,5 мм, для панелей из импрегнированной

					<b>ВКР 03.32.00.000. ПЗ</b>	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись			88



древесины толщина задней стенки не менее 18 мм, для композитных панелей 4 мм и для панелей из нержавеющей стали 1 мм соответственно;

- для обеспечения защиты панелей из стали требуется горячее цинкование, минимальная толщина слоя – 18 мкм (при толщине применяемого листа от 0,8 мм до 1,5 мм) и 23 мкм (при толщине применяемого листа от 1,5 мм до 3 мм) с последующим нанесением защитно-декоративного лакокрасочного покрытия. Антикоррозионное покрытие наносится на панели в заводских условиях после устройства перфорации или жалюзийных отверстий.
- при применении панелей в щадящих условиях допускается применение оцинкованных панелей с толщиной листа 0,8мм и выше, алюминиевого листа от 1 мм и выше;
- для защиты деревянных акустических панелей от влаги, химических реагентов и прочих воздействий, приводящих к преждевременному разрушению, следует обрабатывать деревянные конструкции способом импрегнирования.

11. Благодаря шумозащитным экранам можно частично сэкономить потребление электроэнергии, устанавливая на ШЭ солнечные батареи.

К преимуществам использования шумозащитных барьеров с интегрированными солнечными батареями следует отнести:

- Уменьшение стоимости солнечной батареи, так как в качестве основы выступает шумозащитный экран;
- Двойное использование земельных ресурсов, позволяющее использовать землю по краям дороги как для защиты от шума, так и для производства электро-энергии;
- Близкое расположение к районам нуждающимся как в электроэнергии, так и в защите от шума;
- Положительное воздействие на экологическую ситуацию.

					<b>ВКР 03.32.00.000. ПЗ</b>	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись			89

## СПИСОК ИСПОЛЬЗУЕМОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. Санитарные нормы СН 2.2.4/2.1.8.562-96 «Шум на рабочих местах, в помещениях жилых, общественных зданий и на территории жилой застройки» (утв. Постановлением Госкомсанэпиднадзора РФ от 31 октября 1996 г. N 36) [электронный ресурс]. – [2014]. – Режим доступа: <https://www.stroimdom.com.ua/files/docs/sn-2.2.4-2.1.8.562-96.pdf>
2. ОДМ 218.2.013-2011 «Методические рекомендации по защите от транспортного шума территорий, прилегающих к автомобильным дорогам». – М.: Издательство ФГУП «Информавтодор», 2011. – 123 с.
3. СП 51.13330.2011 Свод правил. Защита от шума. Актуализированная редакция СНиП 23-03-2003. – М.: Минрегион России, 2011. – 41 с.
4. ГОСТ 12.1.036-81 (СТ СЭВ 2834-80) «Система стандартов безопасности труда (ССБТ). Шум. Допустимые уровни в жилых и общественных зданиях»
5. В.С. Сердюк, В.К. Байдукова, В.В. Утюганова, Т.В. Колпакова, Методические указания к лабораторным работам «Исследование уровней шума при специальной оценке труда»- ФГБОУ ОГТУ, 2015г., 30 стр.
6. Шашурин А.Е. Научное обоснование и применение новых технических и технологических решений для снижения акустического загрязнения основными типами шумозащитных экранов: автореф. дис. д-ра тех. наук, Санкт-Петербург, 2018. – 420 стр.;
7. Денисов С.Н. Шумозащитные экраны на мостах и эстакадах: эффективное применение // Мир дорог. 2011. № 55. Август. с. 100.
8. Иванов, Н. И. Акустические экраны для снижения шума в жилой застройке / Н. И. Иванов, Н. Г. Семёнов, Н. В. Тюрина // Приложение к журналу «Безопасность жизнедеятельности». 2012. – №4 – С. 1-24.
9. ГОСТ 32957-2014 «Дороги автомобильные общего пользования. Экраны акустические. Технические требования». – М.: Стандартинформ, 2016. – 12 с.

					<b>ВКР 03.32.00.000. ПЗ</b>	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись			90

10. Jonasson H. G. Sound reduction of low railway barriers : Inter Noise, 1997. – Budapest-Hungary, august 25-27. – P. 417-420.
11. ГОСТ Р 52766–2007 «Дороги автомобильные общего пользования. Элементы обустройства. Общие требования» . – М.: Стандартинформ, 2008. – 19 с.
12. ВСН 25–86 «Указания по обеспечению безопасности движения на автомобильных дорогах» [электронный ресурс]. – [2018]. – Режим доступа: [http://gostbank.metaltorg.ru/data/norms\\_new/vsn/63.pdf](http://gostbank.metaltorg.ru/data/norms_new/vsn/63.pdf)
13. СТО Автодор 2.9-2014 «Рекомендации по проектированию, строительству и эксплуатации акустических экранов на автомобильных дорогах Государственной компании «Автодор» – М.: Издательство ФГУП «Информавтодор», 2014. – 76 с.
14. О состоянии и об охране окружающей среды в Российской Федерации в 2016 г: Государственный доклад. – М.: Федеральная служба по надзору в сфере защиты прав потребителей и благополучия человека, 2017. – 760 с.
15. 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.
16. Пеноматериалы. Виды, свойства, применение. [электронный ресурс]. – [2018]. – Режим доступа: <http://ekokataliz.ru/penomaterialyi/penometallyi/>
17. Шашурин, А. Е Новое поколение акустических экранов на автодорогах России / А. Е. Шашурин, Н. И. Иванов, Н. В. Тюрина // Мир Дорог. – 2010. – №45. – С. 41 – 43.
18. Буторина, М. В. Снижение шума при проектировании транспортного обхода вокруг Санкт-Петербурга / М. В. Буторина, Н. В. Тюрина // Безопасность жизнедеятельности. – 2006. – №1. – С. 30-35.
19. Тюрина, Н. В. Классификация акустических экранов // Сборник трудов 2-ой Всероссийской школы-семинара «Новое в теоретической и прикладной

акустике», под ред. Н.И. Иванова. – Санкт-Петербург, 17-18 октября, 2002. –С.115-121.

20. Поспелов, П. И. Проектирование шумозащитных сооружений при реконструкции МКАД / П. И. Поспелов, Д. М. Строков, Б. А. Щит // Доклад на научно-практической конференции «Промышленная экология – 97». – СПб., 12-14 ноября 1997 г. – С. 283-288.
21. Тюрина, Н. В Проблема снижения шума акустическими экранами / Н. В. Тюрина, Н. И. Иванов // Дорожная держава. – 2008. – №12. – С. 38-40.
22. Тюрина, Н. В. Влияние размеров и формы на эффективность акустического экрана / Н. В. Тюрина, Ю. И. Элькин // Труды четвёртой Всероссийской школы- семинара с международным участием «Новое в теоретической и прикладной акустике». – СПб.: 21 ноября 2007. – С. 66-75.
23. Аистов, В. А. Исследование влияния формы шумозащитного экрана на его акустическую эффективность / В. А. Аистов, И. Л. Шубин // АСADEMIA. Архитектура и строительство. – 2009. – №5. – С. 200-208.
24. Иванов, Н. И. Влияние материала на акустическую эффективность шумозащитного экрана / Н. И. Иванов, А. Е. Шашурин, Ю. С. Бойко // Noise Theory and Practice. – 2016. – С. 24-28.
25. Иванов, Н. И. Снижение технологического шума акустическими экранами / Н. И. Иванов, Н. В. Тюрина //Безопасность жизнедеятельности. –2003. – №6. – С. 19-24.
26. Акустические экраны: конструкция, материалы, эффективность // Мир дорог. – 2008. – № 35. – С. 64-66.
27. Иванов, Н. И. Проблемы конструирования акустических экранов и их применение для снижения шума железнодорожного и автомобильного транспорта / Н. И. Иванов, Н. Г Семёнов, Н. В. Тюрина // Сборник трудов IV научно-практической конференции с международным участием «Защита населения от повышенного шумового воздействия». – СПб., 26-28 марта, 2013. – С. 52-88.

					<b>ВКР 03.32.00.000. ПЗ</b>	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись			92

