

Федеральное государственное автономное
образовательное учреждение
высшего образования
«СИБИРСКИЙ ФЕДЕРАЛЬНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ»

Инженерно-строительный
институт
Проектирование зданий и экспертиза недвижимости
кафедра

УТВЕРЖДАЮ
Заведующий кафедрой
_____ Р.А. Назиров
подпись инициалы, фамилия
«_____» _____ 20__ г.

МАГИСТЕРСКАЯ ДИССЕРТАЦИЯ

Снижение уровня шума в решении проектных задач
тема
08.04.01 Строительство
код и наименование направления
08.04.01.04 Проектирование зданий. Энерго- и ресурсосбережение
код и наименование магистерской программы

Научный руководитель	_____	канд. биологич. наук	_____
	подпись, дата	должность, учёная степень	Е.Г. Жуль
Выпускник	_____		инициалы, фамилия
	подпись, дата		<u>Д.Е. Воробьева</u>
			инициалы, фамилия
Рецензент	_____	_____	_____
	подпись, дата	должность, учёная степень	инициалы, фамилия

Красноярск 2020

АННОТАЦИЯ

В работе исследуется защита от шума жилой городской застройки в городе Красноярск. Анализируются основные источники шума, которым подвергается население крупных мегаполисов, прослеживается влияние шума на самочувствие, здоровье и производительность труда человека, дается сравнительная оценка основных методов шумозащиты. Предлагается разработанная в ходе исследования методика сравнительной оценки основных методов шумозащиты, позволяющая произвести качественное сравнение существующих систем снижения шума в районе или на предприятии, либо оценить изменения состояния системы борьбы с шумом на одном конкретном предприятии с течением времени.

Ключевые слова:

ШУМ, ЗВУК, ШУМОВОЕ ЗАГРЯЗНЕНИЕ, ЗДОРОВЬЕ, ПРОИЗВОДИТЕЛЬНОСТЬ ТРУДА, СРЕДСТВА ЗАЩИТЫ ОТ ШУМА

СОДЕРЖАНИЕ

Перечень сокращений.....	4
Введение.....	5
1. Анализ современного состояния проблемы шумозащиты для жилой застройки.....	8
1.1. Основные источники шумового загрязнения жилой застройки.....	8
1.2. Влияние повышенного уровня шума на человека.....	20
2. Возможность применения современных методов шумозащиты для жилой застройки в городе Красноярске.....	37
2.1. Основные направления снижения шумового загрязнения жилой застройки.....	37
2.2. Современные методы шумозащиты.....	39
3. Сравнительная оценка основных методов шумозащиты.....	49
3.1. Выбор критериев и параметров эффективности методов шумозащиты.....	49
3.2. Методика сравнительной оценки основных методов шумозащиты.....	51
Заключение. Основные выводы.....	70
Список использованных источников.....	77
Приложение 1.....	81
Приложение 2.....	82

ПЕРЕЧЕНЬ СОКРАЩЕНИЙ

ВОЗ – Всемирная организация здравоохранения;

ИШ – источник шума;

НТД – нормативно-технический документ;

ПДУ – предельно допустимый уровень;

РТ – расчетная точка;

СНиП – строительные нормы и правила;

ШЭ – шумозащитный экран;

ВВЕДЕНИЕ

До сравнительно недавнего времени вопросы шумового загрязнения окружающей среды и защиты от шума построенной на научной основе находились вне поля зрения исследователей. Считалось, что шум – это всего лишь возможно неприятное, но не опасное явление, которое сопровождает любой процесс жизнедеятельности, и на него просто можно не обращать внимания. Однако в процессе развития техники и технологий, начиная примерно со второй половины XX века, человеку пришлось столкнуться со звуком такой мощности и таких частотных характеристик, какие не существовали ранее за всю историю развития цивилизации. И эти характеристики звукового воздействия продолжают нарастать. Постепенно накопленный статистический материал позволил выявить прямую зависимость характеристик звука (наряду с вибрацией), действующих на человека (работника), с такими категориями как производительность труда, здоровье, заболеваемость и продолжительность жизни. То есть звук (как и вибрация) при определенных условиях превратился в биологически опасный фактор, угрожающий не только трудоспособности человека, но и целостности его организма. Эта опасность для человека стремительно возрастает в связи с развитием техники, так как увеличивается интенсивность сопутствующих факторов, при действии которых и вибрация, и шум становятся особенно опасными.

Падение производительности труда в тех отраслях промышленности, где технологические процессы связаны с повышенным уровнем шума, отмеченное в ряде посвященных этому вопросу работ [4, 8, 9, 12], происходит вследствие снижения внимания работников и повышения времени их реакций на изменение обстановки. При этом производительность труда падает не только в количественном, но и в качественном отношении, причем воздействие шума способно понизить производительность труда до 60% [10, 14]. При снижении шума наблюдается обратная реакция, общая производительность

трудоповышается, падают непроизводственные затраты, а также снижается заболеваемость сотрудников.

Таким образом, вопрос снижения интенсивности бытового и промышленного шума напрямую связаны как с производительностью труда и безопасностью производства, так и в целом с безопасностью жизнедеятельности человека, и, следовательно, имеют чрезвычайно большое экономическое и социальное значение, что и определяет **актуальность данной работы.**

В ходе работы рассматривается **такая научная проблема**, как защита от шума для жилой городской застройки. Еще в 2009 году Европейское региональное бюро Всемирной организации здравоохранения (ВОЗ) опубликовало результаты исследования «Night noise guide lines for Europe» (Руководство по проблемам ночного шума для стран Европы) [4], в которой были представлены последние данные о том вреде для здоровья людей, который может быть связан с воздействием ночного шума, а также рекомендации по предельно допустимому его уровню. Согласно предлагаемым данным, ежегодный усредненный уровень ночного шума не должен превышать 40 децибел (дБ), что соответствует уровню шума на тихой улице в жилых кварталах. Даже незначительно более высокие уровни шума способны вызывать легкие расстройства здоровья, например в виде нарушений сна. Длительное же среднее воздействие шума, превышающего всего лишь 55 дБ, (что соответствует уровню шума на оживленной городской улице), может стать причиной повышения артериального давления и нарушений деятельности сердца. Отмечалось, что каждый пятый житель Европы регулярно подвергается слишком высокому уровню шума, что подтверждает **актуальность озвученной научной проблемы.**

Исходя из формулировки научной проблемы были выбраны объект и предмет исследования. **Объектом исследования** является охрана окружающей среды в районе г. Красноярск.

Предметом исследования являются методы шумозащиты.

Целью работы является разработка рекомендаций по использованию основных методов шумозащиты для жилой застройки в городе Красноярске.

Для достижения указанной цели в ходе работы решаются **следующие задачи**:

- проанализировать современное состояние проблемы шумозащиты для жилой застройки;
- исследовать возможности применения современных методов шумозащиты для жилой застройки в городе Красноярске;
- разработать рекомендации по использованию основных методов шумозащиты.

Объем работы составляет 80 страниц. Работа включает в себя введение, три главы, заключение, перечень использованной литературы, приложения.

Новизна работы обусловлена предложенными рекомендациями основных методов шумозащиты, не используемых ранее.

Выбор в качестве объекта исследования города Красноярск обусловлен с одной стороны тем фактом, что этот город является одним из крупнейших мегаполисов Российской Федерации, крупнейшим культурным, образовательным, экономическим и промышленным центром Центральной и Восточной Сибири, а также крупнейшим транспортным узлом региона, связывающим воедино автомобильный, воздушный, железнодорожный и речной трафик. Здесь также расположены более семнадцати тысяч предприятий космической, химической и пищевой промышленности, цветной металлургии, машиностроения, деревообработки, транспорта. С другой стороны, не относясь по объективным причинам к столичному региону, город не может рассчитывать на финансирование природоохранных и экологических мероприятий на таком уровне, как например г. Москва или г. Санкт-Петербург. Следовательно, именно для подобных регионов полученные результаты предлагаемого исследования могут быть особенно актуальны.

1. АНАЛИЗ СОВРЕМЕННОГО СОСТОЯНИЕ ПРОБЛЕМЫ ШУМОЗАЩИТЫ ДЛЯ ЖИЛОЙ ЗАСТРОЙКИ

1.1. Основные источники шумового загрязнения жилой застройки

Под шумовым, или, иначе говоря, акустическим загрязнением окружающей среды понимается звуковое воздействие, источником которого является результат деятельности человека, мешающее как жизнедеятельности самого человека, так и других живых организмов, то есть представляющее из себя раздражающий шум антропогенного происхождения. Звуковые воздействия происходят вследствие колебания частиц упругой среды, частоты которых лежат в области восприятия человеческим слухом. Эта область располагается в границах от 20 до 20000 Гц.

Также существуют раздражающие шумы природного происхождения, не являющиеся шумовым загрязнением, так как являются разновидностью природного явления. Считается, что к шуму природного происхождения живые организмы быстро адаптируются.

Известны три вида шума:

- прерывистые или неравномерные;
- непрерывные или равномерные;
- импульсные, мгновенные.

Давно уже выявлено, что звук (иначе говоря, волновые колебания) распространяется в среде с некоторой определенной скоростью, которая определяется как «скорость звука», и обозначается буквой «с». Если среда газообразная, например воздух, то скорость звука зависит в основном от воздушного давления и плотности среды. Так при температуре 20°C и нормальном атмосферном давлении скорость звука в воздухе достигает примерно 344 м/с.

Та область воздушного пространства, в которой непосредственно движется звуковая волна, называется звуковым полем. Модификация физического

состояния среды в звуковом поле, вызванная появлением звуковых волн, определяется обычно звуковым давлением (p), т. е. разностью между числовым значением полного давления и среднего статического давления, которое имелось в воздухе при отсутствии звукового поля. Звуковое давление, возрастающее в течении времени от нуля до максимума, определяют не по мгновенной величине, а по среднеквадратичному значению за период колебания. Таким образом, звуковое давление является силой, действующей на единичную поверхность. Единица измерения звукового давления соответствует общему давлению – $1 \text{ Па} = 1 \text{ Н/м}^2$.

Расстояние между двумя ближайшими точками звукового поля, в которых фаза колебаний частиц среды одинакова, измеренное вдоль направления распространения звуковой волны, называют длиной звуковой волны. Для изотропной среды (например, атмосферы) длина волны λ определяется частотой f и скоростью звука c в соответствии с формулой: $\lambda = c/f$.

Звуковые частоты акустических колебаний ограничиваются пределами от 16 до 20 000 Гц. Частоты ниже 16 Гц являются инфразвуком, а выше 20 000 Гц — ультразвуком. При этом звуковые частоты подразделяются на низкие (200—300 Гц), средние и высокие (более 1000—1250 Гц).

Наиболее простым звуком является т.н. «тон», представляющий собой определенное звуковое колебание без дополнительных эффектов. Профиль волны тона имеет вид синусоиды. Звуки, которые состоят из нескольких тонов, при этом частоты этих тонов совпадают между собой по целым кратным отношениям, называются музыкальными. Звуки, состоящие из бессистемного сочетания чистых тонов, и их частоты не определяются каким-либо числовым соотношением, то такие звуки называются шумами. Кроме того, определение «шум» характеризует любой звук, воздействие которого неблагоприятно для человека, и зависит не только от вида звука, но и от продолжительности и общей системы его воздействия.

Силой звука называется количество энергии, переносимой волной в звуковом поле в 1с через площадь в 1 м², перпендикулярной распространению волны. Оно измеряется в Вт/м².

Связь между силой звука I (Вт/м²) и звуковым давлением p (Па) определяется уравнением:

$$I = p^2 \cdot (\rho \cdot c)^{-1}.$$

Ухо человека ощущает минимальную величину звукового давления, которую называют «порог слышимости» или «порог ощущения» и обозначают p_0 . Максимальное давление, создающее болевые ощущения, называют «болевым порог» и обозначают p_{max} . Соответственно определяются значения пороговых сил звука I и I_{max} .

ISO – международная организация по стандартизации принимает за пороговые значения p_0 , p_{max} , I_0 и I_{max} на частоте 1000 Гц:

$$p_0 = 2 \cdot 10^{-5} \text{Па}, I_0 = 10^{-12} \text{Вт/м}^2,$$

$$p_{max} = 2 \cdot 10^{-2} \text{Па}, I_{max} = 102 \text{Вт/м}^2.$$

Значение уровня звукового давления, а также и силы звука, которые соответствуют уровням, с которыми нужно бороться при борьбе с шумом, могут изменяться по давлению до 108 раз, по силе звука – до 1016 раз.

Однако нужно учитывать, что ухо человека реагирует на относительное изменение давления (от имеемого уровня), а не на абсолютное. Ощущения человека, возникающие при шуме, пропорциональны логарифму количества энергии раздражителя, поэтому были введены логарифмические величины – уровни звукового давления и силы звука в децибелах (дБ) (закон Вебера-Фехнера). Уровень звукового давления L , дБ:

$$L = 10 \cdot \lg(p^2/p_0^2) = 20 \cdot \lg(p/p_0) \quad (1)$$

где p — звуковое давление, Па;

p_0 — пороговое звуковое давление, равное $2 \cdot 10^{-5}$ Па.

Изменение уровня звукового давления на 6 дБ соответствует удвоению значения звукового давления. Описанные выше логарифмические единицы уровня звукового давления являются не абсолютными, а относительными и потому безразмерными единицами. Однако в результате стандартизации порогового значения p_0 , определяемые относительно него уровни звукового давления получили соответствие абсолютным величинам, так как в этом случае они однозначно определяют соответствующее им значение звукового давления. Для широко распространенных источников шума средние значения характерных для них уровней звукового давления представлены в таблице 1.

Таблица 1 – Средние значения звукового давления источников шума

№ п.п.	Источник шума	Уровень звукового давления, дБ	Примечание
1	Загородная местность	20	-
2	Шепот	40	Расстояние 0,3 м
3	Речь средней громкости	60	Расстояние 1 м
4	Станок для резки металла	80-90	Рабочее место
5	Станок ткацкий	90-100	Рабочее место
6	Городская магистраль	85-100	Расстояние 7,5 м
7	Молоток отбойный	100	Расстояние 1 м
8	Оркестр на массовом мероприятии	110	Расстояние 1 м
9	Взлет самолета с реактивным двигателем	125	Расстояние 100 м
10	Реактивный двигатель	140	Расстояние 25 м

Уровень мощности звука L_P , (дБ) определяется по формуле:

$$L_P = 101g(P/P_0)$$

где P — звуковая мощность, Вт;

P_0 — пороговая звуковая мощность, равная $2 \cdot 10^{-12}$ Вт.

При проведении практических расчетов в ходе борьбы с шумом все числовые вычисления осуществляются до получения целочисленных значений децибел, поскольку градация звукового давления менее 1 дБ не воспринимается органами слуха человека.

Слышимый диапазон звуков при стандартной частоте 1000 Гц располагается от 0 до 120 дБ. Если увеличить значение уровня звука свыше 120 дБ, то человек будет испытывать болевые ощущения в ушах, не слыша самого звука.

Если частоты отличаются от 1000 Гц, то и абсолютный уровень звукового давления, получают другие численные значения, что можно видеть на пороге слышимости (рис. 1) [3, 14].

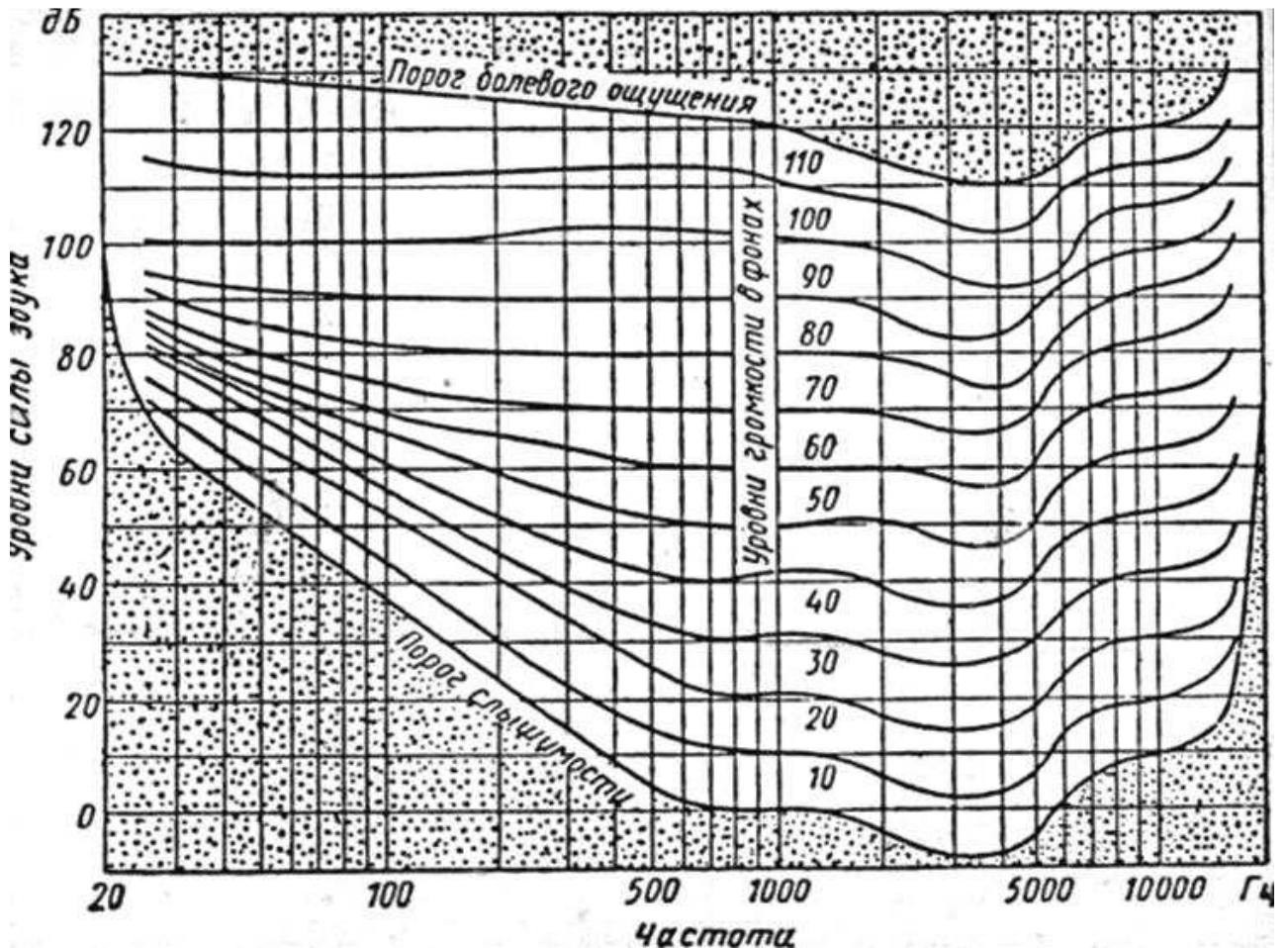


Рисунок 1 – Определение кривых равной громкости [3]

Значения уровней звукового давления, выраженные в децибелах, не позволяют судить о физиологическом ощущении громкости. Поэтому для оценки физиологического ощущения от шума, как правило, применяют т.н. «кривые равной громкости» (рис 1), которые были построены в результате исследования свойств человеческого органа слуха. В этих исследованиях определялась способность человека оценивать звуки различной частоты. В основе исследований лежат индивидуальные ощущения громкости звука (в категориях понятий «сильнее» или «слабее» («громче» или «тише»)), полученные от ряда респондентов, и обработанные методами математической статистики.

Единицей уровня громкости (фон) считается разность между уровнями звукового давления в один децибел для эталонного звука (частота 1000 Гц). Поэтому уровень громкости определяется зависимостью звукового давления от частоты. Каждая кривая на рисунке 1 дает координаты уровня звукового давления и частоты, то есть определяет одинаковую громкость звука.

За стандартную частоту принято 1000 Гц, так как в этом случае уровни звукового давления (силы звука) и громкости численно равны. Для других частот это соотношение не соблюдается. Так, например звук частотой 100 Гц и уровнем 52 дБ воспринимается человеческим ухом одинаково в сравнении со звуком частотой 1000 Гц и уровнем 21 дБ. При этом уровень громкости составляет 21 фон. Используя представленные на рисунке 1 кривые равной громкости можно определить уровень громкости звука для любой частоты, если известно значение уровня его звукового давления в децибелах.

Вся звуковая энергия, которую излучает источник шума, распределяется по различным частотам. Поэтому требуется знать частотный спектр, т. е. конкретные значения уровней звукового давления на различных частотах. Оригинальный спектр непериодических процессов, которые характерны для основного числа городских источников шума, является сплошным, поэтому он как правило представляется в полосах частот определенной ширины (Δf), которые отделяются граничными частотами – нижней f_1 и верхней f_2 , в

звуковом диапазоне частот от 45 до 11 200 Гц. При проведении практических расчетов за среднюю частоту полосы обычно принимают среднегеометрическую частоту f :

$$f = \sqrt{f_1 f_2}$$

При проведении практических акустических расчетов шумов используются октавные полосы частот, которыми называется такая полоса частот, у которой отношение граничных частот $f_2/f_1=2$. В том случае, когда $f_2/f_1=2^{1/3}=1,26$, то ширина полосы равна 1/3 октавы.

Уровни звукового давления (звуковой мощности), отнесенные к октавным полосам частот, называют октавными уровнями, а уровни, отнесенные ко всем полосам частот — общими уровнями.

Для того, чтобы произвести оценку уровня шума не соотношением, а одним числом, которое учитывало бы собственную оценку шума человеком, в настоящее время применяется терминологическое понятие «уровень звука» (измеряется в дБА) — общий уровень звукового давления, измеряемый шумомером на кривой частотной коррекции A , которая приблизительно характеризует частотную характеристику восприятия шума человеческим ухом (соответствует кривой равной громкости с уровнем звукового давления 40 дБ на частоте 1000 Гц). Относительная частотная характеристика кривой коррекции A приведена в таблице 2.

Таблица 2 – Относительная частотная характеристика кривой коррекции A

Частота, Гц	63	125	250	500	1000	2000	4000	8000
Значение	-26,2	-16,1	-8,6	-3,2	0	+1,2	+1,0	-1,1

При проведении борьбы с шумом, обычно необходимо объединить уровни звукового давления (уровни звука) нескольких источников шума, вычислить

средний уровень или по октавным уровням рассчитать общий уровень звукового давления.

Последовательное суммирование уровней звукового давления (уровней звука) начинают обычно с наибольшего уровня. Определяют разность двух складываемых уровней, а затем из установленной разности находят требуемое увеличение (добавку), которую прибавляют к большему из складываемых уровней. Такие же действие предпринимают с данной суммой двух уровней и третьим уровнем и т. д. Пример такого расчета представлен в таблице 3, по которой находят требуемое значение добавки для прибавления к большему из складываемых уровней.

Шум большинства источников, характерных для городской среды, находится в диапазоне практически всех полос воспринимаемых слухом частот, однако имеет различное распределение уровней давления звука по частотам, также различный градиент по времени. Классификация видов шумов, оказывающих неблагоприятное воздействие на человека, осуществляется с применением спектральных и временных характеристик.

Таблица 3 – Порядок сложения уровней звукового давления

Разность двух складываемых уровней, дБ (дБА)	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	15	20
Добавка к большему уровню, дБ (дБА)	3	2,5	2,1	1,8	1,5	1,2	1	0,8	0,6	0,5	0,4	0,3	0,2	0

По спектру шумы подразделяются на:

- низкочастотные (максимум звукового давления в области < 300 Гц);
- среднечастотные (максимум звукового давления в области 300-800 Гц);
- высокочастотные (максимум звукового давления в области > 1000 Гц).

По временным характеристикам шумы подразделяются на

- постоянные (уровень звука изменяется во времени менее чем на 5 дБА);
- непостоянные (уровень звука изменяется во времени более чем на 5 дБА).

Источники постоянных шумов, это, например, постоянно работающие насосы, вентиляционные и компрессорные установки, а также оборудования промышленных предприятий (воздуходувки, кондиция, транспортеры и пр.).

Непостоянные шумы в свою очередь делятся на:

- меняющиеся во времени (уровень звука непрерывно изменяется во времени);
- прерывистые (уровень звука несколько раз за время наблюдения резко падает до уровня фонового шума и снова нарастает, длительность интервалов, в течение которых уровень звука постоянен и превышает фоновый шум – более 1 сек.);
- импульсные (один или несколько последовательных импульсов длительностью менее 1 сек.).

Источники непостоянного колеблющегося шума городской среды – автотранспорт, прерывистого шума – железнодорожный транспорт, холодильные промышленные установки. Источники импульсного шума – пневматические молотки, кузнечные пресса, машин для забивания свай, другое подобное промышленное оборудование.

Для оценки характеристик шума используются различные методы, которые зависят в первую очередь от его временной классификации. Оценка постоянного шума осуществляется по основному методу в уровнях звукового давления L_v дБ, как правило, в октавных полосах частот (63, 125, 250, 500, 1000, 2000, 4000 и 8000 Гц). Для непостоянных шумов, (а также для приближенной оценки постоянных шумов) производится по уровню звука в дБА. Этот метод на практике используется наиболее часто [1].

Основными глобальными источниками шумового загрязнения в современном мире (и особенно в городской среде) являются транспортные средства, промышленные предприятия, ремонтные и строительные работы, массовые мероприятия [16].

Доля, занимаемая каждым из основных источников шума в формировании общей картины шумового загрязнения, приведена на рисунке 2.

Частными источниками раздражающего шума являются офисная и бытовая техника, животные, дети, шумные соседи и т.п. Из основных глобальных источников большая часть шумового воздействия – от 54 до 80%, относятся к шумовому воздействию, производимому транспортными средствами (автотранспортом, авиацией, железнодорожным транспортом), так как его действия значительно шире, а физические параметры, характеризующие влияние шума на организм человека, значительно выше.

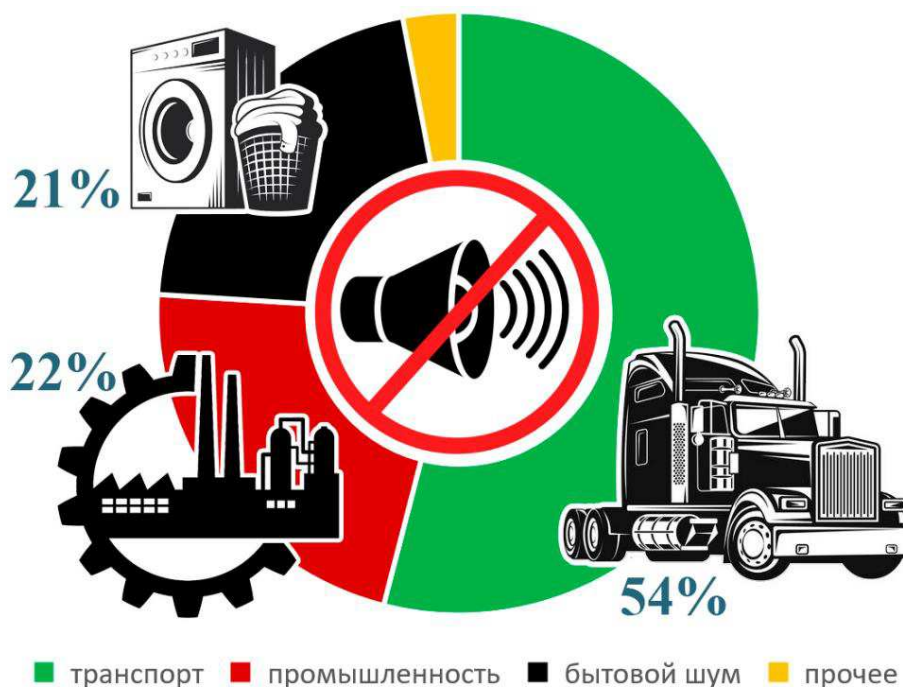


Рисунок 2 – Доля источников звука в шумовом загрязнении городской среды

В современных условиях, когда городские транспортные потоки постоянно увеличиваются, одновременно расширяются и зоны шумового воздействия.

Если в 1997 году максимально допустимые уровни шума на территориях жилой застройки в г. Москва достигали 73 дБА и превышали предельно допустимый уровень (ПДУ) шума в 1,37 раза, то уже в 2007 году они превысили ПДУ более чем в пять с половиной раз, при ПДУ в дневное время 55-60 дБ, и 40-45 дБ в ночное время [2].

На сайте «www.priroda.su» представлена интерактивная карта шумового загрязнения Москвы, созданная компанией Urbica, приводящая сходные данные.

При создании карты специалисты компании провели анализ распространения шума от различных типов объектов. Полученные данные были уточнены в ходе натурных измерений с помощью специально разработанных датчиков.

Карта представлена на рисунках 3 и 4 [3].

При анализе представленных на карте данных подтверждается вывод о том, что главную часть шумового загрязнения окружающей среды для городской застройки формируют транспортные потоки.

Дополнительный вклад вносится строительными работами, что хорошо заметно при рассмотрении карты в большем разрешении (рисунок 4).

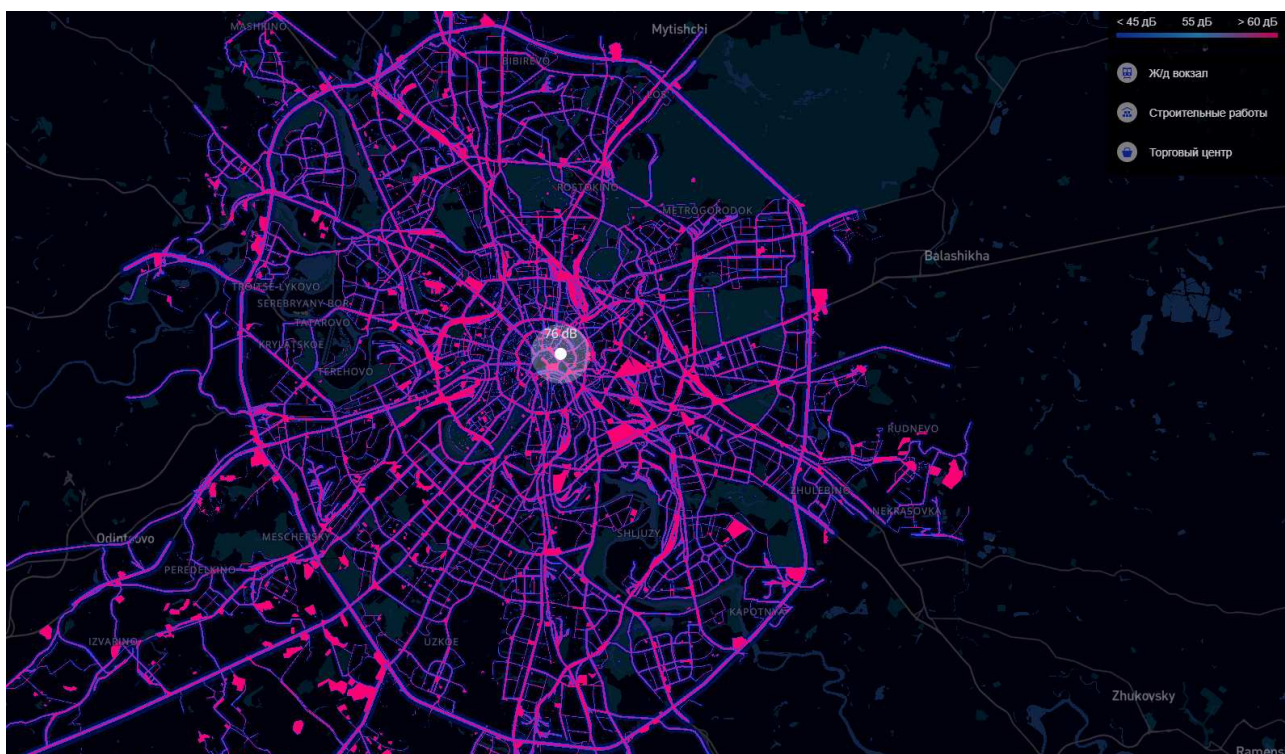


Рисунок 3 – Интерактивная карта шумового загрязнения г. Москва (с сайта www.Priroda.su)

К сожалению, для других населенных пунктов Российской Федерации (в частности для являющегося объектом предлагаемого исследования г. Красноярск) такая карта не разрабатывалась, хотя наличие подобной информационной поддержки позволило бы перейти к более взвешенной и адресной борьбе с негативным влиянием шума на жизнедеятельность человека.

Помимо указанных причин роста шумового воздействия действует и т.н. «человеческий» фактор, который проявляется в том, что в настоящее время в крупных современных мегаполисах уровень шумового загрязнения в жилых районах зачастую оказывается значительно превышен, за счёт ошибок в проектировании городской инфраструктуры, ошибок городского планирования и ошибок при принятии управленческих решений.



Рисунок 4 – Карта шумового загрязнения центра г. Москва (отмечены такие источники шума как ж/д вокзалы, строительные работы, торговые центры, транспортные магистрали)

Сюда относится, например, размещение крупных предприятий в черте города, застройка полосы безопасности аэропортов, приобретение некачественных и недолговечных средств по противодействию шумовому загрязнению окружающей среды, например дешевых шумозащитных экранов, которые быстро выходят из строя и сами начинают создавать потенциальную опасность для жителей города, и т.п.

1.2. Влияние повышенного уровня шума на человека

1.2.1. Общее воздействие шума на человека

В отличие от частных источников шума, глобальные источники шумового загрязнения способны в короткое время вызывать существенные нарушения естественного баланса в экологических системах, и препятствовать естественным процессам жизнедеятельности человека и природных экосистем.

Так, например, рядом ученых-гидробиоников относят случаи потери ориентации в пространстве морскими животными, и их последующее выбрасывание на берег, как результат воздействия на морскую среду шума от работы гидролокаторов (сонаров) морских судов, так как подводное ориентирование многих морских животных основывается на использовании ультразвука (рис. 5), как и работа сонаров.

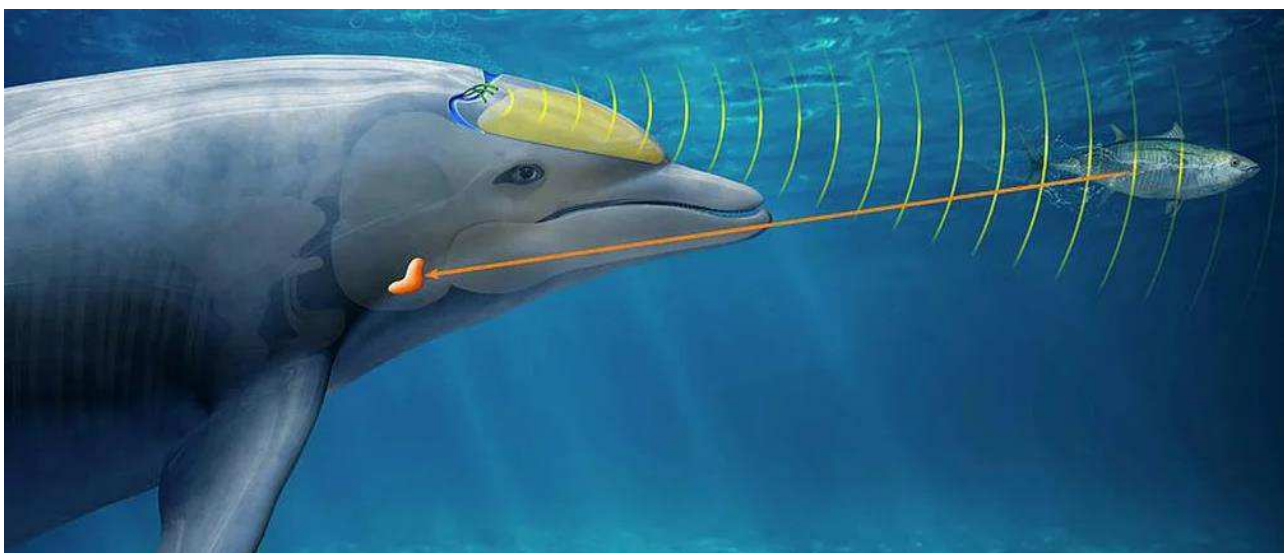


Рисунок 5 – Процесс ориентации морских животных в пространстве

Также достоверно известно, что и у человека при длительном воздействии на него интенсивного шума происходит расстройство нервной и эндокринной систем, развивается сосудистая дистония, нарушается работа желудочно-кишечного тракта, развивается глухота, нарушается функция вестибулярного аппарата. На производстве превышение предельно допустимого уровня шума на рабочих местах является основанием отнесения условий труда к вредному или опасному классу. Безопасный уровень звука для живых организмов

оценивается на уровне 45 дБ. Громкость, которая превышает 80 дБ, уже оказывает крайне отрицательное воздействие на здоровье человека. При этом, постепенно накапливаясь, акустическое воздействие ведет к возникновению ряда заболеваний и недомоганий:

- хроническая усталость;
- неврозы;
- бессонница;
- падение слуховой чувствительности;
- атеросклероз;
- стенокардия;
- сердечная недостаточность.

Кроме того, если постоянно находиться под воздействием шумового загрязнения 100 дБ и выше, гарантирована постоянная потеря слуха. Риск возникновения указанных и других заболеваний высок, поскольку шумовое воздействие носит ярко выраженный накопительный характер. Поэтому реально оценить тот вред, который громкий звук оказывает на некоторый конкретный живой организм можно только по истечении значительного периода времени (около 6 – 10 лет).

Если воздействие громкого звука характеризуется постоянностью, то есть в результате постоянного нахождения поблизости от источника громкого звука, например автотранспорта, или проживания вблизи промышленного предприятия, самочувствие ухудшается уже при громкости не выше 80 дБ.

По интенсивности все звуки распределяются на три большие области. Первая область включает достаточно ограниченное количество источников шума, и распределяется от слухового порога человека до уровня звукового давления 40 дБ. Человеческий звуковой анализатор слабо чувствителен к восприятию звука подобного уровня.

Вторая область занимает от 40 до 80 – 90 дБ звукового давления, и содержит основную массу звуков окружающей среды; повседневное воздействие их приводит к созданию навыков восприятия. В эту область

попадает человеческая речь (от шепота до крика), бытовой и производственный шум, музыка, звуковая сигнализация и т.п. В этой области человек способен к наиболее тщательному определению и анализу всех особенностей звука.

Третья область занимает от 80 – 90 дБ звукового давления до порога болевого ощущения (110 – 130 дБ). Ранее практически не задействованный, в современных условиях повседневной жизнедеятельности человека, и при нынешнем уровне развития техники, этот уровень занимает все больше места в окружающей человека ноосфере. Здесь наблюдаются существенные отличия в деятельности звукового анализатора по сравнению с первой и второй областями.

Важнейшее значение в третьей области получает явление утомления и следовательно фактор временного воздействия источника звука.

Звуковое раздражение человек воспринимает при помощи органов слуха. Звуковой анализатор человека является сложным механизмом, который обладает довольно высокой чувствительностью, способностью выполнять тонкий избирательный анализ и синтез, и определять из массы воспринятых звуков полезные, а также возможностью защищать мозг человека от нежелательных вредных звуков (рисунок 5).



Рисунок 6 – Звуковой анализатор (орган слуха) человека

Чувствительность слуха человека изменяется во время действия шума. В условиях полной тишины чувствительность повышается, под влиянием шумового воздействия – падает. Такая временная перенастройка способности звукового анализатора, выражающаяся в изменении порога слышимости, определяется как адаптация слуха.

Временное незначительное снижение порога слышимости является полезной реакцией организма для адаптации его к условиям внешней среды и выполняет защитную функцию против сильного и продолжительного шума. Но если воздействие шума осуществляется в течение длительного времени, то это ведет к патологии органа слуха, которое характеризуется его утомлением и не только более сильным падением порога слышимости, но и более длительному обратному восстановлению.

Утомление человека наступает при чрезмерном раздражении звукового анализатора, является длительным процессом, и в отличие от адаптации, которая наоборот, способствует сохранению работоспособности, всегда снижает работоспособность анализатора; при частых и долгих значительных раздражениях и в случае малого отдыха, наступают явные явления падения функциональных возможностей, и вырисовывается картина шумовой (звуковой) травмы. Примером является влияние производственного шума на рабочих.

Предельный уровень шума, на котором орган слуха у человека не испытывает повреждений, определяется на производстве в 85 – 90 дБ. Под воздействием шума высокой интенсивности, превышающего этот уровень, в органе слуха появляются явления утомления, а впоследствии эти явления могут перейти в тугоухость и глухоту, проявляемые через несколько лет.

Человек подвержен действию шума такого же высокого уровня и в повседневной жизни. В результате постоянного длительного действия шума в условиях городской застройки может проявляться хроническое расстройство функции слуха. Действие шума на организм человека проявляется в этом случае в трех главных направлениях:

- 1) воздействие шума на орган слуха;
- 2) воздействие шума на функции отдельных органов и систем (сердечнососудистая, пищеварительная, эндокринная, мышечная системы, вестибулярный аппарат, обменные процессы, кроветворение и т. д.);
- 3) воздействие шума на организм человека в целом, в частности на высшую нервную деятельность и вегетативную реактивность.

В целом раздражающее действие шума определяется его физическими свойствами. Так, менее раздражающим и утомляющим является шум со сплошным спектром, по сравнению с шумом, содержащим отдельные тональные составляющие. В то же время шум с высокочастотными компонентами более раздражающий, чем с низкочастотными. Наиболее неприятен шум, изменяющийся по частотам и уровням давления.

В отношении шумов малой интенсивности (до 60 дБ) большое значение имеет психологическая сторона проблемы. Так, например, даже значительный шум, который появляется в результате действий самого человека, менее беспокоит его, чем небольшой шум, от какого-либо внешнего источника.

Относительно шума высокого уровня, в ходе ряда исследований [2] определено, что наиболее быстро нарушения под его влиянием развиваются со стороны центральной нервной системы, а поражения органа слуха возникают значительно позже (не ранее чем через 6 – 7 лет).

Исследования показали [2], что в условиях производства связанного с шумом и вибрацией, у рабочих выявляются резкие значительные сдвиги биоэлектрической активности в коре головного мозга. Это снижает активность их нервных процессов и тормозит возбудимость, с образованием застойных очагов возбуждения в двигательной и акустической зонах коры. Выявлялись также нарушения взаимосвязи между подкоркой и корой головного мозга.

Скорость реакции описывает состояние центральной нервной системы. В ответ на звуковые и световые сигналы при уровне шума более 80 дБ выявлено значительное удлинение времени условной двигательной реакции. Учитывая, что для человека скорость его реакции, характеризующаяся временем, которое

необходимо, чтобы полученная и осознанная информация вызвала моторное действие, чрезвычайно важна, (а на производстве даже жизненно важна), актуальность этой проблемы не вызывает сомнения.

Таким образом, вопрос снижения интенсивности бытового и промышленного шума напрямую связан с производительностью труда и безопасностью производства, и, следовательно, имеет чрезвычайно большое экономическое значение, что и определяет актуальность данной работы. Падение производительности труда в ряде отраслей промышленности, где технологические процессы связаны с возникновением шума, отмечается в работах таких исследователей этого вопроса как Скворцов А.Н., Суворов Г.А., Волчек О.Д., Синева Е.Л., Устюшин Б.В., Шубин И.Л. [4, 6, 8, 9, 12, 13, 15]. Происходит это из-за снижения внимания и повышения времени реакций на событие. При этом производительность труда падает не только в количественном, но и в качественном отношении. По данным ряда исследователей [10, 14] производительность труда под воздействием шума может понизиться до 60%. При снижении шума наблюдается обратная реакция, общая производительность труда повышается, падают непроизводственные затраты, а также снижается заболеваемость сотрудников.

Известно, что при значительной интенсивности шум вызывает изменение ряда вегетативных реакций организма, важнейшей из которых является функция кровообращения. Эти изменения выявляются уже при шуме в 60 – 70 дБ и становятся тем сильнее, чем выше уровень шума. При этом важное значение имеет ширина полосы шума. В ряде исследований [10, 11, 12] также отражено действие шума на сердечно-сосудистую систему даже тогда, когда измерения частоты пульса, электрокардиограммы и кровяного давления не выявляли изменений. Также исследования влияния шума на пищеварительную систему, почки, селезенку и другие органы показали значительное неблагоприятное воздействие шума и на их функциональное состояние.

Отсюда следует, что шум вызывает реакцию всего организма в целом. Нарушения, происходящие в органах и системах человека под воздействием

шума, зависят от его уровня, распределения по частотам, продолжительности воздействия, а также и от индивидуальных характеристик и особенностей организма конкретного человека или животного. Интенсивные высокочастотные шумы приводят к быстрому развитию патологического состояния. Эту патологическую картину, проявляющуюся под влиянием шума, определяют как «шумовую болезнь» [1, 11].

Начиная с того момента, когда впервые исследователи обратили серьезное внимание на такое явление как шум и его влияние на живые организмы, и до недавнего времени, каждая отрасль науки действовала при изучении этого явления обособлено. Так биологи исследовали биологическое действие звука, ориентируясь на его экологическое значение, физиологи рассматривали механизм звукового воспроизведения, врачи занимались лечением патологий органов слуха. Однако с быстрым ростом мощности звукового воздействия был выявлен комплексный характер действия шума. Сегодня человек оказался под влиянием звука такой мощности, которая во много раз превышает ту, на фоне которой протекала вся предшествующая история существования живого мира.

Это ведет к глубоким патологическим процессам, будущий результат которых на дальнюю перспективу практически невозможно предсказать, в связи со слабой изученностью этого явления. Следовательно, возникла необходимость более глубокого исследования механизма биологического действия звуковой энергии, прежде всего смешанного спектра частот, как наиболее опасного. Мы говорим, о прямом действии звуковых колебаний на клетки и ткани организма, минуя специализированный орган слуха, как и в том случае, когда исследуется явление вибрации. При этом звуковые колебания продолжают свое воздействие на организм и в том случае, когда орган слуха не функционирует.

Сведения Всемирной организации здравоохранения (ВОЗ) о числе профессиональных заболеваний рабочих предприятий с повышенной интенсивностью шума, к сожалению, касаются лишь утраты слуха, жалоб на

головные боли, невроз и др. Это результат действия шума на рецепторы, но есть и прямое действие звука помимо рецепторов.

В 2009 году Европейское региональное бюро ВОЗ опубликовало брошюру «Night noi seguidelines for Europe» («Руководство по проблемам ночного шума для стран Европы») [4], в которой были представлены последние данные о том вреде для здоровья людей, который может быть связан с воздействием ночного шума, а также рекомендации по его предельно допустимым уровням.

Согласно предлагаемым стандартам, ежегодный усредненный уровень ночного шума не должен превышать 40 децибел (дБ), что соответствует уровню шума на тихой улице в жилых кварталах. Даже незначительно более высокие уровни шума способны вызывать легкие расстройства здоровья, например в виде нарушений сна.

Длительное среднее воздействие шума, превышающего всего лишь 55 дБ, что соответствует уровню шума на оживленной городской улице, может стать причиной повышения артериального давления и нарушений деятельности сердца. Отмечалось, что каждый пятый житель Европы регулярно подвергается слишком высокому уровню шума.

Среди других исследований, связанных с влиянием шума на организм, главное место занимают работы по влиянию звука на кровообращение и центральную нервную систему (Е. М. Качанов, Г. М. Вермель, Т. П. Бессараб, В. А. Кирьянов и др.) [16-20].

Пока нет опубликованных сводок по исследованиям прямого воздействия механических колебаний инфра- и звукового диапазона частот на организм человека. Поэтому можно ограничиться лишь ссылкой на отдельные исследования, иллюстрирующие эффект биологического действия этого вида энергии. Известно, что действие мощных звуков на организм может привести к смерти. Исследователи, занимавшиеся данным вопросом, полагают, что гибель животных, подвергавшихся сильному звуковому воздействию (около 160 дБ) вызвана температурой, которая достигается в этом случае. Звуковая энергия, поглощенная поверхностью тела живого организма, превращается в тепло,

которое в случае превышения некоторого порогового значения и вызывает летальный синдром [5, 11]. Отмечается, что при достижении частоты 3000 Гц смерть наступает в течение 8 – 9 мин. Можно предположить, что данная частота является резонансной, и при ее достижении амплитуда и кавитация резко растут.

О прямом действии звука свидетельствуют опыты исследования микрофонного потенциала внутреннего уха (кохлеарного нерва) на наркотизированных животных. Было установлено видовое различие чувствительности ганглиозных клеток к интенсивности звука. Поскольку подопытные животные были наркотизированы, то, как надо полагать, действие звука воспринималось не рецепторами, а непосредственно ганглиозными клетками.

Известно, что звук интенсивностью 94 дБ подавляет экспериментально вызванный лейкоцитоз животных [6, 13]. Из результатов этого исследования получается, что звук проникает сквозь все ткани организма, вызывая в них функциональные и структурные изменения. Если при этом учесть, что каждая клеточная структура (нервы, мышцы, кожа), и каждая функциональная система (кровеносная, мозговая и пр.) имеют исключительно особенную чувствительность к звуковым воздействиям, то становится очевидной причина того разнообразия форм патологий, которые может вызвать воздействие на организм звук или вибрация.

К сожалению, еще не известна степень чувствительности клеток, несвязанных с органами слуха, к звуку и вибрации; таких исследований просто не проводилось. Между тем отсутствие информации по данному вопросу затрудняет полное понимание механизма биологического воздействия звука и вибрации, и следовательно усложняется процесс выработки рекомендации по эффективному противодействию этому явлению, купированию негативных последствий, а в идеале – использованию его в интересах лечения ряда заболеваний, на сегодняшний день неизлечимых.

В ряде исследований отмечается, что при длительном нахождении в помещении с монотонным равномерным шумом, не превосходящим определенного допустимого уровня, человек адаптируется к нему и перестает его слышать, до того момента, пока не происходит изменение тона или уровня звука.

Это явление хорошо знакомо людям, работающим на объектах, где размещается энергетическое оборудование, например, проходящим службу на судах морякам.

Вредное воздействие на здоровье человека, как показали исследования, могут оказать также и неслышимые звуки. Длина инфразвуковой волны весьма велика (на частоте 3,5 Гц равна 100 метрам), проникновение в ткани тела также велико. Иначе говоря, инфразвук воздействует не только на органы слуха, а через них на мозг, но и сразу на все тело человека.

Особое влияние инфразвуки оказывают на психическую сферу человека: поражаются все виды мыслительной деятельности, портится настроение, частовозникает ощущение тревоги и растерянности, а при высокой интенсивности – чувство слабости, как после сильного нервного потрясения.

Звук малой интенсивности вызывает тошноту и звон в ушах, а также ухудшение зрения и безотчетный страх. Звук средней интенсивности воздействует на органы пищеварения и мозг, вызывая паралич конечностей, общую слабость, а иногда даже слепоту. Мощный инфразвук способен повредить и даже полностью остановить сердце. Подобные испытания проводились в начале 1950-х годов, в частности исследователь Владимир Гавро (Франция, Марсель), изучавший влияние инфразвука на организм человека, определил, что при колебаниях порядка 6 Гц у подопытных добровольцев возникло ощущение усталости, потом беспокойства, переходящего в безотчетный ужас. Открытие Гавро, по сути, дало толчок развитию того, что сейчас называют звуковым (или – инфразвуковым) оружием. Данная тема не является предметом рассмотрения в предлагаемой работе, более подробно она освещена в [7].

Даже слабые инфразвуки могут оказывать на человека существенное воздействие, в особенности, если они носят длительный характер. По мнению ученых, именно инфразвуками, беспрепятственно проходящим сквозь стенызданий, вызываются многие нервные и психические заболевания жителей крупных мегаполисов.

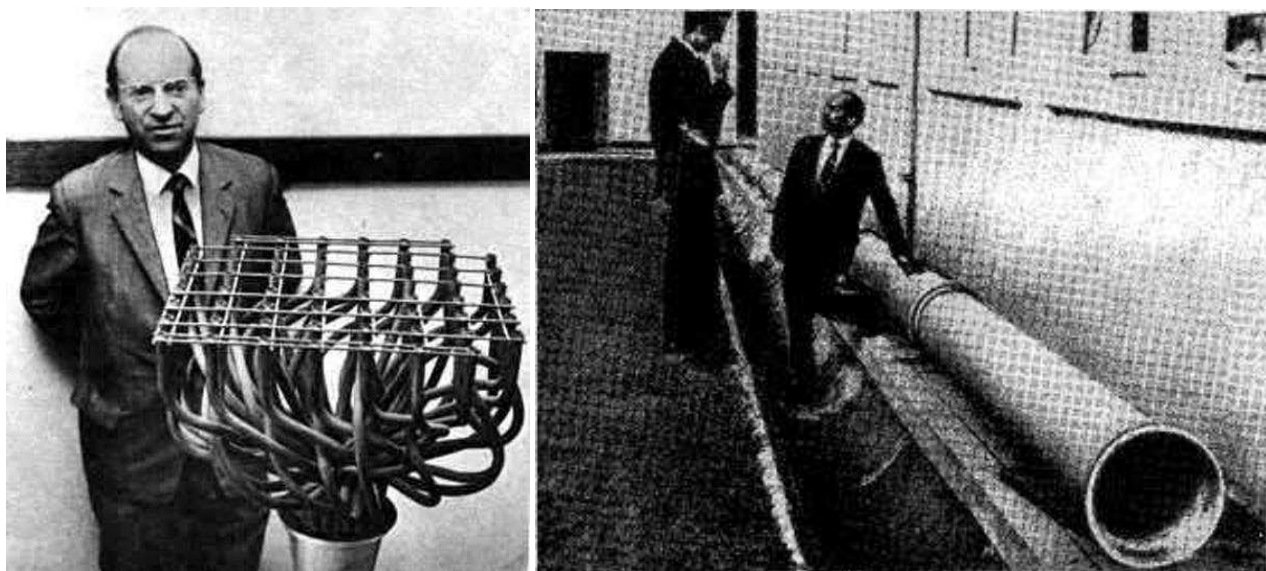


Рисунок 7 – Владимир Гавро и его звуковой излучатель (Франция, г. Марсель)

С подобными явлениями иногда сталкиваются пассажиры самолетов, ощущая состояние недомогания и беспокойства, одной из причин которых является инфразвук. Кроме того, инфразвуки способны вызывать у некоторых людей приступы морской болезни.

Ультразвуки, также занимают достаточно заметное место в группе производственных шумов, и также опасны. Механизмы их действия на живые организмы крайне многообразны. Особенно сильно их отрицательному воздействию подвержены клетки нервной системы.

Таким образом, неконтролируемое звуковое или шумовое воздействие на организм человека, способно привести как общему ухудшению его состояния и падению работоспособности, так и к серьезным патологиям, вплоть до летального исхода. Тем самым подтверждается актуальность задачи борьбы с шумом в условиях городской застройки.

1.2.2. Нормирование воздействия шума на человека

Таким образом, вибрация и звук при определенных условиях являются биологически опасным фактором, угрожающим целостности организма. Эта опасность для человека стремительно возрастает в связи с развитием техники, так как увеличивается интенсивность сопутствующих факторов, при действии которых и вибрация, и шум становятся особенно опасными. Речь идет о температуре окружающей среды, степени загрязнения атмосферы, радиации, магнитных полях и др. Следует иметь в виду и то, что наряду с физическими факторами в патогенезе вибрационной болезни важнейшую роль играет фактор социальный: моральная обстановка в трудовом коллективе, интерес к профессии, материальные условия жизни и др. Именно в силу своей массовости, в силу этих сопутствующих факторов новая нозологическая единица болезни, порожденная техническим прогрессом, — вибрационная болезнь — теперь стала предметом исследований медиков всех стран мира, ученых различных областей науки: физиологов, биофизиков, математиков и, как мы уже подчеркивали, социологов; эта проблема в наше время приобрела важнейшее социальное значение.

При установлении нормативов шума в большинстве случаев приходится ориентироваться не на оптимальные условия существования человека, а на допустимые, когда вред от воздействия шума либо не проявляется, либо проявляется незначительно. При этом большое значение имеют и особенности современной экономики и промышленности.

Для защиты населения от шума главное значение имеют санитарно-гигиенические нормативы допустимых уровней шума, поскольку они определяют необходимость разработки тех или иных мер по шумозащите в городах. Цель гигиенического нормирования — профилактика функциональных расстройств и заболеваний, развития чрезмерного утомления и снижения трудоспособности населения при кратковременном или продолжительном действии шума в окружающей среде. В зависимости от своего назначения помещения зданий и селитебные территории должны быть

соответственно защищены от шума. Степень защиты от шума, в первую очередь определяется нормами допустимого шума для помещения или территории данного назначения. Проникающие в помещения или на территорию шумов от любых источников не должны превышать нормативных величин.

Такие нормы устанавливаются в действующих СНиП, стандартах или санитарных нормах. Нормируемыми параметрами постоянного шума в расчетных точках являются уровни звукового давления L , дБ, в октавных полосах частот со среднегеометрическими частотами 63, 125, 250, 500, 1000, 2000, 4000 и 8000 Гц. Для ориентировочных расчетов допускается использовать уровни звука L_A , дБА. Нормируемыми параметрами непостоянного шума в расчетных точках являются эквивалентные уровни звука, $L_{Aэкв}$, дБА, и максимальные уровни звука L_{Amax} , дБА. [1].

Нормативы шума в жилых зданиях представлены на рисунке 8.

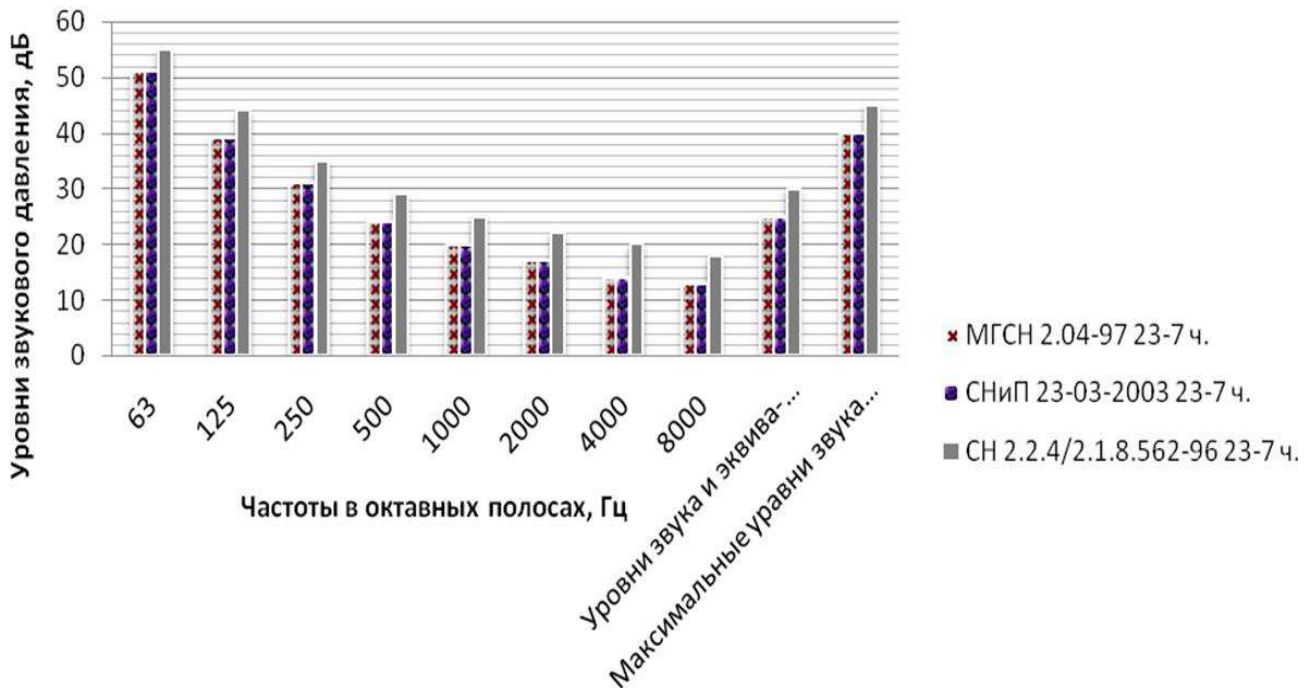


Рисунок 8 – Нормирование шума в жилых зданиях

Российское законодательство в сфере регулирования шумового загрязнения окружающей среды сформировано на основании следующего ряда документов:

- Федеральный Закон № 52 от 30 марта 1999 года (указана недопустимость нанесения вреда человеку шумовым воздействием);
- государственные стандарты (2337-2014, 12.1.003-2014, 17187);
- санитарно-эпидемиологические правила и нормы (2.2.4/2.1.8.562/96, 2.1.2.2645-10).

Также на территории Российской Федерации действуют:

- ГОСТ Р ИСО 9612-2013 Акустика. Измерения шума для оценки его воздействия на человека. Метод измерений на рабочих местах;
- ГОСТ 17187-2010 Шумомеры. Часть 1. Технические требования;
- ГОСТ 30691-2001 (ИСО 4871:1996) Шум машин. Заявление и контроль значений шумовых характеристик;
- ГОСТ 31171-2003 (ИСО 11200:1995) Шум машин. Руководство по выбору метода определения уровней звукового давления излучения на рабочем месте и в других контрольных точках;
- ГОСТ 31252-2004 (ИСО 3740:2000) Шум машин. Руководство по выбору метода определения уровней звуковой мощности;
- Руководство 2.2.4/2.1.8.000-95 «Гигиеническая оценка физических факторов производственной и окружающей среды».

Нормативы ультразвукового воздействия установлены ГОСТ 12.1.001-83. Допустимые L на РМ даны для 1/3 октавных полос в диапазоне f 1,25...100 кГц и составляют 80...110 дБ. При контактном действии ультразвука его уровень не должен превышать 110 дБ. ГОСТом также предусмотрены изменения ПДУ ультразвука при суммарном сокращении времени его воздействия (на 6 дБ при времени воздействия 1...4 часа в смену и 24 дБ при времени воздействия 1...5 мин).

Сейчас в России уровень шума ограничивают 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», которые разработаны

Научно-исследовательским институтом медицины труда Российской Академии наук и Московским НИИ гигиены им. Ф.Ф. Эрисмана.

Данный нормативный документ является основным из ряда документов, регламентирующих уровень шума в производственных и жилых помещениях.

Он состоит из шести разделов и включает в себя:

1. Область применения и общие положения;
2. Нормативные ссылки;
3. Термины и определения;
4. Классификацию шумов, воздействующих на человека;
5. Нормируемые параметры и предельно допустимые уровни шума на рабочих местах;
6. Нормируемые параметры и допустимые уровни шума в помещениях жилых, общественных зданий и территории жилой застройки.

В первом разделе ограничивается область применения настоящих санитарных правил. Ответственность за выполнение требований Санитарных норм возлагается на руководителей и должностных лиц предприятий, учреждений и организаций, а также граждан. Контроль над выполнением Санитарных норм осуществляется органами и учреждениями Госсанэпиднадзора России в соответствии с Законом РСФСР «О санитарно-эпидемиологическом благополучии населения» от 30.03.1999 и с учетом требований действующих санитарных правил и норм.

В разделе «Нормативные ссылки» приводятся законы и постановления, в соответствии с которыми действуют данные санитарные нормы. Это:

- Закон РСФСР «О санитарно-эпидемиологическом благополучии населения» от 30.03.1999;
- Закон Российской Федерации «Об охране окружающей природной среды» от 10.01.2002;
- Закон Российской Федерации «О защите прав потребителей» от 24.04.2020;

В разделе «Термины и определения» приводятся определения основных

терминов, таких как: звуковое давление, эквивалентный (по энергии) уровень звука, предельно допустимый уровень шума, допустимый уровень шума и максимальный уровень звука.

В четвертом разделе «Санитарных норм» приводится классификация шумов, воздействующих на человека. В соответствии с данной классификацией по характеру спектра шума выделяют широкополосный шум и тональный шум. По временным характеристикам выделяют постоянный и непостоянный шум. Непостоянные шумы в свою очередь подразделяются на колеблющийся во времени шум, прерывистый шум и импульсный шум.

Основными разделами данного документа являются пятый и шестой. В пятом разделе регламентируются «Нормируемые параметры и предельно допустимые уровни шума на рабочих местах». В соответствии с данным разделом санитарных норм устанавливаются следующие значения параметров и предельно допустимых уровней шума (таблица 4).

Таблица 4 – ПДУ звука и эквивалентные уровни звука (в дБА)

Категория напряженности трудового процесса	Категория тяжести трудового процесса				
	легкая нагрузка	средняя нагрузка	тяжелый труд 1 ст.	тяжелый труд 2 ст.	тяжелый труд 3 ст.
Напряженность легкой степени	80	80	75	75	75
Напряженность средней степени	70	70	65	65	65
Напряженный труд 1 степени	60	60	-	-	-
Напряженный труд 2 степени	50	50	-	-	-

В шестом разделе санитарных норм приведены «Нормируемые параметры и допустимые уровни шума в помещениях жилых, общественных зданий и на территории жилой застройки». Пример таких норм и параметров приведен в Приложении.

1.3. Выводы

На основании сказанного можно отметить:

1. В настоящее время человек сталкивается с таким уровнем звукового воздействия на его организм, которого ранее не существовало.
2. Источником этого воздействия является деятельность человека, т.е. рассматриваемый как шумовое загрязнение звук имеет антропогенный характер возникновения.
3. Уровень данного воздействия на человека продолжает постоянно расти, при этом антропогенный характер рассматриваемого шумового загрязнения окружающей среды затрудняет адаптацию к нему живых организмов (в том числе и самого человека), так как звук достигает таких частот и уровней, которые не встречаются в живой природе.
4. Воздействие повышенного шума на организм человека ведет к появлению таких проблем, как:
 - усталость;
 - неврозы;
 - бессонница;
 - снижение слуховой чувствительности;
 - атеросклероз;
 - стенокардия;
 - сердечная недостаточность.

Резкий рост уровня шумового загрязнения окружающей среды связан с началом промышленной революции, т.е. имеет непродолжительную историю, поэтому заранее невозможно предсказать какие еще проблемы со здоровьем последующих поколений вызовет это явление.

5. В городской среде основным источником шумового загрязнения является транспорт – 60-80%. Также значительную опасность представляет шум на рабочем месте, воздействующий на работающих.

комплексов, рост транспортного трафика на улицах и магистралях, и превращение г. Красноярск в мощный логистический узел, объединяющий воздушный, речной, железнодорожный и автотранспорт.

Сложившаяся в г. Красноярск дорожно-уличная сеть дает мало возможность скоростного передвижения автотранспорта вследствие недостаточной ширины проезжей части и ее состояния, слишком часто расположенных перекрестков, пересечения различных транспортных потоков и наличия разнородных видов транспорта. Исключение составляют улица 60 лет октября, Семафорная ул., проспект им. Газеты Красноярский Рабочий. Сложное пересечение транспортных потоков находится на перекрестках Семафорной и Свердловской улиц, а также улиц Авиаторов и Белинского. Сложная дорожная развязка в этих районах приводит к образованию значительных автомобильных пробок. Все это способствует значительному росту уровня воздействия от транспортного шума. При этом продолжительность его воздействия на окружающую среду может достигать около 20 часов в сутки.

К сожалению, шумовая карта г. Красноярск (аналогичная приведенной на рисунках 3 и 4 карте г. Москва) не разрабатывалась, однако по отдельным статистическим данным [21] можно сделать вывод, что уровень городского шума для Красноярска возрастает в среднем на 1 дБА в год, при том, что данная тенденция имеет все шансы на сохранение в ближайшие годы.

Общая классификация средств и методов защиты от шума приведена в ГОСТ 12.1.029–80 «ССБТ. Средства и методы защиты от шума. Классификация». Стандарт распространяется на средства и методы защиты от шума, применяемые на рабочих местах производственных и вспомогательных помещений, на территории промышленных предприятий, в помещениях жилых и общественных зданий. Основные направления снижения шумового загрязнения жилой застройки, характерные и для г. Красноярск, включают:

- снижение шума в его источнике;
- снижение шума на самом объекте защиты;
- снижение шума на пути его распространения в окружающей среде.

2.2. Современные методы шумозащиты.

2.2.1. Снижение шума в его источнике.

Подробное исследование методов снижения шума в источнике, то есть непосредственно того шума, который производит автотранспорт, городская промышленная зона и бытовая техника не входит в задачу этой работы. Можно отметить следующие методы, применяемые для решения этой проблемы:

1. Технические:

- использование глушителей звука различной конструкции;
- использование амортизации;
- использование шумопоглощающих покрытий;

2. Организационно-законодательные:

- постепенный вывод шумных и загрязняющих окружающую среду предприятий и транспортных узлов за пределы городской застройки;
- продуманная организация дорожного движения, в максимальной степени исключая появление транспортных пробок, использования звуковой сигнализации, транзитного движения через жилую застройку большегрузного транспорта;
- использование в производстве малошумных технологических процессов (модернизация технологии производства);
- использование малошумной техники, изменение конструктивных элементов техники, ее сборочных единиц;
- модернизация технологии ремонта и обслуживания техники;
- использование рациональных режимов труда и отдыха работников;
- контроль за соблюдением физическими и юридическими лицами режима тишины в вечернее и ночное время;
- выделение для проведения шумных общественно-культурных мероприятий площадок, расположенных вне жилой застройки.

Доля, занимаемая методами снижения шума в источнике в формировании общей системы шумоподавления, составляет около 20%.

Для г. Красноярск представляется чрезвычайно важным разгрузить центральную часть города от промышленных предприятий и соответственно от транспортных потоков. Всего в черте городской застройки Красноярска сегодня расположено около 1700 крупных и средних промышленных предприятий, в центральной части города из их числа располагается около 1500 предприятий. В результате, не смотря на запрет транзитного движения через город большегрузных автомобилей, продолжается завоз сырья и вывоз готовой продукции с применением транспортных фур. Этот процесс носит объективный характер, так как иначе обеспечить функционирование такого количества предприятий невозможно. Вопрос обеспечения доставки рабочего персонала на работу и с работы в случае вывода предприятий промышленности за городскую черту, будет сравнительно легко решить путем запуска дополнительных маршрутов общественного транспорта, в том числе электрического, так как произойдет разгрузка основных городских транспортных магистралей, и использования возможностей речного трафика. Также необходима достройка законсервированного Красноярского метрополитена (постройка начата в 60-е годы XX века, неоднократно прекращалась). В настоящее время (2020 год) на первой линии метрополитена предлагается строительство девяти станций.

В случае запуска метрополитена в зоне пешей доступности будет проживать 586 тысяч человек. Предполагается, что среднесуточная посадка пассажиров на линии составит в 2022 году 377,5 тысячи пассажиров в сутки, а на всей системе метрополитена — 575,9 тысячи, количество внутрисетевых пересадок составит 62,8 тысячи пассажиров в сутки при объёме перевозок в 250,2 миллиона пассажиров в год. Среднесуточная посадка пассажиров на линии составит в 2032 году 394,1 тысячи пассажиров в сутки, а на всей системе метрополитена — 1052,2 тысячи; количество внутрисетевых пересадок составит 191,4 тысячи пассажиров в сутки при объёме перевозок в 379,2 миллиона пассажиров в год. Длина первой линии составит 13,38 км в двухпутном исчислении.

2.2.2. Снижение шума на объекте защиты.

Данное направление предполагает использование в застройке проектов шумозащищенных зданий, а также применение специальных приемов застройки. Что касается самих зданий, действующие нормативные документы предлагают различные приемы и методы снижения шума на объектах защиты – в жилых зданиях и общественных сооружениях – за счет формирования специальных планировочных защищенных от шума структур.

При проектировании защищенных от шума жилых домов (общественных зданий) снижение шума на самом объекте защиты может быть достигнуто:

- путем применения приемов проектирования зданий, обеспечивающих ориентацию на магистральные путепроводы в максимальной степени подсобных помещений квартир, коммуникаций домов и нежилых помещений, а также ограничивающих направление в ожидаемую сторону распространения транспортного шума жилых помещений (в зависимости от типов квартир);
- применения конструктивных средств защиты с повышенными звукоизолирующими свойствами ограждающих конструкций, особенно окон и внешних или балконных дверей, облицовки здания специальными покрытиями;
- применения технических средств защиты, в том числе глушителей и иных технических защитных устройств для снижения уровня шума при обслуживании технических средств, располагающихся непосредственно в самих квартирах.

Непосредственно в зданиях и помещениях борьба с шумом включает:

- устранение шумового воздействия в источнике его возникновения;
- звукопоглощение и звукоизоляция;
- применение архитектурно-планировочных решений.

Под архитектурно-планировочными решениями понимаем использование нежилых и защищенных зданий-экранов, использование зеленых насаждений, конструктивное удаление защищаемых помещений от источника шума,

применение шумозащитных ограждающих конструктивных элементов.

При проектировании жилой застройки снизить уровень ожидаемого шумового воздействия возможно при эффективном использовании перепада элементов рельефа местности. Также и сам конструкционный план дома должен обеспечить защиту от шума спальных помещений. Здесь можно использовать галерейные или секционные дома, с ориентацией в сторону расположения ожидаемого источника шума лестничных маршей или иных нежилых помещений. Основным вариантом проектирования шумозащищенных жилых зданий является применение П-образной формы с удлинением боковых частей более 30 метров. Для квартир предусматривается размещение спальных и комнат отдыха с их ориентацией во внутренние дворы; на сторону расположения основных путепроводов (проспектов, магистралей) ориентируются подсобные помещения квартир, лестничные узлы и пр.

При застройке новых районов г. Красноярска одним из основных экологических требований является применение проектов шумозащищенных зданий. Особенно это важно при застройке улиц, с уровнем шума от транспортных потоков у фасадов зданий 55 дБ и выше, а в жилых помещениях 40 дБ в дневное время и 30 дБ — в ночное. Пример подобной застройки г. Красноярск представлен на рисунке 10.



Рисунок 10 – Шумозащищенное здание (г. Красноярск, ул. Михаила Годенко, д. 7)

Дополнительным эффектом от применения подобных проектов зданий является создание в их звуковой тени защищенных от шума зон, где предполагается размещение детских садов, спортивных площадок и пр. В связи с этим шумозащищенные проекты зданий имеют 9, 12, 16 и 22 этажа, чтобы зона акустической тени была больше. Дополнительный шумозащитный эффект позволяет получить постепенное повышение этажности жилой застройки по мере удаления от магистрали. Так представленное на рис. 10 шумозащищенное здание, находящееся по адресу: г. Красноярск, ул. Михаила Годенко, д. 7, перекрывает находящееся в его акустической тени здание роддома №5 от шума со стороны насыщенной транспортом улицы Михаила Годенко.

По отношению к транспортным магистралям приемы застройки первого эшелона классифицируются следующим образом (рисунок 11):

- строчная – здания стоят перпендикулярно или под углом к шумной магистрали;
- периметральная – здания различной протяженности стоят вдоль шумной магистрали;
- свободная – здания стоят без выраженного преобладания указанных выше концепций.

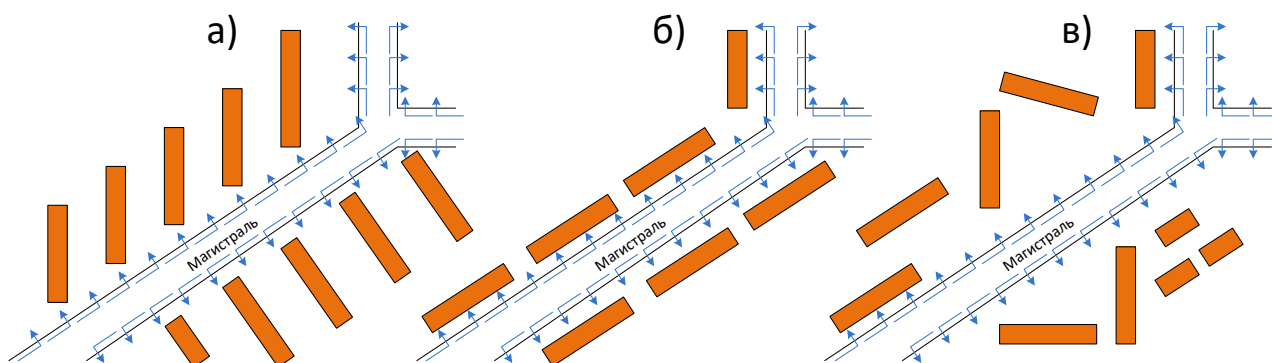


Рисунок 11 – Застройка первого эшелона (стрелки показывают распространение шума)

а – строчная застройка, б – периметральная, в – свободная

При размещении зданий перпендикулярно магистрали шумовое воздействие на его фасады уменьшается всего на 3 дБ по сравнению с воздействием на фасад здания, расположенного параллельно магистрали на том

же расстоянии. Эта картинка практически не изменяется при снижении угла между осью здания и направлением теппровода (до углов 45-30°). Кроме того, такая ориентация здания не позволяет использовать его как экран, и шум свободно распространяется в глубину территории (то есть практически отсутствует акустическая тень). В свою очередь периметральное (параллельное) расположение зданий, очевидно, приводит к максимальной шумовой нагрузке на фасаде, обращенном к теппроводу, но при этом появляется хорошая защищенность второго фасада (шумовая нагрузка снижается более чем на 20 дБА), а также внутриквартальной территории и зданий второго эшелона.

Поскольку стоимость постройки шумозащищенных жилых домов выше, чем обычных, особенно важным становится их рациональное и эффективное использование. Выбор размещения подобных зданий определяется их экранирующими свойствами, которые, в свою очередь, существенно зависят от организации застройки, ее планировочного и композиционного решения. Также в качестве получения дополнительного эффекта от использования подобных зданий нужно отметить, что при использовании принципов проектирования зданий, защищенных от шума, полученная застройка будет защищена и от других неблагоприятных природных воздействий: ветра, пылевой бури, суховея, снежных зарядов и т. п.

Дополнительно нужно отметить и использование средств индивидуальной защиты от шума. В зависимости от конструктивного исполнения эти средства включают:

- противошумные наушники, закрывающие снаружи ушную раковину;
- противошумные вкладыши, закрывающие наружный слуховой проход или прилегающие к нему;
- противошумные шлемы;
- противошумные костюмы.

Доля, занимаемая методами снижения шума в объекте защиты в формировании общей системы шумоподавления, составляет около 35%.

2.2.3. Снижение шума на пути его распространения.

Это решение предполагает использование различного рода защитных экранов, зеленых насаждений, а также и рассмотренных выше шумозащищенных зданий, используемых в качестве экранов для защиты внутренних областей квартала.

Шумозащитные экраны представляют собой конструкции, устанавливаемые в районе расположения источников повышенного шума, например, вдоль крупных автомагистралей, железнодорожных путей, вокруг стадионов, аэродромов и т.п. для снижения уровня шума. Установка экранов позволяет уменьшить шумовое загрязнение окружающей среды на 22 – 26 дБА.

Доля, занимаемая методами снижения шума в источнике в формировании общей системы шумоподавления, составляет около 45%.

Шумозащитные экраны можно классифицировать:

1) По типу защиты от шума:

- звукопоглощающие;
- звукоотражающие;
- комбинированные;

2) По светопрозрачности:

- прозрачные;
- тонированные;
- непрозрачные;
- с прозрачными вставками.

Наиболее актуальным является размещение шумозащитных экранов в густонаселенных районах, где нет возможности отодвинуть источник шума от жилой застройки, либо в тех районах, где застройка сама приближается к опасному источнику шума. В г. Красноярск уже установлены шумозащитные экраны на улице Мичурина, в Покровском, на улице Свердловской, улице Маерчака и Лесопарковой улице. Для установки дополнительных шумозащитных сооружений в бюджете города заложено 14 миллионов рублей.

В документах на формирование звукозащитных зон указано, что размер одной панели, из которой состоят экраны, устанавливаемые в г. Красноярск, составляет в высоту 3 метра

Кроме защиты от шума шумозащитные экраны могут выполнять и выполняют еще ряд важных функций.

Они в определенной мере прикрывают жилую застройку от загрязнения и мусора, которые летят с дороги, защищают от света фар транспортного потока в темное время суток, ограничивают возможность падения транспортных средств с дороги в случае аварии, а также ограничивают видимость с дороги на те объекты городской инфраструктуры, которые необходимо закрыть от обозрения проезжающими с дороги (свалки, промышленные зоны, воинские части и пр.).

Помимо искусственных шумозащитных экранов в этом качестве успешно используются густые зеленые насаждения.

В ряде зарубежных стран (например, в ФРГ, в США, в Япония и других промышленно-развитых государствах) городские власти пользуясь значительной площадью шумозащитных экранов придают им и другие дополнительные функции – например, используют как базу для размещения солнечных батарей и поглотителей некоторых вредных веществ, выделяемых потоком транспортных средств. По отзывам иностранных источников [4] накапливаемой солнечными батареями в течении светового дня энергии хватает для обеспечения освещения дороги в темное время суток.

2.3. Выводы

Таким образом, исходя из проведенного анализа направлений, методов и средств защиты от шума, можно сделать вывод, что основными из них являются средства коллективной защиты, предусматриваемые на всех стадиях производственного процесса: начиная от проектирования и возведения жилой застройки и заканчивая организационными мерами по снижению уровня шума.

Доля, занимаемая каждым из основных методов противодействия шуму в формировании общей системы шумоподавления, приведена на рисунке 13.

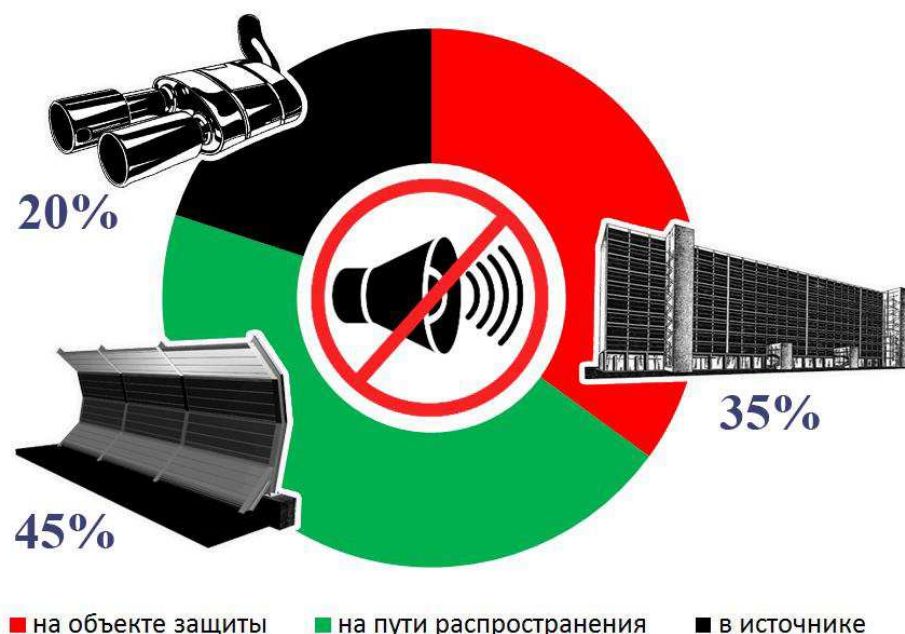


Рисунок 13– Доля методов противодействия шуму в системе шумоподавления

Своевременное и полное применение средств и методов защиты от шума снижает уровень утомляемости людей, уровень травматизма, повышает работоспособность, что положительно сказывается на результатах их деятельности.

При выборе шумозащитных экранов для г. Красноярск необходимо выполнить решение следующих вопросов:

- какой материал лучше использовать для их изготовления;
- на каком расстоянии от жилой застройки лучше всего размещать.

Решению этих вопросов посвящена третья глава работы.

3. СРАВНИТЕЛЬНАЯ ОЦЕНКА ОСНОВНЫХ МЕТОДОВ ШУМОЗАЩИТЫ

3.1. Выбор критериев и параметров эффективности методов шумозащиты

Целью предлагаемой работы является разработка рекомендаций по использованию основных методов шумозащиты для жилой застройки в городе Красноярске. Для выбора конкретных методов по которым будет производиться дальнейшее исследование был произведен их анализ, с оценкой перспективности для использования в города Красноярск. В результате проведенного анализа во второй главе предлагаемой работы анализа указанных методов были сделаны следующие выводы:

1. Для защиты от шума жилой застройки города Красноярск актуальным является применение всех указанных методов, однако степень их исследованности и возможности администрации города влиять на их внедрение распределены неравномерно.

2. Методы защиты в источнике шума не являются предметом рассмотрения данной работы, так как технические решения по их внедрению принимаются не на уровне администрации г. Красноярск, а на уровне производителей транспортных средств и оборудования для промышленных предприятий.

Внедрение этих методов происходит повсеместно в соответствии с действующим законодательством Российской Федерации. Данные положения закреплены в ряде действующих нормативных документах:

- Закон РСФСР «О санитарно-эпидемиологическом благополучии населения» от 30.03.1999;
- санитарно-эпидемиологические правила и нормы 2.1.2.2645-10;
- государственные стандарты (2337-2014, 12.1.003-2014, 17187);
- ГОСТ 30691-2001 (ИСО 4871:1996) Шум машин. Заявление и контроль значений шумовых характеристик;

- Руководство 2.2.2006-05 «Гигиена труда. Руководство по гигиенической оценке факторов рабочей среды и трудового процесса. Критерии и классификация условий труда».
- СН 2.2.4/2.1.8.562-96 «Шум на рабочих местах, в помещениях жилых, общественных зданий и на территории жилой застройки».

3. Методы защиты в объекте достаточно эффективны, однако их применение не требует дополнительных исследований, так как по их применению все основные вопросы уже решены в работах [4, 15, 16, 17, 18].

Решения по внедрению этих методов при застройке города Красноярск уже также приняты, в частности при застройке новых районов города одним из основных экологических требований для получения разрешения на застройку является применение проектов шумозащищенных зданий. Их проектное размещение, с формированием специальных шумозащищенных внутренних кварталов также является одним из действующих требований к городской застройке.

4. Методы защиты на пути распространения шума требуют проведения дополнительных исследований, так как при создании и размещении шумозащитных экранов проектанту предстоит решить оптимизационную задачу по решению следующих вопросов:

- оптимизация размещения экрана по отношению к защищаемой застройке и источнику шума;
- оптимизация размеров экрана;
- оптимизация материала экрана.

Таким образом, дальнейшее исследование будем проводить относительно оптимизации размещения и характеристик шумозащитных экранов.

На ряде улиц города Красноярск уже размещены шумозащитные экраны, однако при этом не выработан ни единый тип конструкции, ни материал, из которого они изготавливаются.

Для проведения исследования воспользуемся методикой, изложенной в [19], а также материалами работ [15, 20, 21].

3.2. Методика сравнительной оценки основных методов шумозащиты

3.2.1. Сравнительная оценка материала экранов

Основной механизм работы шумозащитного экрана связан с процессом отражения шумовых волн. Волна отражается под углом отражения равным углу ее падения, при этом за экраном образуется акустическая тень, которая позволяет разместить там защищаемый здания жилой застройки. Часть шумового поля обтекает границы экрана, при его протяженной конструкции обтекание происходит через верхнюю кромку. Тем самым более высокий экран более эффективен. Для работы экрана характерны следующие эффекты:

- отражение падающей звуковой волны;
- перетекание звука через свободные кромки экрана;
- частичное проникновение звука сквозь экран, ввиду неполной звукоизоляции.

Схема работы шумозащитного экрана представлена на рисунке 14.

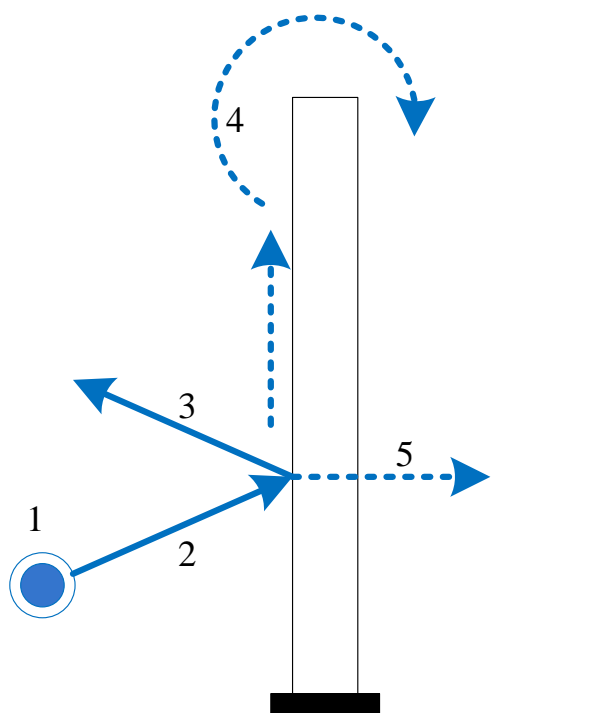


Рисунок 14 – Схема работы шумозащитного экрана

1 – источник шума, 2 – падающая звуковая волна, 3 – отраженная звуковая волна, 4 – обтекающая звуковая волна, 5 – проникающая звуковая волна

Из схемы работы экрана следует, что перетекание звука через верхнюю кромку экрана уменьшается, а, следовательно, эффективность экрана увеличивается при:

- увеличении высоты экрана;
- приближении экрана к источнику шума.

Материал, из которого изготовлен экран влияет на его отражающую и поглощающую способность. Он может быть отражающим (бетон, стеклопластик) или поглощающее-отражающим (звукопоглощающие материалы). Полностью поглощающий экран в настоящее время не существует, однако придание экрану дополнительных поглощающих свойств значительно повышает его защитную эффективность.

Степень улучшения свойств экрана может быть оценена, исходя из такой характеристики как $\alpha_{\text{Э}}$ – коэффициент звукопоглощения, зависящий от частоты звука в октавных полосах со среднегеометрическими частотами. Поглощение или рассеивание энергии акустических колебаний в преграде сопровождается выделением тепла и по теории имеет следующую природу:

- 1) из-за вязкости воздуха, который находится в промежутках материала, под воздействием акустической волны начинается колебание его частиц во внутреннем объеме поглотителя, при этом возникает трение;
- 2) присутствует трение воздуха о материал поглотителя;
- 3) под воздействием акустической волны происходит трение элементов (кристаллов, волокон) поглотителя друг о друга.

Поэтому звукопоглощение наиболее эффективно на средних и высоких частотах. Коэффициенты звукопоглощения материалов $\alpha_{\text{Э}}$ находятся в пределах 0,4 ...1,0. Вычисляется значение этой величины как отношение не поглощенной энергии акустического колебания к полной его энергии. Его значение для некоторых материалов в октавной полосе со среднегеометрической частотой 1000 Гц приводится в таблице 5.

Таблица 5 – Коэффициенты звукопоглощения материалов $\alpha_{Э}$ при 1000 Гц

№	Материал	Коэффициенты звукопоглощения
1.	Плита ДВП	0,6
2.	Лист перфорированный акустический	0,7
3.	Пеностекло	0,4
4.	Стекловолокно	0,78
5.	Фибролит	0,48
6.	Стена бетонная	0,015
7.	Стена деревянная	0,08
8.	Стена кирпичная	0,032
9.	Базальтовое волокно	0,94

В этом случае дополнительный эффект от поглощения энергии акустических колебаний защитным экраном можно оценить как [25]:

$$\Delta_{Э} = 10 * \log(1 - \alpha_{Э}) \text{ дБ}$$

Тогда для различных материалов дополнительная поглощающая способность экрана раскладывается следующим образом (рисунок 15).

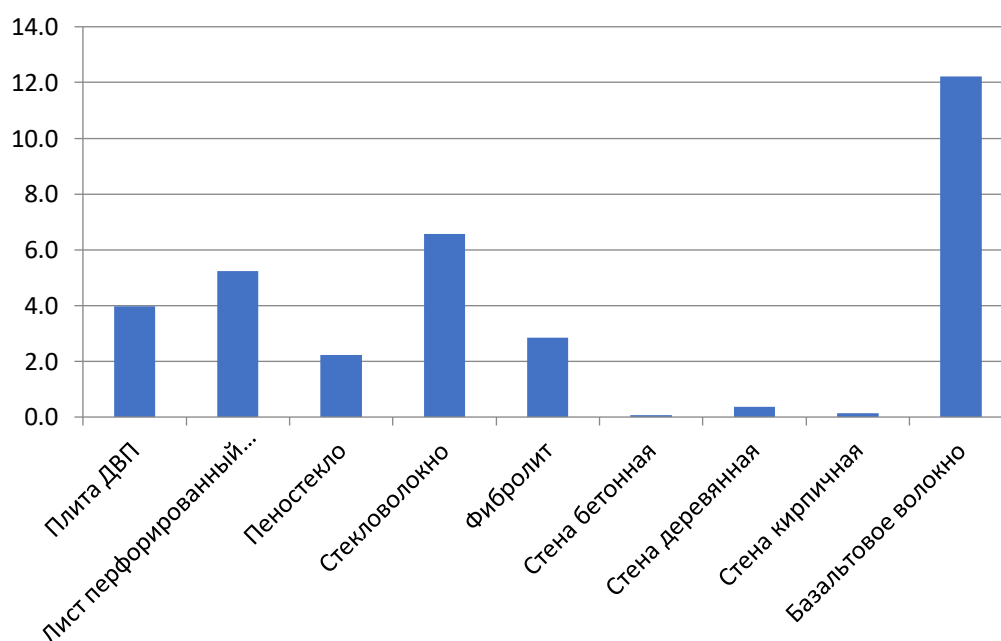


Рисунок 15 – Поглощающая способность материала

Анализ показывает лучшие поглощающие свойства у материалов, имеющих волокнистую структуру. Учитывая стоимость, следует признать, что в качестве одного из элементов звукозащитного экрана наиболее эффективно использовать лист перфорированный акустический или стеклопластик.

Анализируя специальные звукопоглощающие материалы, например плиты марки ПА/С минераловатные акустические, нужно отметить, что все указанные материалы наиболее эффективно работают в октавной полосе частот 1000 Гц.

Произведем расчет акустической облицовки помещения от повышенного выделения шума для помещения, размером $5 \times 10 \times 70$ м. В помещении находится 16 источников шума. Расчетная точка удалена от ближайшего на $r = 2,0$ м.

Объем помещения составит, м^3

$$V = 5 \cdot 10 \cdot 70 = 3500 \quad (2)$$

Площадь ограждающих конструкций помещения будет, м^2

$$S = 2 \cdot 5 \cdot 70 + 2 \cdot 10 \cdot 70 + 2 \cdot 5 \cdot 10 = 2200 \quad (3)$$

Максимальное звукопоглощение достигается при облицовке не менее 60% общей площади ограждающих поверхностей помещения, м^2

$$S_{\text{обл}} = 0,6 \cdot 2200 = 1320 \quad (4)$$

Определим предельный радиус зоны отраженного звука, м

$$r_{\text{пр}} = 0,2 \sqrt{\frac{1050}{16}} = 1,6 \quad (5)$$

где B_{8000} – постоянная помещения на частоте 8000 Гц, м^2 :

$$B_{8000} = B_{1000} \cdot \mu_{8000} = 175 \cdot 6 = 1050 \quad (6)$$

Здесь значения V_{1000} и μ_{8000} получены из [21]

$$V_{1000} = \frac{V}{20} = \frac{3500}{20} = 175, \quad \mu_{8000} = 6 \quad (7)$$

Принимаем, что расчетная точка должна находиться на расстоянии большем предельного от ближайшего источника шума, т. е. в зоне отраженного звука. По результатам натурных измерений имеем уровни звукового давления в расчетной точке (на рабочем месте оператора), которые приведены в табл. 6.

Таблица 6 – Требуемое снижение уровня шума

Среднегеометрические частоты, Гц	63	125	250	500	1000	2000	4000	8000
Уровни звукового давления, дБ	74	76	88	88	87	92	78	75
Допустимые уровни звукового давления, дБ по ГОСТ 12.1.003-83*	99	92	86	83	80	78	76	74
Требуемое снижение уровня шума, дБ	-	-	2	5	7	4	2	1

Анализ спектра уровней звукового давления на рабочем месте показал, что звукопоглощающая конструкция должна иметь высокий коэффициент звукопоглощения на частотах 1000-8000 Гц.

Для акустической обработки цеха выберем плиты марки ПА/С минераловатные акустические размером 500×500 мм с отделкой «набрызгом» (ТУ 21-24-60-74).

Таблица 7 – Значение реверберационного коэффициента плит ПА/С [2-1]

Марка звукопоглощающей конструкции	63	125	250	500	1000	2000	4000	8009
$\alpha_{\text{обл}}$	0,02	0,05	0,21	0,66	0,91	0,95	0,89	0,7

Для определения ожидаемого снижения уровней звукового давления на рабочих местах в октавных полосах составим табл. 8.

Таблица 8 – Результаты использования звукопоглощающей облицовки

Величина	Среднегеометрические частоты октавных полос, Гц							
	63	125	250	500	1000	2000	4000	8000
μ	0,5	0,5	0,55	0,7	1	1,6	3	6
$B_{1000}, \text{м}^2$	175	175	175	175	175	175	175	175
$B = B_{1000} \cdot \mu_{1000}, \text{м}^2$	87,5	87,5	96,2	122,5	175	280	525	1050
S	2200	2200	2200	2200	2200	2200	2200	2200
B/S	0,034	0,034	0,044	0,056	0,080	0,127	0,239	0,477
$\frac{B}{S} + 1$	1,03	1,034	1,044	1,056	1,080	1,127	1,239	1,477
$A, \text{м}^2$	84,6	84,6	92,1	116,0	162,0	248,4	423,7	710,9
$\alpha = \frac{B}{B+S}$	0,03	0,038	0,042	0,053	0,074	0,113	0,193	0,323
$\alpha_{\text{ОБЛ}}$	0,02	0,05	0,21	0,66	0,91	0,95	0,89	0,70
$\Delta A = \alpha_{\text{ОБЛ}} \cdot S_{\text{ОБЛ}} + A_{\text{ЭП}} \cdot n_{\text{П}}$, м^2	26,4	66,0	277,2	871,2	1201,2	1254,0	1174,8	924,0
$A_1 = \alpha(S - S_{\text{ОБЛ}}), \text{м}^2$	33,4	33,44	36,96	46,64	65,12	99,44	169,84	284,24
$A_1 + \Delta A, \text{м}^2$	59,8	99,44	314,1	917,84	1266,3	1353,4	1344,6	1208,2
$\alpha_1 = \frac{A_1 + \Delta A}{S}$	0,02	0,045	0,143	0,417	0,576	0,615	0,611	0,549
$1 - \alpha_1$	0,97	0,955	0,857	0,583	0,424	0,385	0,389	0,451
$B' = \frac{A_1 + \Delta A}{1 - \alpha_1}, \text{м}^2$	61,5	104,1	366,5	1574,3	2986,6	3515,4	3456,6	2679,02
$\frac{B'}{B}$	0,70	1,190	3,811	12,852	17,066	12,555	6,584	2,551
$\Delta L = 10 \cdot \lg\left(\frac{B'}{B}\right), \text{дБ}$	-	0,755	5,810	11,090	12,321	10,988	8,185	4,067

Результаты расчета представлены на графике (рисунок 16)

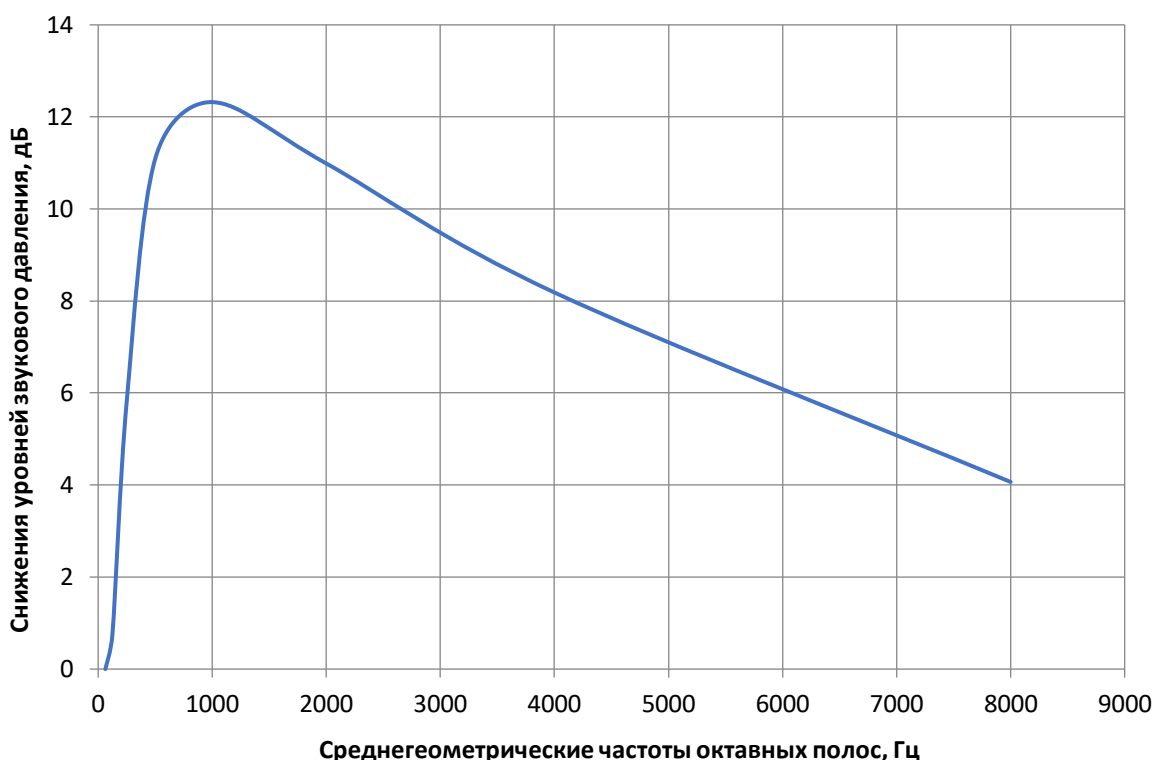


Рисунок 16 – Снижение уровня шума в зависимости от частоты октавных полос

Из анализа представленного графика можно заключить, что максимальную защиту по снижению уровня шума при использовании экранов можно получить при среднегеометрической частоте октавных полос около 1000 Гц. Защитные свойства экрана резко возрастают на участке от 63 до 1000 Гц, потом постепенно снижаются до 8000 Гц. При проведении практических расчетов за среднюю частоту полосы обычно принимают среднегеометрическую частоту f :

$$f = \sqrt{f_1 f_2}$$

При проведении практических акустических расчетов шумов используются октавные полосы частот, которыми называется такая полоса частот, у которой отношение граничных частот $f_2/f_1=2$. В том случае, когда $f_2/f_1=2^{1/3}=1,26$, то ширина полосы равна 1/3 октавы.

Учет этого обстоятельства при проектировании и создании экранной защиты на пути распространения шума, позволит значительно повысить ее эффективность.

3.2.2. Расчет эффективности шумозащитного экрана

На сегодняшний день существуют разнообразные методики по определению эффективности шумозащитных экранов (ШЭ). Одним из наиболее распространенных является подход, предложенный ученым З. Маекавой (Япония) в 1969 году [26], опирающийся на зависимость эффективности шумозащитного экрана (ШЭ) от числа Френеля (N). Эффективность ШЭ, $\Delta L_{\text{экр}}$, согласно выведенной Маекавой формуле, определяется, как:

$$\Delta L_{\text{экр}1} = 10 \lg 20N \text{ (дБА)} \quad (8)$$

где N – число Френеля, определяемое выражением:

$$N = 2\delta/\lambda \quad (9)$$

где λ – длина звуковой волны, м;

δ – разность длин путей звукового луча, м.

Схема определения длин звукового луча представлена на рисунке 17.

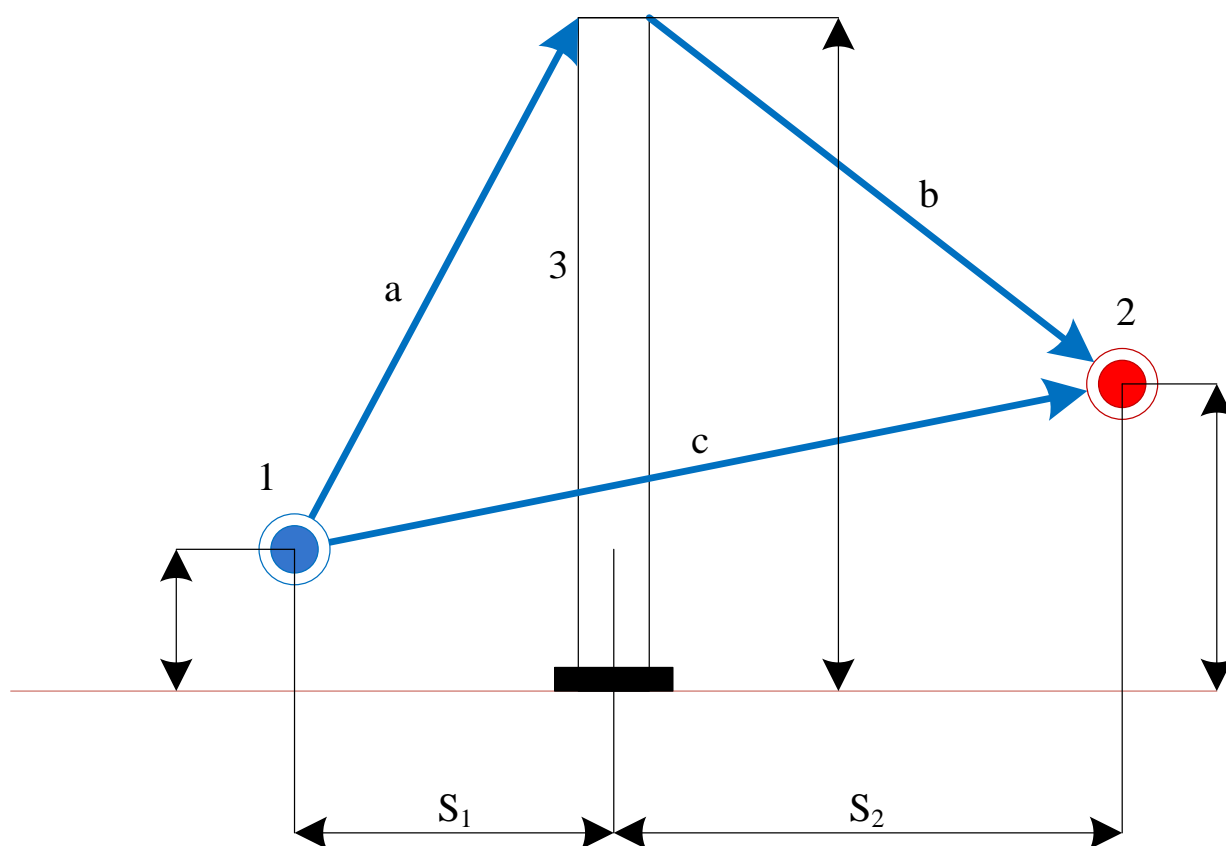


Рисунок 17 – Расчетная схема определения длин звукового луча
1 – источник шума; 2 – расчетная точка; 3 – шумозащитный экран;

Разность длин звукового луча δ определяется по формуле:

$$\delta = a + b - c \text{ (м)} \quad (10)$$

где a – минимальная дистанция между источником шума (ИШ) и верхним краем ШЭ, м;

b – минимальная дистанция между верхним краем ШЭ до расчетной точки, в которой определяется уровень шума (РТ);

c – минимальная дистанция от ИШ до РТ (м).

В соответствии с [24], расстояния a , b и c определяют с точностью до сотых долей метра по следующим формулам:

$$a = \sqrt{S_1^2 + (h_{\text{ШЭ}} - h_{\text{ИШ}})^2}$$
$$b = \sqrt{S_2^2 + (h_{\text{ШЭ}} - h_{\text{РТ}})^2}$$
$$c = \sqrt{(S_1 + S_2)^2 + (h_{\text{РТ}} - h_{\text{ИШ}})^2}$$

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

$h_{\text{ШЭ}}$ – высота ШЭ, м;

S_1 – расстояние от ИШ до экрана, м;

S_2 – расстояние от экрана до РТ, м.

Методические рекомендации по защите от транспортного шума территорий, прилегающих к автомобильным дорогам ОДМ 218.2.013-2011 [27] также используют число Френеля, предлагая следующую формулу оценки эффективности экранирования:

$$\Delta L_{\text{экр2}} = 18,2 + 7,8 \lg(\delta + 0,02) \text{ (дБА)} \quad (11)$$

Анализ документов ОДМ 218.2.013-2011 [27] и СП 276.1325800.2016 [24] показывает, что принцип вычисления эффективности ШЭ и там и там один и тот же, опирающийся на число Френеля, однако формулы, предлагаемые для определения эффективности ШЭ, различны. СП 276.1325800.2016 [24], предлагает формулу (12) оценки эффективности экранирования опираясь на теорию Курце:

$$\Delta L_{\text{экp3}} = 20 \log \frac{\sqrt{2\pi|N|}}{th\sqrt{2\pi|N|}} + 5 \text{ при } N \geq -0,2 \quad (12)$$

$$\Delta L_{\text{экp3}} = 0 \text{ при } N < -0,2$$

Согласно СП 276.1325800.2016 [24], формула (12), предлагаемая для расчета, допустима к применению для расстояний от ИШ до РТ не более 200 м. Для расстояний свыше 200 метров эффективность ШЭ согласно СП 276.1325800.2016 [24] рассчитывается по методике, изложенной в ГОСТ 31295.2-2005 [28].

Согласно СП 276.1325800.2016 [4] расчеты уровней звука проводятся для длины волны $\lambda = 0,84$ м (для потока атоотспорта).

Еще одним из наиболее применяемых на практике способов расчета эффективности ШЭ является метод, представленный в ГОСТ 31295.2-2005 [28], в соответствии с которым вычисление эффективности экрана, D_z , определяется по формуле:

$$D_z = 10 \lg \left[3 + \left(\frac{C_2}{\lambda} \right) C_3 z K_{met} \right] \quad (13)$$

Здесь: C_2 – константа, учитывающая эффект отражения от земли (в обычных условиях $C_2 = 20$, в особых случаях - твердый грунт, скальные породы и т.п. – $C_2 = 40$);

C_3 – константа, учитывающая дифракцию на верхних кромках экрана. При дифракции на одной кромке $C_3 = 1$;

λ – длина звуковой волны с частотой, равной среднегеометрической частоте октавной полосы, м;

z – разность дистанций путей распространения звука через дифракционную кромку (кромки) и прямого звука, вычисляемая по формуле (14), м;

K_{met} - коэффициент, учитывающий влияние метеорологических условий, определяемый согласно ГОСТ 31295.2;

$$z = \sqrt{(d_{ss} - d_{sr})^2 + a^2} - d$$

где d_{ss} - расстояние от источника шума до дифракционной кромки (до первой дифракционной кромки в случае дифракции на двух кромках), м:

d_{sr} - расстояние от дифракционной кромки (от второй дифракционной кромки в случае дифракции на двух кромках) до приемника, м;

В соответствии с ГОСТ 31295.2-2005 дистанции d_{ss} и d_{sr} измеряют по перпендикулярам, опущенным из источника шума и приемника на верхнюю кромку экрана.

Значение равно расстоянию между основаниями этих перпендикуляров вдоль верхней кромки. Кроме того, в случае если линия, соединяющая ИШ и приемник, проходит над верхней кромкой ШЭ, то значению приписывают знак минус. ГОСТ 31295.2-2005 рассчитывает эффективность ШЭ для всего нормируемого частотного диапазона: от 31,5 до 8000 Гц.

Согласно ГОСТ 31295.2-2005, затухание на экране в любой октавной полосе частот не следует принимать более 20 дБ в случае дифракции на одной кромке (тонкие экраны) и 25 дБ в случае дифракции на двух кромках (толстые экраны, экранирующие шумозащищенные здания).

Расчет эффективности ШЭ различной высоты для расчетных точек, расположенных на разных расстояниях от ШЭ (РТ 1 - 25 м, РТ 2 - 50 м, РТ 3-100 м), были произведены по трем методикам для двухполосной дороги: для дальней и ближней полос.

Согласно ГОСТ Р 52399-2005 ШЭ может быть установлен не ближе, чем 2,5 м от автодороги, а ширина полосы (для двухполосной дороги) должна быть не менее 3,75 м.

Таким образом, расстояния от источника шума до ШЭ будут равны 4,37 м и 8,12 м для ближней и дальней полос соответственно. Расчет производился для ШЭ высотой 2 м, 3.5 м, 5 м.

Результаты расчета эффективности ШЭ различной высоты по трем описанным выше нормативно-техническим документам (НТД), представлены в таблице 9.

Таблица 9 – Эффективность шумозащитного экрана рассчитанная по различным методикам

РТ (расстояние от ИШ)	НТД	Эффективность при различной высоте					
		2 метра		3,5 метра		5 метров	
		1	2	1	2	1	2
РТ1 (25 м)	СП 276.1325800.2016	10	7	15	13	19	17
	ОДМ 218.2.013-2011	11	10	17	16	20	19
	ГОСТ Р 52399-2005	8	6	13	12	17	15
РТ2 (50 м)	СП 276.1325800.2016	10	7	15	13	19	17
	ОДМ 218.2.013-2011	11	10	17	15	20	18
	ГОСТ Р 52399-2005	8	6	13	11	16	14
РТ3 (100 м)	СП 276.1325800.2016	10	7	15	13	19	17
	ОДМ 218.2.013-2011	11	10	17	15	20	18
	ГОСТ Р 52399-2005	8	6	13	11	16	14

1 – ближняя полоса, 2 – дальняя полоса.

Анализ полученных расчетных значений эффективности ШЭ вычисленных по разным методикам позволяет сделать следующие выводы:

1. Разница в эффективности для ближней и дальней полос составляет:
 - 2-3 дБ, согласно СП 276. 1325800.2016;
 - 1-2 дБ, согласно ОДМ 218.2.013-2011.
 - 2 дБ, согласно ГОСТ 31295.2-2005;
2. Эффективность ШЭ возрастает с увеличением его высоты для всех полос и вне зависимости от расчетной методики (рис. 18):

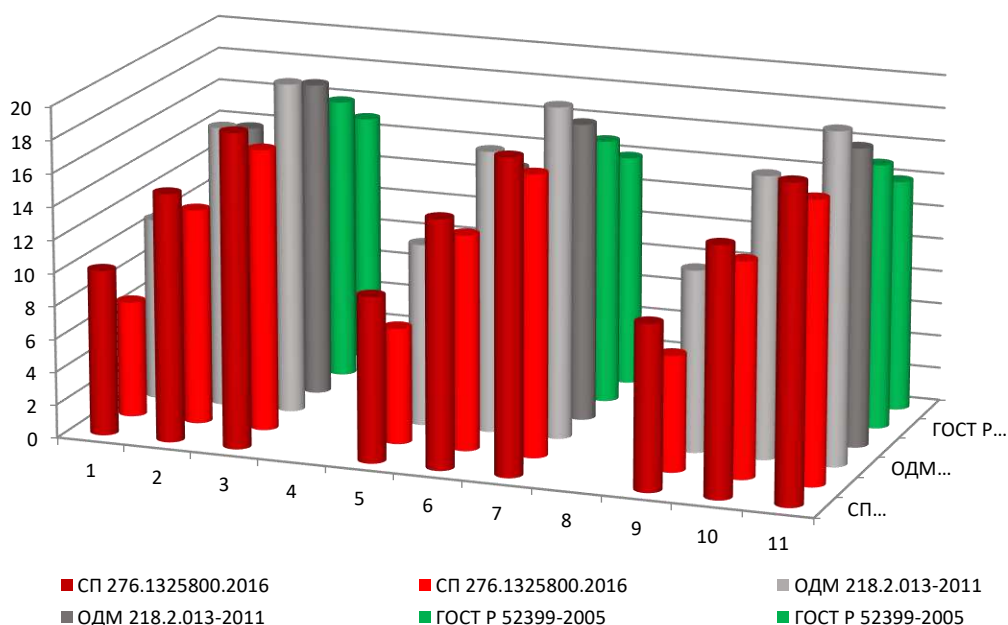


Рисунок 18 – Соотношение эффективности в зависимости от высоты ШЭ

3. Анализ представленных графиков показывает, что эффективность ШЭ вне зависимости от высоты снижается при увеличении расстояния от ШЭ до РТ по всем трем рассматриваемым НТД всего лишь на сотые доли, что не соответствует действительности, поскольку с увеличением расстояния РТ до ШЭ, тем больше звука дифрагирует (в том числе, через боковые кромки) и говорит о несовершенстве существующих методов расчета. Это подтверждается материалами работы [29], где приводятся результаты практических испытаний шумозащитного экрана, проводившихся на базе БГТУ «ВОЕНМЕХ» им. Д.Ф. Устинова. Испытания проводились, согласно «Методике доведения измерений эффективности акустических (шумозащитных) экранов, измерения звукоизоляции шумозащитных экранов, измерения звукопоглощения шумозащитных экранов», утвержденной Министерством транспорта Российской Федерации Федеральным дорожным агентством (РОСАВТОДОР) 06.09.2017 г. на расстоянии 25 м от экрана.

Результаты измерений эффективности ШЭ на двухполосной автомобильной дороге ((для ближней полосы) представлены в таблице 10.

Таблица 10 – Результаты натуральных испытаний ШЭ.

Расстояние от оси (от края проезжей части)	Эффективность		
	2 м	3,5 м	5 м
25 м	5-6	9-11	10-12

С учетом проведенных измерений и расчетов можем сделать заключение, что наиболее близкие к натурным измерениям расчеты были получены по методике, представленной в ГОСТ 31295.2-2005.

4. Проведенный анализ полученных натуральных измерений и расчетов, показал, что действующие методики расчета по определению эффективности шумозащитных экранов, а именно ОДМ 218.2.013-2011, СП 276.1325800.2016, ГОСТ 31295.2- 2005 дают различные между собой значения, при этом по ОДМ 218.2.013-2011 значения эффективности наиболее завышены.

Полученные результаты говорят о необходимости совершенствования методов расчета эффективности шумозащитных экранов и ввода поправок, которые позволят получать значения, более приближенные к фактическим.

3.2.3. Оценка дополнительных факторов при помощи многокритериальной методики интегральной оценки эффективности.

Как уже было отмечено выше, необходима корректура действующих методик расчета эффективности ШЭ, так как действующие нормативные документы в настоящее время дают различные между собой, завышенные значения, при этом по ОДМ 218.2.013-2011 значения эффективности наиболее завышены. Для внесения указанной корректуры в действующие методики необходимо проведение серии испытаний шумозащитных экранов в различных регионах (и различных климатических условиях) страны.

Кроме того необходимо отметить, что все указанные методики, существующие в настоящее время сосредотачивают свое внимание исключительно на защитных свойствах данного объекта, не вдаваясь в экономическую и технологическую области. В то же время руководству города и районов, необходимо при принятии решения на установку шумозащитных конструкций, оценивать всю проблему в целом, начиная от доступности и дешевизны материалов, из которых предполагается возводить шумозащитные конструкции, их вандализированность, долговечность, эстетичность и ряд других критериев, без которых руководство города не может принимать решение не только на закупку подобного оборудования, но и даже на объявление конкурса на такие закупки.

Поэтому, учитывая наличие большого количества методов (и соответственно характеристик), по которым осуществляется оценка состояния производственного травматизма, было бы полезно разработать обобщенный критерий, учитывающий большую часть указанных методов, с тем, чтобы учесть максимальное число критериев. С этой целью можно предложить использование общей методики интегральной оценки эффективности шумозащитных экранов.

Для получения обобщенного критерия эффективности применим мультипликативную свертку показателей эффективности, которую называют принципом справедливого компромисса или принципом выбора Нэша

[Пичкалев А.В. Обобщенная функция желательности Харрингтона для сравнительного анализа технических средств. Исследования Научограда. – 2012. №1 – С. 25-28]. Она может быть определена как произведение вероятностей последовательной цепочки событий:

$$Y(X) = \prod_{i=1}^n h_i(X)$$

где $Y(X)$ – функция приоритетов;

$h_i(X)$ – заданные показатели эффективности.

В качестве показателей эффективности шумозащитного экрана в г. Красноярск предлагается использовать критерии, определяемые при исследовании проектирования этого оборудования, рассмотренные выше.

Один из частных случаев такого подхода представляет собой построение так называемой обобщенной функции желательности, которая позволила бы достичь желательного для исследователя варианта решения.

В основе данного подхода лежит идея преобразования натуральных значений показателей эффективности в функцию желательности – то есть превращения их в некий безразмерный коэффициент. Численные значения пределов по шкале функции желательности приведенные в таблице 11, получены из методики обобщенной функции желательности Харрингтона [www.medline.ru том 16, профилактическая медицина, 24 сентября 2015. Сосюкин А. Е., Верведа А. Б. Практические аспекты использования функции желательности при проведении психофизиологического обследования персонала аварийно-спасательных формирований.].

Таблица 11 – Шкала функции желательности

Желательные свойства	Пределы по шкале желательности
очень хорошо	1,00...0,80
хорошо	0,80...0,63
удовлетворительно	0,63...0,37
плохо	0,37...0,20
очень плохо	0,20...0,00

Проведя расчет обобщенной функции желательности по критериям эффективности шумозащитных конструкций, мы получим возможность сравнить между собой варианты системы обеспечения борьбы с шумом в рассматриваемом районе, на улице или на предприятии, либо оценить изменение состояния противодействия шумовому загрязнению окружающей среды в данном районе (на данном предприятии) с течением времени. При этом, формируя блок критериев нужно учесть, что при наличии нескольких показателей эффективности обобщенный критерий должен быть таким, чтобы он делал неприемлемым решение даже при одном неудовлетворительном показателе. Этому решению соответствует следующее выражение:

$$D = \sqrt[n]{\prod_{i=1}^n h_i}$$

Для простоты рассмотрим три критерия и три варианта шумозащитных экранов, предложенных к размещению в городе. Обозначим:

h_1 – эффективность шумозащитного экрана, которая может быть определена по наиболее точному нормативному документу – ГОСТ 31295.2-2005. Критерий изменяется от 0 до 1, наиболее желательным является максимальное значение;

h_2 – коэффициент стоимости материала, за критерий принимаем стоимость 1 м.кв.

h_3 – коэффициент долговечности конструкции шумозащитного экрана.

Здесь нужно еще раз отметить, что в данном отдельном случае для упрощения расчетной части исследования мы используем только три критерия. В идеале число критериев должно быть значительно выше, и охватывать все стороны перспективной эксплуатации предлагаемого к закупке и установке шумозащитного экрана. Конкретные предложения по формированию перечня критериев и их показателей должны быть сформулированы группой экспертов, привлекаемых для этой работы. Таким образом, при формировании перечня критериев оценки эффективности работы предлагается использовать метод

экспертных оценок.

После того, как нами будет назначен перечень критериев и определены по каждому из них предельные и оптимальные значения, составляется матрица соответствия показателей эффективности шкале функции желательности Харрингтона, приведенная в таблице 12.

Таблица 12 – Матрица соответствия показателей эффективности шкале функции желательности Харрингтона

Показатели эффективности	Пределы по шкале желательности				
	1,00...0,80	0,80...0,63	0,63...0,37	0,37...0,20	0,20...0,00
	очень хорошо	хорошо	средне	плохо	очень плохо
<i>h1</i> - эффективность шумозащитного экрана	1,00...0,80	0,80...0,63	0,63...0,37	0,37...0,20	0,20...0,00
<i>h2</i> – коэффициент стоимости, тыс. руб / м ²	1000	2000	2500	3500	4500
<i>h3</i> - коэффициент долговечности конструкции шумозащитного экрана, лет	50	40	30	20	10

Для примера:

Пусть у нас имеется 3 потенциальных шумозащитных экрана, имеющих следующие характеристики:

Экран №1 – эффективность $aЭ = 0,26$ дБ

– коэффициент стоимости $k_1 = 1100$ руб/м.кв.;

– коэффициент долговечности $k_2 = 30$ лет;

Экран №2 – эффективность $aЭ = 0,72$ дБ

– коэффициент стоимости $k_1 = 3400$ руб/м.кв.;

– коэффициент долговечности $k_2 = 48$ лет.;

Экран №3 – эффективность $aЭ = 0,4$ дБ

– коэффициент стоимости $k_1 = 3350$ руб/м.кв.;

– коэффициент долговечности $k_2 = 30$ лет.;

Приведем эти значения критериев в соответствие с показателями матрицы. При составлении матрицы за значение показателей эффективности принимаем среднее значение соответствующего элемента шкалы функции желательности. Исходя из полученной матрицы соответствия показателей эффективности шкале функции желательности Харрингтона и данных таблиц 11 и 12 можно произвести расчет обобщенных критериев эффективности шумопоглощающего экрана.

Расчет обобщенной функции желательности для трех оцениваемых шумопоглощающих экранов приводится в таблице 13, а обобщенный критерий функции желательности, определенный с использованием интегрального метода анализа представлен на рисунке 19.

Таблица 13 – Расчет обобщенного критерия функции желательности

Предприятие	Характеристики			
	h_1	h_2	h_3	D
Экран 1	0,285	0,900	0,550	0,520
Экран 2	0,715	0,285	0,900	0,568
Экран 3	0,550	0,285	0,55	0,441
«Идеальный» экран	1	1	1	1

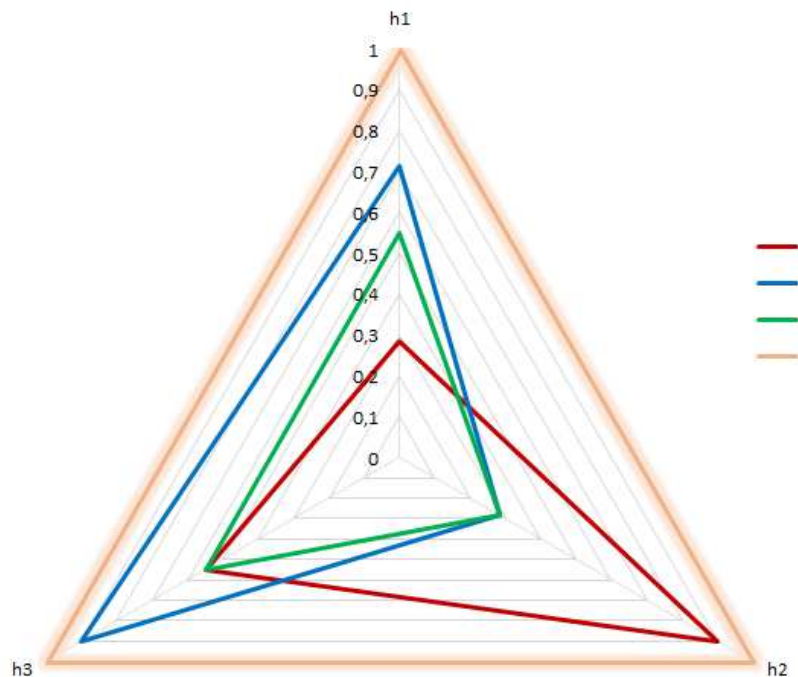


Рисунок 19 – Обобщенный критерий функции желательности, определенный с использованием интегрального метода анализа.

Оценив полученные площади фигур, определяем следующие значения функции желательности:

- экран №1 – 0,39;
- экран №2 – 0,48;
- экран №3 – 0,27;
- «идеальный» экран – 1,30.

На основании расчета обобщенного критерия функции желательности можно сделать вывод, что наиболее эффективным из представленных проектов экранов будет экран №2. Введенное понятие «идеального» экрана показывает какие возможности для улучшения конструкции данного оборудования еще у нас есть, то есть оценивается резерв на совершенствование.

Предлагаемая методика интегральной оценки эффективности позволяет произвести качественное сравнение существующих систем снижения шума в районе или на предприятии, либо оценить изменения состояния системы борьбы с шумом на одном конкретном предприятии с течением времени.

Расширив матрицу функции желательности путем определения большего числа значимых показателей, можно получить более точное значение эффективности.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ. ОСНОВНЫЕ ВЫВОДЫ

Целью предлагаемой работы являлась разработка рекомендаций по использованию основных методов шумозащиты для жилой застройки в городе Красноярске.

Анализ дорожно-уличной сети г. Красноярск показал, что сложившаяся в городе дорожная ситуация дает мало возможностей для скоростного передвижения автотранспорта. Причинами этого являются недостаточная ширина проезжей части и ее состояние, слишком часто расположенные перекрестки, а также пересечения различных транспортных потоков и наличия разнородных видов транспорта. Исключение составляют улица 60 лет октября, Семафорная ул., проспект им. Газеты Красноярский Рабочий. Напряженное пересечение транспортных потоков находится на перекрестках Семафорной и Свердловской улиц, а также улиц Авиаторов и Белинского. Сложная дорожная развязка в этих районах приводит к образованию значительных автомобильных пробок. В целом наземная дорожная сеть города Красноярск не соответствует современному объему автотранспортных потоков, возможности по ее расширению и модернизации в городе также отсутствуют, вследствие отсутствия свободных площадей в центральной части города, а также его рассечения на две части рекой Енисей и протяженностью застройки вдоль ее берегов.

Все это способствует значительному росту уровня воздействия от транспортного шума. Дополнительный вклад в шумовое загрязнение окружающей среды в г. Красноярск вносят промышленные предприятия (более 1700), а также другие виды транспорта, так как г. Красноярск сегодня – мощный транспортно-логистический узел, объединяющий воздушный, автомобильный, речной, железнодорожный транспорт в единую систему Западной Сибири.

В ходе работы были решены следующие задачи:

- проанализировать современное состояние проблемы шумозащиты для жилой застройки;

- исследовать возможности применения современных методов шумозащиты для жилой застройки в городе Красноярске;
- разработать методику сравнительной оценки основных методов шумозащиты.

Цель работы – достигнута.

По результатам работы были сделаны следующие выводы:

1. В настоящее время человек сталкивается с чрезвычайно мощным уровнем звукового воздействия на его организм, которого ранее в истории человечества не существовало. Источником этого воздействия является деятельность человека, т.е. рассматриваемый как шумовое загрязнение звук имеет антропогенный характер возникновения. Уровень данного воздействия на человека продолжает постоянно расти, при этом антропогенный характер рассматриваемого шумового загрязнения окружающей среды затрудняет адаптацию к нему живых организмов (в том числе и самого человека), так как звук достигает таких частот и уровней, которые не встречаются в живой природе.
2. Воздействие повышенного шума на организм человека ведет к появлению таких проблем, как:
 - усталость;
 - неврозы;
 - бессонница;
 - снижение слуховой чувствительности;
 - атеросклероз;
 - стенокардия;
 - сердечная недостаточность.
3. Исследования показали, что в условиях производства связанного с шумом и вибрацией, у рабочих выявляются резкие значительные сдвиги биоэлектрической активности в коре головного мозга. Это снижает активность их нервных процессов и тормозит возбудимость, с

образованием застойных очагов возбуждения в двигательной и акустической зонах коры. Выявлялись также нарушения взаимосвязи между подкоркой и корой головного мозга. Скорость реакции описывает состояние центральной нервной системы. В ответ на звуковые и световые сигналы при уровне шума более 80 дБ выявлено значительное удлинение времени условной двигательной реакции. Учитывая, что для человека скорость его реакции, характеризующаяся временем, которое необходимо, чтобы полученная и осознанная информация вызвала моторное действие, чрезвычайно важна, (а на производстве даже жизненно важна), актуальность этой проблемы не вызывает сомнения. Таким образом, вопрос снижения интенсивности бытового и промышленного шума напрямую связан с производительностью труда и безопасностью производства, и, следовательно, имеет чрезвычайно большое экономическое значение, что и определяет актуальность данной работы

4. Резкий рост уровня шумового загрязнения окружающей среды связан с началом промышленной революции, т.е. имеет непродолжительную историю, поэтому заранее невозможно предсказать какие еще проблемы со здоровьем последующих поколений вызовет это явление.
5. В городской среде основным источником шумового загрязнения является транспорт, который вносит от 54 до 80%. Также значительную долю шума вносят промышленные предприятия – 22% и бытовая техника – 21%.
6. Основными из средств борьбы с шумом являются средства коллективной защиты, предусматриваемые на всех стадиях производственного процесса: начиная от проектирования и возведения жилой застройки и заканчивая организационными мерами по снижению уровня шума. Основные направления снижения шумового загрязнения жилой застройки, характерные и для г. Красноярск, включают:
 - снижение шума в его источнике;

- снижение шума на самом объекте защиты;
- снижение шума на пути его распространения в окружающей среде

7. Из проведенного в работе анализа можно заключить, что максимальную защиту по снижению уровня шума при использовании шумозащитных экранов можно получить при среднегеометрической частоте октавных полос около 1000 Гц. Защитные свойства экрана резко возрастают на участке от 63 до 1000 Гц, потом постепенно снижаются до 8000 Гц. С точки зрения проектирования шумозащитных экранов нужно помнить, что лучшие поглощающие свойства у материалов, имеющих волокнистую структуру. Учитывая стоимость, следует признать, что в качестве одного из элементов звукозащитного экрана наиболее эффективно использовать лист перфорированный акустический или стеклопластик.
8. В настоящее время оценка эффективности шумозащитного экрана осуществляется согласно СП 276.1325800.2016 [24], формула (12), предлагаемая для расчета, допустима к применению для расстояний от ИШ до РТ не более 200 м. Для расстояний свыше 200 метров эффективность ШЭ согласно СП 276.1325800.2016 [24] рассчитывается по методике, изложенной в ГОСТ 31295.2-2005 [28]. Согласно СП 276.1325800.2016 [4] расчеты уровней звука проводятся для длины волны $\lambda = 0,84$ м (для потока автотранспорта).
9. Проведенный анализ методик оценки эффективности шумозащитных экранов показал, что эффективность ШЭ вне зависимости от их высоты снижается при увеличении расстояния от ШЭ до РТ по всем трем рассматриваемым НТД на сотые доли, что не соответствует действительности, поскольку с увеличением расстояния РТ до ШЭ, тем больше звука дифрагирует (в том числе, через боковые кромки) и говорит о несовершенстве существующих методов расчета. Это подтверждается материалами работы [29], где приводятся результаты

практических испытаний шумозащитного экрана, проводившихся на базе БГТУ «ВОЕНМЕХ» им. Д.Ф. Устинова. Испытания проводились, согласно «Методике доведения измерений эффективности акустических (шумозащитных) экранов, измерения звукоизоляции шумозащитных экранов, измерения звукопоглощения шумозащитных экранов», утвержденной Министерством транспорта Российской Федерации Федеральным дорожным агентством (РОСАВТОДОР) 06.09.2017 г. на расстоянии 25 м от экрана.

На основании выполненного анализа были выработаны следующие **предложения** по совершенствованию борьбы с шумом в жилой застройке г. Красноярск.

1. Предлагается внедрить в практику принятия градостроительных решений разработанную в ходе исследования методику оценки эффективности шумозащитных экранов

Разработанная в ходе исследования методика интегральной оценки эффективности шумозащитных экранов, основанная на мультипликативной свертке показателей эффективности, которую называют принципом справедливого компромисса или принципом выбора Нэша позволяет:

- осуществлять качественное сравнение существующих систем снижения шума в районе или на предприятии;
- производить оценку изменения состояния системы борьбы с шумом на одном конкретном предприятии с течением времени.

Недостатком указанной методики является произвольное назначение числа и насыщения применяемых в ней показателей эффективности. Предполагается использовать для этого метод экспертных оценок, приглашая в качестве экспертов группу специалистов, однако при этом возникает проблема оценки уже самих экспертов с точки зрения адекватности предлагаемых ими решений.

Дальнейшее совершенствование предлагаемой методики следует осуществлять в направлении расширения матрицы функции желательности

путем определения большего числа значимых показателей, а также разработки и введения в расчет системы поправочных коэффициентов, позволяющих учесть предпочтения респондента. Например для кого-то более важна надежность защиты, для кого-то критичным параметром является стоимость, для кого-то – долговечность конструкции, и т.д.

Внеся в методику расчета указанные поправки можно получить более точное значение эффективности шумозащитных мероприятий.

2) Предлагается разработать для всех крупных населенных пунктов Российской Федерации карты шумового загрязнения окружающей среды, аналогичные представленной на сайте «www.priroda.su» интерактивной карте шумового загрязнения Москвы, созданной компанией Urbica. При создании карты специалисты компании провели анализ распространения шума от различных типов объектов. Полученные данные были уточнены в ходе натурных измерений с помощью специально разработанных датчиков. Карта представлена на рисунках 3 и 4 [3].

К сожалению, для других населенных пунктов Российской Федерации (в частности для являющегося объектом предлагаемого исследования г. Красноярск) такая карта не разрабатывалась, хотя наличие подобной информационной поддержки позволило бы перейти к более взвешенной и адресной борьбе с негативным влиянием шума на жизнедеятельность чело

3) Для обеспечения дальнейшего развития г. Красноярск представляется чрезвычайно важным разгрузить центральную часть города от промышленных предприятий и соответственно от транспортных потоков. Всего в черте городской застройки Красноярска сегодня расположено около 1700 крупных и средних промышленных предприятий, в центральной части города из их числа располагается около 1500 предприятий. В результате, не смотря на запрет транзитного движения через город большегрузных автомобилей, продолжается завоз сырья и вывоз готовой продукции с применением транспортных фур.

Этот процесс носит объективный характер, так как иначе обеспечить функционирование такого количества предприятий невозможно. Вопрос обеспечения доставки рабочего персонала на работу и с работы в случае вывода предприятий промышленности за городскую черту, будет сравнительно легко решиться путем запуска дополнительных маршрутов общественного транспорта, в том числе электрического, так как произойдет разгрузка основных городских транспортных магистралей, и использования возможностей речного трафика. Также необходима достройка законсервированного Красноярского метрополитена, что позволит перевести более 586 тысяч человек в зону пешей доступности.

Внедрение сформулированных предложений позволит более эффективно бороться с шумовым загрязнением окружающей среды в г. Красноярск.

Таким образом, все задачи, поставленные перед работой, выполнены, цель работы – достигнута.

Результаты работы могут быть использованы:

– в учебном процессе – при изучении систем борьбы с шумом, а также вопросов, связанных с негативным воздействием шума на организм человека;

– в практической деятельности проектанта защитных систем для борьбы с шумом – при оценке эффективности принимаемых управленческих и технических решений.

Объем работы – 80 стр.

Работа включает в себя введение, три главы, заключение.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Защита от шума в градостроительстве/Г. Л. Осипов, В. Е. Коробков, А. А. Климухин и др.; Под ред. Г. Л. Осипова. – М.: Стройиздат, 1993. – 96 с.;
2. Мироненко В.П. Проблемы шумозащиты в крупных городах / Харьковский национальный университет строительства и архитектуры, г. Харьков, 1993. 45 с.;
3. Сайт <http://www.priroda.su/item/11308>;
4. Nightnoiseguidelines for Europe (Копенгаген, Европейское региональное бюро ВОЗ, 2009 (<http://www.who.int/docstore/peh/noise/guidelines2.html>));
5. Директива 2002/49/ЕС Европейского парламента и Европейского совета от 25 июня 2002 г., относящаяся к оценке и решению проблемы шумового загрязнения окружающей среды (<http://ec.europa.eu/environment/noise/directive.htm>);
6. Волчек О.Д. Использование вибрации м виброакустики в медицине / О.Д. Волчек, Л.А. Алексина // Ученые записки СПбГМУ им. акад. И.П. Павлова, том XVIII, №1, 2011, с. 12-23;
7. Гавро, Владимир; «Звуковое оружие Владимира Гавро» («The SonicWeapon of VladimirGavreau»); история открытия Владимиром Гавро влияния звуковых волн крайне низкой частоты на человека и материю: (автор статьи – GerryVassilatos: <http://journal.borderlands.com/1996/the-sonic-weapon-of-vladimir-gavreau/>);
8. Суворов Г.А. Гигиеническое нормирование производственных шумов и вибраций / Г.А. Суворов, Э. И. Денисов, Л. Н. Шкаринов - М.: Медицина, 1984. - 240 с.;
9. Суворов, Г.А. Шум и здоровье (эколого-гигиенические проблемы) / Г.А. Суворов, Л.В. Прокопенко, Л. Д. Якимова - М: Союз, 1996. - 150 с.

10. Скворцов А.Н. Влияние шума на работоспособность операторов мясоперерабатывающих цехов // Вестник Российского университета дружбы народов. Серия: Экология и безопасность жизнедеятельности. 2018. Т. 26. № 4. С. 402—408.;
11. Дмитриев Н.С., Таварткиладзе Г.А. Современные проблемы физиологии и патологии слуха // I Национальный конгресс аудиологов России и 5-й Международный симпозиум. Суздаль, 2004. С. 1—16.
12. Синева Е.Л., Устюшин Б.В., Айдинов Г.В. Условия труда и профессиональные заболевания ЛОР органов. М., 2001;
13. Скворцов А.Н. Анализ исследования источников шума объектов животноводства // Электронный периодический научный журнал «SCIENCE.ARTICLE.RU». 2014. № 5. С. 159—164.;
14. Ковригин К.Н., Михеев А.П. Влияние уровня шума на производительность труда.- М.: Гигиена и санитария, 2005.С. 193-210.;
15. Шубин И. Л. Акустический расчет и проектирование конструкций шумозащитных экранов : авторефдис. канд. техн. наук. Москва, 2011. 47 с. URL: <http://test.vak.ed.gov.ru/common/img/uploaded/files/SHubinIL.pdf>;
16. Калиниченко М.В. Исследование загрязнения городских территорий автотранспортом (на примере города Муром) // Машиностроение и безопасность жизнедеятельности. 2011. № 3. С. 8-12.;
17. Васинева М. В. Проектно-конструкторские решения для защиты населения от шума / Научный журнал КубГАУ, №109(05), 2015 г.;
18. Скворцов А. Н., Савельев А. П., Пьянзов С. В. Оценка акустического загрязнения селитебной территории в г. Саранске // Вестник Мордовского университета. 2016. Т. 26, № 2. С. 218–227.;
19. ГОСТ Р 51943-2002. Экраны акустические для защиты от шума транспорта. Методы экспериментальной оценки эффективности - Введен. 2002-10-02. -М.: Госстандарт России, 2002;

20. Тюрина Н.В. Решение проблемы снижения шума на селитебных территориях и рабочих местах в помещениях акустическими экранами: автореферат диссертации на соискание уч. ст. доктора наук: 01.04.06 – Спб., 2014, – 54 с.;
21. Иванов Н.И. Инженерная акустика. Теория и практика борьбы с шумом: учебник/ Н.И. Иванов. – 3-е изд. перераб. и доп. – М.: Логос, 2013. – 432 с.
22. Руководство по учету в проектах планировки и застройки городов требований снижения уровней шума. – М., 1984;
23. Защита от шума в градостроительстве. – М., 1993;
24. СП 51.13330.2011 Защита от шума. Актуализированная редакция СНиП 23-03-2003 (с Изменением N 1);
25. Иванов Н.И. Влияние материала на акустическую эффективность шумозащитных экранов/Н.И. Иванов, А.Е. Шашурин, Ю.С. Бойко // «Балтийский государственный технический университет «ВОЕНМЕХ» им. Д.Ф. Устинова», С-Пб, БГТУ, 2017 г.;
26. Иванов Н.И. Защита от шума и вибрации: учебник/ Н.И. Иванов // СПб.: НИЦ АРТ.- 2017.-268 с;
27. ОДМ 218.2.013-2011 Методические рекомендации по защите от транспортного шума территорий, прилегающих к автомобильным дорогам
28. ГОСТ 31295.2 – 2005 (ИСО 9613-2:1996) Шум. Затухание звука при распространении на местности. Часть 2. Общий метод расчета.
29. Безверхая Е.А. Анализ методик расчета эффективности шумозащитных экранов. «Балтийский государственный технический университет «ВОЕНМЕХ» им. Д.Ф. Устинова», С-Пб, БГТУ, 2017 г.;
30. Пичкалев А.В. Обобщенная функция желательности Харрингтона для сравнительного анализа технических средств. Исследования Наукограда. – 2012. №1 – С. 25-28;

31. www.medline.ru том 16, профилактическая медицина, 24 сентября 2015. Сосюкин А. Е., Верведа А. Б. Практические аспекты использования функции желательности при проведении психофизиологического обследования персонала аварийно-спасательных формирований;
32. Федеральный Закон № 52 от 30 марта 1999 года (указана недопустимость нанесения вреда человеку шумовым воздействием);
33. ГОСТ Р ИСО 9612-2013 Акустика. Измерения шума для оценки его воздействия на человека. Метод измерений на рабочих местах;
34. ГОСТ 17187-2010 Шумомеры. Часть 1. Технические требования;
35. ГОСТ 30691-2001 (ИСО 4871:1996) Шум машин. Заявление и контроль значений шумовых характеристик;
36. ГОСТ 31171-2003 (ИСО 11200:1995) Шум машин. Руководство по выбору метода определения уровней звукового давления излучения на рабочем месте и в других контрольных точках
37. ГОСТ 31252-2004 (ИСО 3740:2000) Шум машин. Руководство по выбору метода определения уровней звуковой мощности;
38. Руководство 2.2.2006-05 «Гигиена труда. Руководство по гигиенической оценке факторов рабочей среды и трудового процесса. Критерии и классификация условий труда».
39. Вялышев А. Шум вокруг нас // Наука и жизнь. – 2006. - N 4. - С. 80-87.
40. Илькаева Е. Н. Медико-социальная значимость шума в условиях современного города // Медицина труда и промышленная экология. - 2008. - N 8. - С. 37-41.
41. Коростелева Н. В. Оценка влияния шума на человека // БСТ : бюллетень строительной техники. - 2010. - N 7.- С. 62.

Нормативные уровни шума

№ п/п	помещения или территория	Время суток	Нормативные октавные уровни звукового давления постоянного и прерывистого шума (дБ) на среднегеометрических частотах, Гц							Нормативные уровни звука постоянного и прерывистого шума (LA) при ориентировочной оценке и нормативные уровни звука непостоянного шума (L _{экв})	
			63	125	250	500	1000	2000	4000	8000	
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
1	Палаты больниц, санаториев	7-23 23-7	59 51	48 39	40 31	34 24	30 20	27 17	25 14	23 13	35 25
2	Территории санаториев, больниц	7-23 23-7	67 59	57 48	49 40	44 34	40 30	37 27	35 25	33 23	35 35
3	Жилые комнаты квартир	7-23 23-7	63 55	52 44	45 35	39 29	35 25	32 22	30 20	28 18	40 30
4	Жилые комнаты в общежитиях	7-23 23-7	67 59	57 48	49 40	44 34	40 30	37 27	35 25	33 23	45 35
5	Номера гостиниц	7-23 23-7	67 59	57 48	49 40	44 34	40 30	37 27	35 25	33 23	45 35
6	Территория жилой застройки	7-23 23-7	75 67	66 57	59 49	54 44	50 40	47 37	45 35	43 33	55 45
7	Сады, парки, площадки отдыха	7-23 23-7	67	57	49	44	40	37	35	33	45
8	Спальные помещения в детсадах	7-23 23-7	63 55	52 44	45 35	39 29	35 25	32 22	30 20	28 18	40 30
9	Классные помещения аудитории	7-23 23-7	63	52	45	39	35	32	30	28	40
10	Пришкольные участки, конструкторские бюро	7-23 23-7	71	61	54	49	45	42	40	38	50
11	Стадионы	7-23 23-7	79	70	63	58	55	52	50	49	60

Звукоизоляция окон и остеклений

№ пп	Конструкция окна	Формула остекления (толщина стекол и воздушных промежутков в мм)	Количество уплотняющих прокладок в притворе	$R_{А,тран.}$, дБА
1	2	3	4	5
Окна деревянные				
1.	Одинарное со стеклопакетом ОСП (#М12291 9055786ГОСТ 24700-81#S)	3+12+3	1	25
2.	То же	4+16+4	2	27
3.	Спаренное ОС (#М12293 0 9055783 3271140448 4264252782 247265662 4292034300 557313239 2960271974 3594606034 4293087986ГОСТ 11214-86#S)	3+57+3	1	26
4.	То же	4+56+4	2	28
5.	Раздельное ОР (#М12293 0 9055783 3271140448 4264252782 247265662 4292034300 557313239 2960271974 3594606034 4293087986ГОСТ 11214-86#S)	3+92+3	1	28
6.	То же	3+92+3	2	30
7.	То же	4+91+4	2	31
8.	То же	3+90+6	2	32
9.	Раздельное со стеклопакетом и стеклом 03 РСП (#М12293 0 9055785 3271140448 3005608049 247265662 4292034300 557313239 2960271974 3594606034 4293087986ГОСТ 24699-81#S)	3+16+3+57+3	3	32
10.	То же	4+14+4+57+4	3	33
11.	Раздельно-спаренное 03 РС (#М12293 0 9055784 3271140448 750120678 247265662 4292034300 557313239 2960271974 3594606034 4293087986ГОСТ 16289-80#S)	3+54+3+46+3	3	33
12.	То же	4+54+4+46+4	3	35
13.	Дерево-алюминиевый оконный блок спаренный	5+70+5	2	31
Металлические витражи с глухим остеклением				


14.	Одинарный со стеклопакетом	4+16+4	-	28
15.	То же	4+30+4	-	29
16.	То же	8+25+8	-	33
17.	Двойной	4+100+4	-	33
18.	То же	4+200 +4	-	35
19.	То же	8+100+8	-	37
20.	То же	8+200+8	-	39
21.	То же	8+400+8	-	41
22.	То же	8+650+8	-	43
Окна повышенной звукоизоляции				
23.	Окно раздельное 2 РШ (МНИИТЭП)	5+129+5	2	36
24.	Окно раздельное со стеклопакетом и стеклом (МНИИТЭП)	6+8+4+117+6	2	41
25.	Окно алюминиевое со стеклопакетом и стеклом	4+20+4+150+4	2	39
Шумозащитные вентиляционные окна				
26.	Раздельное окно с клапаном-глушителем (КГ) 300 мм (МНИИТЭП)	4+90+4	2	31 ---- 22
27.	ОШВ, окно с тройным остеклением (КТБ МОСМ, НИИСФ)	3+22+3+92+3	2	33 ---- 23
28.	Окно спаренное с вертикальным каналом (НИИСФ)	3+57+3	1	26 ---- 24
29.	Окно раздельное ОШВМ (КТБ МОСМ, НИИСФ)	3+117+3	2	31 ---- 24
30.	Окно раздельное с КГ 600 мм (МНИИТЭП)	4+90+4	2	31 ---- 26
31.	Окно раздельное с вертикальным каналом (НИИСФ)	4+90+4	2	31 ---- 28

Федеральное государственное автономное
образовательное учреждение
высшего образования
«СИБИРСКИЙ ФЕДЕРАЛЬНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ»

Инженерно-строительный
институт
Проектирование зданий и экспертиза недвижимости
кафедра

УТВЕРЖДАЮ

Заведующий кафедрой


подпись

Р.А. Назиров
инициалы, фамилия

« ____ » _____ 20 ____ г.

МАГИСТЕРСКАЯ ДИССЕРТАЦИЯ

Снижение уровня шума в решении проектных задач

тема

08.04.01 Строительство

код и наименование направления

08.04.01.04 Проектирование зданий. Энерго- и ресурсосбережение

код и наименование магистерской программы

Научный руководитель


подпись, дата

канд. биологич. наук

должность, учёная степень

Е.Г. Жуль

инициалы, фамилия

Выпускник


подпись, дата

Д.Е. Воробьева

инициалы, фамилия

Рецензент


подпись, дата

к.т.н.
должность, учёная степень

С.Т. Лисенков
инициалы, фамилия

Красноярск 2020