Министерство науки и высшего образования Российской Федерации
Федеральное государственное автономное образовательное учреждение
высшего образования
«Уральский федеральный университет
имени первого Президента России Б.Н. Ельцина»

Институт Строительства и Архитектуры

Кафедра Информационное моделирование в строительстве

ДОПУСТИТЬ К ЗАЩИТЕ ПЕРЕД ГЭК

Заведующий кафедрой ИМС
_____ С. В. Придвижкин
(подпись)
«_____» _____2023 г.

ВЫПУСКНАЯ КВАЛИФИКАЦИОННАЯ РАБОТА

АВТОМАТИЗАЦИЯ РАСЧЕТА ШУМА ОТ ВНЕШНИХ ИСТОЧНИКОВ В ИНФОРМАЦИОННОЙ МОДЕЛИ ЗДАНИЯ

Научный руководитель: д-р. эконом. наук,
профессор С.В. Придвижкин
Нормоконтролер: Т.А. Варгина
Студент группы СТМ-211001
М. И. Синченкина

Екатеринбург
2023

Министерство науки и высшего образования Российской Федерации
Федеральное государственное автономное образовательное учреждение
высшего образования
«Уральский федеральный университет имени первого Президента России Б.Н.Ельцина»

Институт Строительства и Архитектуры
Кафедра Информационное моделирование в строительстве
Направление 08.04.01 – Строительство
Образовательная программа «Информационное моделирование зданий, сооружений и территорий»

УТВЕРЖДАЮ
Зав. кафедрой ИМС
_____ Придвижкин С.В.
(подпись) (Ф.И.О.)
«____»_____2023 г.

ЗАДАНИЕ
на выполнение выпускной квалификационной работы

студента Синченкиной Марии Игоревны группы СТМ-211001
(фамилия, имя, отчество)

1. **Тема ВКР:** «Автоматизация расчета шума от внешних источников в информационной модели здания»
Утверждена распоряжением по институту от «11» октября 2022г. № 33-03-05/12(02)а

2. Руководитель Придвижкин С.В., докт. эконом. наук, профессор
(Ф.И.О., должность, ученое звание, ученая степень)

3. Исходные данные к работе

Литературные, справочные и нормативные материалы по расчету шума. Предоставленные информационные модели зданий, проектная документация

4. Содержание пояснительной записки (перечень подлежащих разработке вопросов)

Введение

1. Общие понятия

2. Анализ развития и применения технологий информационного моделирования для расчета шума

3. Техническое задание

4. Расчет шума в ПК «FORMIT»

5. Генерация отчета в ПК «FORMIT»

6. Результаты тестирования ПК «FORMIT»

Заключение

Список литературы

5. Перечень демонстрационных материалов (в этих позициях - схемы, алгоритмы, методики, результаты в удобной последовательности изложения)

1. Слайды, показывающие, теоретическую часть вопроса.
2. Слады, демонстрирующие результаты разработки ПК «FORMIT».
3. Слайды, содержащие выводы по результатам работы.

6. Консультанты по проекту (работе) с указанием относящихся к ним разделов проекта

Раздел	Консультант	Подпись, дата	
		задание выдал	задание принял
Литературный обзор	Придвижкин С.В.		
Анализ развития и применения технологий информационного моделирования для расчета шума	Придвижкин С.В.		
Техническое задание	Придвижкин С.В.		
Расчет шума в ПК «FORMIT»	Придвижкин С.В.		
Результаты тестирования ПК «FORMIT»	Придвижкин С.В.		
Оформление диссертационной работы и подготовка презентации	Придвижкин С.В.		

7 Календарный план

Наименование этапов выполнения работы	Срок выполнения этапов работы	Отметка о выполнении
Литературный обзор	15.03.2023	
Анализ развития и применения технологий информационного моделирования для расчета шума	01.04.2023	
Техническое задание	15.04.2023	
Расчет шума в ПК «FORMIT»	01.05.2023	
Результаты тестирования ПК «FORMIT»	15.05.2023	
Оформление диссертационной работы и подготовка презентации	30.05.2023	

Руководитель _____ Придвижкин С.В.
(подпись) Ф.И.О.

Задание принял к исполнению Синченкина М.И._____
(подпись)

8 Выпускная работа закончена «_01_» ____июня_____ 2023 г.

Считаю возможным допустить ___Синченкину Марию Игоревну___ к защите его выпускной квалификационной работы в экзаменационной комиссии.

Руководитель _____

9. Допустить _Синченкину Марию Игоревну к защите выпускной квалификационной работы в экзаменационной комиссии (протокол заседания кафедры № _5_ от «_6_» _июня_ 2023 г.)

Зав. кафедрой _____

РЕФЕРАТ

Отчет 78 с., 19 рис., 3 табл., 33 источн.

Ключевые слова: акустический расчет, информационная модель, архитектура, шум, источники шума, расчетная точка, уровень звука.

Объект ВКР – автоматизированные акустические расчеты в информационной модели здания для разработки проектной документации.

Цель работы – формирование технического задания для создания программного комплекса для акустического расчета внешнего и внутреннего шума, с дальнейшим тестированием полученных расчётных модулей.

Методы исследования – анализ, моделирование, классификация, аналогия, эксперимент.

В результате работы было составлено техническое задание, на основе которого создан ПК «FORMIT». Выполнено тестирование ПК, а также проведен сравнительный анализ результатов ручного расчета с результатами, сформированными программным комплексом. Обозначены цели дальнейшего развития данного проекта.

Область применения полученных результатов – проектные организации.

Практическая значимость работы заключается в возможности использования проектными организациями программного комплекса для подготовки проектной документации.

СОДЕРЖАНИЕ

ТЕРМИНЫ И ОПРЕДЕЛЕНИЯ 5
ПЕРЕЧЕНЬ СОКРАЩЕНИЙ И ОБОЗНАЧЕНИЙ 7
ВВЕДЕНИЕ 8
РАЗДЕЛ 1 ОБЩИЕ ПОНЯТИЯ 11
1.1 Параметры шума 12
1.2 Источники шума и его характеристики 13
1.3 Расчет шума с точки зрения проектной документации 14
РАЗДЕЛ 2 АНАЛИЗ РАЗВИТИЯ И ПРИМЕНЕНИЯ ТЕХНОЛОГИЙ ИНФОРМАЦИОННОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ ДЛЯ РАСЧЕТА ШУМА 17
2.1 Анализ рынка программ по расчету шума 17
2.2 Разработка CJM 22
РАЗДЕЛ 3 ТЕХНИЧЕСКОЕ ЗАДАНИЕ 26
3.1 Расчёт звукоизоляции перегородки 27
3.2 Расчет звукоизоляции конструкции междуэтажного перекрытия 32
3.2.1 Расчет звукоизоляции конструкции междуэтажного перекрытия от ударного шума 34
3.3 Расчет ожидаемого уровня шума в офисных помещениях, расположенных над инженерным оборудованием 35
3.4 Расчет уровня звука в жилой застройке 37
РАЗДЕЛ 4 РАСЧЕТ ШУМА В ПК «FORMIT» 43
4.1 Требования к информационной модели 43
4.2 Экспорт ТИМ-модели 47
4.3 Порядок выполнения расчета в ПК «FORMIT» 50
4.3.1 Расчет звукоизоляции перегородки в ПК «FORMIT» 50
4.3.2 Расчет звукоизоляции конструкции междуэтажного перекрытия в ПК «FORMIT» 52
РАЗДЕЛ 5 ГЕНЕРАЦИЯ ОТЧЕТА В ПК «FORMIT» 54

5.1 Формирование отчета в ПК «FORMIT» 54
5.2 Результаты тестирования ПК «FORMIT» 58
ЗАКЛЮЧЕНИЕ 59
СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ 61
ПРИЛОЖЕНИЕ А 65
ПРИЛОЖЕНИЕ Б 69
ПРИЛОЖЕНИЕ В 72
ПРИЛОЖЕНИЕ Г 75

ТЕРМИНЫ И ОПРЕДЕЛЕНИЯ

Изоляция воздушного шума (звукоизоляция)	– способность ограждающей конструкции и уменьшать проходящий через нее звук
Информационная модель объекта капитального строительства	– совокупность взаимосвязанных сведений, документов и материалов об объекте капитального строительства, формируемых в электронном виде на этапах выполнения инженерных изысканий, осуществления архитектурно-строительного проектирования, строительства, реконструкции, капитального ремонта, эксплуатации и (или) сноса объекта капитального строительства
Максимальный уровень звука	– уровень звука непостоянного шума, соответствующий максимальному показанию измерительного, прямо-показывающего прибора (шумомера) при визуальном отсчете, или уровень звука, превышаемый в течение 1 % длительности измерительного интервала при регистрации шума автоматическим оценивающим устройством (статистическим анализатором)
Октавная полоса	– это диапазон частот, у которого верхняя граничная частота в 2 раза выше нижней
Программный комплекс	– набор взаимодействующих программ, согласованных по функциям и форматам, имеющих единообразные, точно определенные интерфейсы, и составляющих полное средство для решения больших задач
Уровень звука	– уровень звукового давления шума в нормируемом диапазоне частот, корректированный по частотной характеристике А шумомера по ГОСТ 17187 в дБА

Уровень звуковой мощности	– десятикратный десятичный логарифм отношения звуковой мощности к пороговой звуковой мощности
Шумозащитные экраны	– сооружения в виде вертикальных или наклонных стенок различной конструкции, земляных насыпей, выемок, галерей и т.п., установленные вдоль автомобильных и железных дорог с целью снижения шума
Эквивалентный (по энергии) уровень звука, дБА	– уровень звука постоянного шума, который имеет то же самое среднеквадратическое звуковое давление, что и исследуемый непостоянный шум в течение определенного интервала времени

ПЕРЕЧЕНЬ СОКРАЩЕНИЙ И ОБОЗНАЧЕНИЙ

CJM – Customer Journey Map (карта пути клиента)

MVP – Minimal Viable Product (минимально жизнеспособный продукт)

Гц – единица измерения герцы

дБ – единица измерения децибел

дБА – единица измерения акустический децибел

ИМ – информационная модель

ИШ – источник шума

кг/м^3 – единица измерения килограмм на 1 метр кубический

м^2 – единица измерения метры квадратные

Па – единица измерения Паскали

ПК – программный комплекс

РТ – расчетная точка

СНиП – строительные нормы и правила

СП – свод правил

ТИМ – технологии информационного моделирования.

ВВЕДЕНИЕ

В современном мире строительная отрасль активно развивается, и человечество заботит не только вопросы прочности, устойчивости и сохранения тепла, а также вопросы комфорта человека внутри здания. Одним из показателей комфорта является уровень шума.

Под термином «шум» понимают различные неприятные звуки либо совокупность звуков, препятствующих восприятию полезных сигналов, нарушающих тишину, оказывающих неблагоприятное воздействие на организм человека в целом.

Современный человек постоянно подвергается различного рода шумовым воздействиям. Уровень шума в квартирах зависит от расположения дома относительно источников шума, внутренней планировки помещений различного назначения, звукоизоляции конструкций здания, оснащения его инженерно-технологическим и санитарно-техническим оборудованием. Учеными неоднократно доказано, что шум снижает работоспособность на 30%, повышает вероятность получения травмы, а также может являться причиной развития заболеваний.

Не только комфорт человека играет ключевую роль в процессе проектирования, также немаловажным пунктом является автоматизация процессов проектирования. Автоматизация имеет множество преимуществ, включая:

1. увеличение точности и скорости. Автоматизация позволяет выполнять задачи быстрее и точнее, что может увеличить производительность и эффективность проектирования;

2. снижение трудозатрат. Автоматизация может снизить время выполнения задач, что может привести к снижению временных издержек;

3. улучшение качества проекта. Автоматизация может повысить качество проекта, так как автоматизированные системы могут выполнять задачи более точно и надежно.

Данная тема актуальна, поскольку автоматизация акустического расчета позволит, только имея информационную модель здания, характеристики источников шума и расчётных точек, значительно экономить время. Строительные компании пытаются максимально автоматизировать работу своих сотрудников, поэтому созданный программный комплекс будет востребован на рынке.

Цель исследования: формирование технического задания для создания программного комплекса для акустического расчета внешнего и внутреннего шума, с дальнейшим тестированием полученных расчётных модулей.

Опираясь на цель исследования, были сформулированы следующие задачи:

– исследование существующих программных комплексов для расчета шума;

– сравнение характеристик и возможностей существующих программных комплексов;

– формирование списка требований к разрабатываемому программному продукту;

– изучение нормативной базы для выполнения акустического расчета;

– формирование технического задания для разработки ПК «FORMIT»;

– разработка CJM;

– создание модулей ПК для расчета шума на основе информационной модели с дальнейшим тестированием;

– анализ полученных результатов.

Объектом исследования является автоматизированные акустические расчеты в информационной модели здания для разработки проектной документации.

Предметом исследования является создание программного комплекса для автоматизации акустического расчета на основе информационной модели здания.

Научная новизна заключается в создании нового ПК для расчёта шума, включающего в себя все типы расчета, необходимые для разработки ПД.

В результате работы было составлено техническое задание, на основе которого создан ПК «FORMIT». Выполнено тестирование ПК, а также проведен сравнительный анализ результатов ручного расчета с результатами, сформированными программным комплексом. Обозначены цели дальнейшего развития данного проекта.

В работе применяются следующие методы исследования: анализ, моделирование, классификация, аналогия, эксперимент.

РАЗДЕЛ 1 ОБЩИЕ ПОНЯТИЯ

Защита от шума – одного из основных неблагоприятных факторов жизни человека – стоит на ряду с ключевыми вопросами проектирования.

Современные мегаполисы насыщены множеством мобильных и стационарных источниками шума: автомобильный и железнодорожный транспорт, различное инженерное оборудование, многочисленные локальные источники шума на территории жилой застройки. В большинстве случаев уровень шума в жилых помещения превышает санитарные требования, что пагубно влияет на здоровье и состояние человека.

Защита от шума является комплексной проблемой, которая включает в себя ряд технических, экономических, гигиенический и административных задач. Технической задачей прежде всего является борьба с шумом архитектурно–планировочными и строительными – акустическими методами.

Шум – сочетание звуковых волн различных по силе и частоте, оказывающее вредное или раздражающее воздействие на организм человека. В таблице 1 приведена классификация шумов.

Таблица 1 – Классификация шумов

№	Способ классификации	Виды шума
1.	По временным характеристикам	Постоянный (уровень звука за 8–часовой рабочий день изменяется не более чем на 5 дБ(А)).
		Непостоянный (уровень звука за 8–часовой рабочий день изменяется более чем на 5 дБ(А)): – колеблющиеся во времени (уровень звука непрерывно изменяется во времени), – прерывистые (уровень звука изменяется ступенчато не более чем на 5 дБ(А), длительность интервала 1с и более), – импульсные (состоят из одного или нескольких звуковых сигналов, длительность интервала меньше 1с).

Продолжение таблицы 1

2.	По характеру спектра:	Широкополосный шум с непрерывным спектром шириной более 1 октавы.
		Тональный шум, в спектре которого имеются выраженные тона. Выраженным тон считается, если одна из третьоктавных полос частот превышает остальные не менее, чем на 10 дБ.
3.	По частотной характеристике:	Низкочастотный (<300 Гц)
		Среднечастотный (300—800 Гц)
		Высокочастотный (>800 Гц)
4.	По способу распространения:	Воздушный (если источник не связан с конструкциями здания и звук излучается в воздушную сред).
		Структурный (среда передачи твердые и жидкие материалы).
		Ударный (возникающий при ударах. В результате удара возникают колебания, которые передаются на стены и перекрытия)

1.1 Параметры шума

Причиной возникновения шума являются колебания упругой среды. Возникающая продольная волна из чередующихся во времени сжатий и разряжений в слое воздуха, который примыкает к колеблющемуся объекту, воздействует на слух человека.

Звуки, воспринимаемые человеческим ухом, находятся в частотном диапазоне от 16 до 20000 Гц. Существует несколько параметров, по которым характеризуется шум:

– Интенсивность звука – это физическая величина, характеризующая количество энергии, переносимое звуковой волной за 1 секунду через площадь в 1м², перпендикулярно распространению звуковой волны [Вт/м²];

– Звуковое давление – это разность между мгновенным значением полного давления и средним значением в невозмущённой среде. Это

дополнительное давление воздуха, которое возникает при прохождении через него звуковой волны [Па];

– Частота – это число полных колебаний в единицу времени [Гц];

– Звуковая мощность – это общее количество звуковой энергии, излучаемой источником шума в окружающее пространство за единицу времени.

1.2 Источники шума и его характеристики

В зависимости от источников, шум можно поделить на внешний и внутренний. Основными внутренними источниками шума является оборудование (инженерное и технологическое), а также сам человек: громкая музыка, ремонт и т.д. Шум является одной из важнейших характеристики комфорта человека внутри здания, поэтому застройщики уделяют особое внимание выбору инженерного оборудования, техническая информация которого должна содержать шумовые характеристики. А также выбору материалов ограждающих конструкций, которые должны препятствовать распространению звука. При этом во время подготовки проектной документации выполняется расчет стен и перекрытий для подтверждения их способности препятствовать распространению звуковых волн.

Ко второму типу относят внешний шум, основными источниками которого являются различного типа транспортные средства (автомобильный, железнодорожный, водный и воздушный транспорт), промышленные и энергетические предприятия, находящиеся в близи строящегося дома, места массового скопления людей (стадионы), а также внутриквартальные источники шума и т.д. К внутриквартальным источникам шума относят транспорт в местах въезда в гаражи, стоянки.

1.3 Расчет шума с точки зрения проектной документации

Согласно СП 51.13330.2011 «Защита от шума» при разработке разделов проектной документации вопросы шумозащиты должны быть освещены в зависимости от типа здания в следующих разделах:

– "Технологические решения" (для производственных предприятий);

– "Архитектурно-строительные решения" (для объектов жилищно-гражданского строительства);

– "Строительные решения" (для производственных предприятий);

– "Инженерное оборудование" (на основе расчета ожидаемых уровней шума, создаваемого инженерным оборудованием здания).

Порядок акустического расчета также определен СП и должен состоять из следующих этапов:

– выявление источников шума (ИШ) и определение их шумовых характеристик;

– выбор расчетных точек (РТ) в помещениях и на территориях;

– определение путей распространения шума от его ИШ до РТ и потерь звуковой энергии по каждому из путей (снижение за счет расстояния, экранирования, звукоизоляции ограждающих конструкций, звукопоглощения и др.);

– определение ожидаемых уровней шума в расчетных точках;

– определение требуемого снижения уровней шума на основе сопоставления ожидаемых уровней шума с допустимыми уровнями шума;

– разработка мероприятий по обеспечению требуемого снижения уровней шума;

– проверочный расчет достаточности выбранных шумозащитных мероприятий для обеспечения защиты объекта или территории от шума.

Исходные данными для акустического расчета включают:

– планы и сечения помещений с указанием расположения технологического и инженерного оборудования и других ИШ, РТ;

– информация о характеристиках ограждающих конструкций здания (материал, толщина, плотность и др.);

– характеристики и геометрические размеры источников шума.

Расчетные точки в производственных и вспомогательных помещениях выбирают на рабочих местах и (или) в зонах постоянного пребывания людей на высоте 1,5 м от пола. В помещении с одним ИШ или с несколькими однотипными источниками одна РТ берется на рабочем месте в зоне прямого звука источника, другая - в зоне отраженного звука на месте постоянного пребывания людей, не связанных непосредственно с работой данного ИШ. В помещении с несколькими ИШ, уровни звуковой мощности которых различаются на 10 дБ и более, РТ выбирают на рабочих местах у источников с максимальными и минимальными уровнями. В помещении с групповым размещением однотипного оборудования РТ выбирают на рабочем месте в центре групп с максимальными и минимальными уровнями.

Расчетные точки на территориях, непосредственно прилегающих к жилым и общественным зданиям, следует намечать на расстоянии 2 метров от ограждающих конструкций этих зданий, ориентированных на ИШ, на уровне середины окон. При необходимости расчет производится для промежуточных этажей зданий. В тех случаях, когда защищаемое от шума здание расположено на расстоянии свыше 100 м от ИШ, РТ допускается располагать только на уровне середины окон верхнего этажа. В тех случаях, когда здание частично находится в зоне звуковой тени, а частично в зоне видимости ИШ, РТ должны располагаться вне зоны звуковой тени. РТ на площадках отдыха микрорайонов, кварталов и групп жилых домов следует намечать на ближайшей к ИШ границе площадок на высоте 1,5 м от их поверхности предпочтительно в зоне видимости ИШ.

Разбивка территории застройки на отдельные участки, отличающиеся по шумовым характеристикам или условиям распространения шума, производится в следующих случаях:

– между ИШ и РТ расположены какие-либо экраны: шум в расчетную точку поступает с двух или более улиц или дорог;

– улица или дорога в пределах застраиваемого участка изменяет свое направление.

РАЗДЕЛ 2 АНАЛИЗ РАЗВИТИЯ И ПРИМЕНЕНИЯ ТЕХНОЛОГИЙ ИНФОРМАЦИОННОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ ДЛЯ РАСЧЕТА ШУМА

2.1 Анализ рынка программ по расчету шума

Для проведенного исследования были проанализированы уже существующие программные комплексы по расчету шума (см. таблицу 2). Особое внимание уделяется нормативным документам, на основе которых работают данные программные комплексы. На данный момент на территории РФ действующими нормативными документами являются:

- СП 51.13330.2011 Защита от шума;
- СП 23-103-2003 «Проектирование звукоизоляции ограждающих конструкций жилых и общественных зданий».

В таблице 2 представлены программы, которые специализируются на расчете шума, при этом у каждой программ свой уникальный подход к решению задачи. В своем расчете программы ссылаются на различные нормативные документы и специализируются на определенных видах расчета. К сожалению, программа, которая реализует все типы расчета, необходимые для разработки проектной документации жилого дома, на рынке отсутствует.

Таблица 2 – Обзор существующих ПК

№	ПК	Методическая основа	Объект расчета	Интеграция с ТИМ	Стоимость
1.	SoundPlan	ISO 3382-3; VDI 2569; DIN 18041.	– позволяет вычислить уровень шума, производимого автомобильными и железными дорогами, промышленными источниками и парковками; – составление карт шума жилой застройки.	–	3000$
2.	Эколог-шум	СП 51.13330.2011 «Защита от шума. Актуализированная редакция СНиП 23-03-2003»; ГОСТ 31295.1-2005 (ИСО 9613-1:1993); ГОСТ 31295.2-2005 (ИСО 9613-2:1996); ГОСТ 56234.3-2019	– оценка шумового воздействия на территориях, прилегающих к промышленным предприятиям и транспортным магистралям; – разработка и оценка эффективности шумозащитных мероприятий; – определение санитарно–защитных зон по фактору шума проектируемых и существующих предприятий; – экологический аудит промышленных, коммунальных и транспортных предприятий по фактору промышленного и транспортного шума.	–	30 000 руб.

Продолжение таблицы 2

3.	Ситис: Солярис Аналитик	СНиП 23-03-2003 «Защита от шума»	– расчет шума от промышленных источников на территории и от транспортных потоков в точках на территории и внутри помещений в соответствии с методикой, приведенной в СНиП 23-03-2003 «Защита от шума».	Есть (только экспорт результатов)	74 400 руб.
4.	Exnoise	СНиП II-12-77 «Защита от шума» СНиП II-12-79 «Защита от шума»	– расчет уровней транспортного шума; – расчет уровней шума, создаваемых точечными технологическими и вентиляционными источниками в октавном диапазоне.	–	–
5.	Шум	СНиП II-12-77 "Защита от шума"; ГОСТ 12.1.003-83 "Шум. Общие требования безопасности"; СН 2.2.4./2.1.8.562-96 "Шум на рабочих местах, в помещениях жилых, общественных зданий и на территории жилой застройки"; СН 2.2.1./2.1.1.984-00 "Санитарно-защитные зоны и санитарная классификация предприятий и сооружений";	– расчет санитарно-защитной зоны промышленных предприятий по фактору шума.	–	18 700 руб.

Продолжение таблицы 2

6.	Стар	СНиП 11-12-77, ч.II, гл . 12. "Защита от шума" Пособия по составлению раздела проекта (рабочего проекта) "Охрана окружающей природной среды" к СНиП 1.02.01-85.	- расчет уровня шума, распространяемого системами вентиляции и кондиционирования воздуха.	–	–
7.	Арм-акустика	СП 51.13330.2011 «Защита от шума. Актуализированная редакция СНиП 23-03-2003»; ГОСТ Р 54933-2012 ГОСТ-31295.1,2-2005	– расчет шума от работы технологического оборудования; систем вентиляции, кондиционирования и холодоснабжения; – расчет шума от транспортных потоков и локальных источников; – оценка шума на рабочих местах предприятий; – разработка комплекса шумозащитных мероприятий; – разработка разделов по оценке физических факторов воздействия в документации «Перечень мероприятий по охране окружающей среды», «Обоснование санитарно-защитной зоны», «Архитектурно-строительная акустика» и др.	–	150 000 руб.

Наиболее часто используемыми программами среди вышеперечисленных являются «SoundPlan», «Ситис: Солярис-Аналитик» и «Эколог-шум». В основе программы «SoundPlan» лежат иностранные нормативные документы. Несмотря на наличие сертификата соответствия, проблема русификации остаются нерешенными.

Связь с ТИМ имеет только один из представленных ПК - «Ситис: Солярис-Аналитик». Данная программа предназначена для выполнения расчета шумозащиты, проверки выполнения рассчитанных значений нормативным требованиям и анализа затемняющих расчетную точку объектов. «Ситис: Солярис-Аналитик» может только экспортировать результаты расчета в ТИМ-модель, но получать данные для расчета из ТИМ-модели не может.

Не смотря на главное преимущество «Ситис: Солярис-Аналитик», наиболее распространенным на рынке является «Эколог-шум» ввиду своего функционала расчета внешнего шума. Главным преимуществом «Эколог-шум» является способность учитывать шум от разных источников в одной расчетной точке. Функционал программного комплекса «Эколог-Шум» предоставляет возможность вносить корректировки не только в исходные данные проекта, но и изменять объекты необходимые для расчета (ИШ, РТ, препятствия и т.д).

В ходе анализа были выявлены основные недостатки существующих ПК:

– отсутствие полной интеграции с ТИМ;
– отсутствие универсальности программы (для всех типов расчета);
– выгрузка отчета в ненадлежащей форме;
– отсутствие полной информации о существующих ПК на рынке.

На основе сформулированных недостатков конкурентов был составлен перечень требований к разрабатываемому ПК «FORMIT»:

– интеграция с ТИМ-сервисами;
– доступность использования (продукт будет доступен к использованию через любой браузер, не требует установки специализированного ПО);

– минимизация участия человека в расчете;

– генерация отчета в соответствии с ГОСТ для государственных и частных экспертиз;

– вариативная возможность расчета шума внешних и внутренних источников здания, используя ТИМ-модель.

2.2 Разработка CJM

CJM (от англ. Customer Journey Map – карта пути клиента) – это данные, показывающие все взаимодействия клиента с программой начиная от первого клика до выхода пользователя из системы. Написание CJM – это процесс, который включает в себя следующие шаги:

1. определение целевой аудитории. Определение того, кто будет являться пользователем ПК, а также какие вопросы пользователя должны быть решены программой;

2. изучение процесса взаимодействия пользователя с ПК. Для этого необходимо разбить процесс на отдельные этапы, начиная с первого контакта и заканчивая выходом из системы;

3. определение ключевых точек контакта. Выявление основных этапов взаимодействия пользователя с ПК;

4. оценка качества работы ПК. Тестирование с целью оценки качества работы программного комплекса;

5. создание визуализации CJM. Построение диаграммы, которая отображает все этапы пути пользователя, ключевые точки взаимодействия;

6. оценка эффективности CJM. Определение того, насколько хорошо CJM отображает путь пользователя и как можно улучшить его эффективность.

Рисунок 1 – CJM

На рисунке 1 представлена CJM, поделенная на 5 этапов.

1. потребность. Сначала у пользователя возникает необходимость решения проблемы, в данном случае выполнить расчет шума при разработке проектной документации;

2. поиск решения. Сформулировав все требования к желаемому продукту, пользователь осуществляет поиск подходящих вариантов. Пользователь производит сравнение представленных на рынке программ для расчета шума, опираясь на собственные критерии выбора. Наличие конкурентных преимуществ ПК «FORMIT» поможет пользователю сделать выбор в пользу нашего продукта;

3. выбор сервиса. После того как пользователь сделал выбор в пользу данного ПК, необходимо предоставить все условия для комфортного перехода к использованию новому клиенту;

4. сервис. Пользователь переходит к первому использованию ПК, при котором важно поддерживать контакт с пользователем, помогая в решении возникших проблем;

5. результат. Пользователь завершает тестирование первое использование программы, удовлетворенный результатом, делает выбор в пользу постоянного использования ПК «FORMIT».

Пред началом работы с программой пользователю необходимо выполнить определенные действия в информационной модели, а именно:

– выполнить разработку информационной модели здания;

– осуществить сбор данных об источниках шума и разместить их в информационной модели, а также внести все необходимые параметры;

– разместить расчетные точки, заполнив необходимые параметры;

– определение препятствий распространения шума, и нанести их при необходимости.

Расчет внутреннего шума глазами пользователя состоит из следующих этапов:

1. выбор конструкций (стена/перекрытие) подлежащих расчету;

2. проверка корректности предоставляемых программой данных необходимых для расчета (в дальнейшем при усовершенствовании ПК данный пункт должен свестись к минимуму);

3. при расчете шума от инженерного оборудования производиться выбор источников шума (ИШ) и расчетных точек (РТ);

4. проведение анализа данных на соответствие СП 51.13330.2011 «Защита от шума» и СП 23-103-2003 «Проектирование звукоизоляции ограждающих конструкций жилых и общественных зданий»;

5. ввод дополнительных данных и выполнение повторного расчета (при необходимости);

6. формирование отчета.

Расчет внешнего шума глазами пользователя состоит из следующих этапов:

1. выбор ИШ и РТ, которые в данный момент будут рассчитываться;

2. ввод дополнительных необходимых данных для расчета (в дальнейшем при усовершенствовании ПК данный пункт должен свестись к минимуму);

3. настройка взаимосвязи между препятствиями (при наличии) и источниками шума (каждое препятствие «мешает» своему источнику шума);

4. проведение анализа данных в соответствии с СП 51.13330.2011 «Защита от шума»;

5. выполнение повторного расчета с вводом дополнительных параметров (при необходимости);

6. формирование отчета.

Результатом является отчет, содержащий подробный расчет с выводом всех формул и их числовыми значениями. Отчет включает в себя графические материалы и таблицы для удобства восприятия информации, а также для дальнейшего использования результатов отчета в подготовке проектной документации.

РАЗДЕЛ 3 ТЕХНИЧЕСКОЕ ЗАДАНИЕ

Техническое задание (ТЗ, техзадание) – документ или несколько документов, определяющих цель, структуру, свойства и методы какого-либо проекта, и исключающие двусмысленное толкование различными исполнителями.

В данной работе представлено техническое задание, содержащее формулы и ссылки на основные нормативные документы, а также предоставлены примеры расчетов в приложениях А – Г.

Техническое задание, представленное в данной работе, является сокращенной версией основного ТЗ. Основное техническое задание содержало в своей структуре все необходимые таблицы и рисунки для упрощения работы программиста.

Данное техническое задание составлено для разработки расчетных модулей ПК «FORMIT».

Программный комплекс должен решить проблему автоматизации акустического расчета. Кроме того, программа формирует и выводит готовый отчет для использования в проектной документации.

Программа состоит из трех, последовательно используемых, компонентов:

– импорт ТИМ модели;
– расчет;
– генерация отчета.

При работе с программой через веб-браузер, должен быть предоставлен постоянный доступ к приложению, расположенному по определённому URL–адресу. Работа веб-сервиса не должна резко прерываться. В случае ошибки работы программы или недоступности веб-версии, должен быть сохранен текущий этап расчета.

Программа выполняет следующие расчёты:

– расчёт звукоизоляции перегородки;

– расчет звукоизоляции конструкции междуэтажного перекрытия (в том числе расчет звукоизоляции конструкции междуэтажного перекрытия от ударного шума);

– расчет ожидаемого уровня шума в офисных помещениях, расположенных над инженерным оборудованием;

– расчет уровня звука в жилой застройке.

После создания программы будет выполнено тестирование с целью проверки правильного выполнения программой заложенных в нее функций в соответствии с ТЗ. Требования к информационной модели перед началом расчета см. пункт 4.1.

3.1 Расчёт звукоизоляции перегородки

1. В пространство ПК подгружаются 3D – виды из информационной модели, процесс создания описан в пункте 4.2;
2. Пользователю необходимо выбрать стену (или несколько стен), подлежащую расчету. При нажатии на стену она выделяется цветом;
3. Далее пользователь выбирает из предложенного списка «наименование и расположение ограждающей конструкции» для каждого типа стены, для этого в ПК должна быть встроена таблица 1 [2]. По выбранному типу конструкции назначается R_W (нормируемое значение индекса звукоизоляции воздушного шума);
4. ПК проверяет заполнен ли у данной стены параметр «Плотность» у материалов. Если данные отсутствуют, то пользователю необходимо данным параметром задаться с клавиатуры. Если конструкция многослойная, то ПК высчитывается среднюю плотность, как среднее арифметическое, при этом необходимо, чтобы программа спросила у пользователя, то ли число берется в расчет, и предложила пользователю ввести свое число, если не устраивает данное;

5. Таким образом, для каждой стены в раскрывающемся списке создается перечень параметров подлежащих уточнению такие, как: средняя плотность, нормируемое значение индекса звукоизоляции воздушного шума R_W, коэффициент K (см. пункт 9);

6. Следующим этап: найти интерполяцией частоту, соответствующую точке В графика $f_{B,}$(см. таблицу 8 [2].);

7. Получившееся значение из пункта 6 округляем до среднегеометрической частоты (см. таблицу 9 [2]);

8. Высчитывается масса конструкции на 1 м^2 – толщина каждого слоя умножается на соответствующую плотность и суммируется:

$$m = \sum p \times \delta, \quad (1)$$

где $m -$ масса конструкции, кг;

$p -$ плотность каждого слоя, кг/м^3;

$\delta -$ толщина каждого слоя, м.

9. Высчитывается эквивалентная масса

$$m_э = m \times K, \quad (2)$$

где $m_э -$ эквивалентная масса, кг;

$m -$ масса конструкции, кг;

$K -$ коэффициент, учитывающий относительное увеличение изгибной жесткости ограждения из бетонов на легких заполнителях, поризованных бетонов и т.п. по отношению к конструкциям из тяжелого бетона с той же поверхностной плотностью. При плотности конструкции 1800 кг/м^3 и более K = 1, при плотности менее 1800 кг/м^3, определяется по таблице 10 [2].

10. ПК определяет материал с наибольшей толщиной в составе стены и пытается сам определить значение K по таблице из пункта 8. После этого показывает человеку значение для подтверждения пользователем параметра (см. пункт 5).;

11. Определяем ординату точки В по формуле:

$$R_B = 20 \lg m_э - 12, \quad (3)$$

где $m_э -$ эквивалентная масса, кг;

$R_B -$ индекс изоляции воздушного шума в точке В, дБ.

12. Далее выводится график: по оси абсцисс располагаются частоты в Гц в соответствии с таблицей 3, по оси ординат значение R, дБ от 0 с шагом 10 (см. рисунок 2);

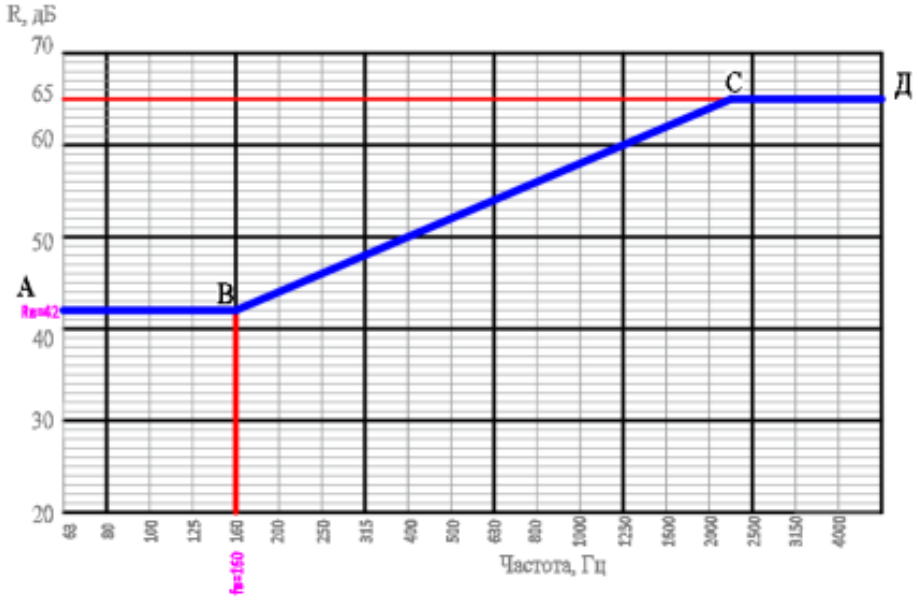


Рисунок 2 – Пример графика

13. Составляем таблицу для нахождения зоны неблагоприятных отклонений (см. таблицу 3);

Таблица 3 – Нахождения зоны неблагоприятных отклонений

№	Параметры	Среднегеометрическая частота 1/3- октавной полосы, Гц																
		100	125	160	200	250	315	400	500	630	800	1000	1250	1600	2000	2500	3150	∑
1.	Расчетная частотная характеристика R, дБ																	
2.	Оценочная кривая, дБ	33	36	39	42	45	48	51	52	53	54	55	56	56	56	56	56	
3.	Неблагоприятные отклонения, дБ																	
4.	Оценочная кривая, смещенная, дБ																	
5	Неблагоприятные отклонения от смещенной оценочной кривой, дБ																	
6.	Индекс изоляции воздушного шума, дБ																	

14. Графа «Расчетная частотная характеристика» заполняется следующим образом: находится значение частоты f_B и вносится значение R_B. Все среднегеометрические частоты менее f_B также заполняются R_B. Каждое последующие значение заполняется с шагом +2 ($f_B + 2$), как только значение будет равно 65 и более, расчет прекращается, остальные ячейки заполняются значением «65»;

15. Строится график из 4х точек ABCD, где координата точки A (0; R_B), точка B ($f_{B,}$; R_B). Если R_Bчетное, абсцисса точки C располагается между частотами R, которых соответствует 64 и 66. Если R_Bнечетное, абсцисса точки C располагается на частоте R, которой соответствует 65. Точка D (5000; 65);

16. Далее из параметра «расчетная частотная характеристика» вычитается параметр «оценочная кривая» в соответствии со своим столбцом таблицы пункта 13. Если получившиеся значение положительное, то клетка остается пустой, если отрицательное, то записывается модуль получившейся разности. Суммируются значение строки «неблагоприятные отклонения» и записываются в конец строки;

17. Далее программа сравнивает получившееся значение из п. 16 со значением 32 дБ пункт 2.1 [2]. При превышении данного значения необходимо выполнить вычитание целого числа децибел для каждого значения оценочной кривой в октавных полосах частот (из строки «расчетная частотная характеристика» вычитается 1 и выполняется пункт 16 ещё раз, если после выполнения операции значение суммы неблагоприятных отклонений превышает 32 дБ операция повторяется до тех пор, пока условие не будет выполнено;

18. В строку «Смещенная оценочная кривая» записывается разница «Оценочной кривой» и «Смещения». Далее из параметра «Смещенная оценочная кривая» вычитается параметр «Расчетная частотная характеристика» в соответствии со своим столбцом таблицы пункта 13 и записывается в строку «Неблагоприятные отклонения от смещенной оценочной кривой». Если получившиеся значение отрицательное, то клетка остается пустой, если положительное, то записывается разность;

19. Суммируются значение строки «Неблагоприятные отклонения от смещённой оценочной кривой» и записываются в конец строки. В строку «Индекс изоляции воздушного шума» записывается значение из строки «Смещенная оценочная кривая», советующая трехоктавной полосе со среднегеометрической частотой 500 Гц. Далее выводится значение индекса звукоизоляции воздушного шума R_w (расчётное), записанное в строке «Индекс изоляции воздушного шума», и сравниваются с значением R_w (нормативное) (см. пункт 4).

Пример отчета см. приложение А.

3.2 Расчет звукоизоляции конструкции междуэтажного перекрытия

1. В пространство ПК подгружаются 3D – виды из информационной модели, процесс создания описан в пункте 4.2;
2. Пользователю необходимо выбрать перекрытие (или несколько перекрытий), подлежащее расчету. При нажатии на перекрытие оно выделяется цветом;
3. Далее пользователь выбирает из предложенного списка «наименование и расположение ограждающей конструкции», для этого в ПК должна быть встроена таблица 1 [2]. По выбранному типу конструкции назначается R_w (нормируемое значение индекса звукоизоляции воздушного шума);
4. ПК проверяет заполнен ли у данного перекрытия параметра «Плотность» у материалов. Если данные отсутствуют, то пользователю необходимо данным параметром задаться с клавиатуры;
5. Таким образом, для каждого перекрытия в раскрывающемся списке создается перечень параметров подлежащих уточнению такие, как: коэффициент K (см. пункт 7), нормируемое значение индекса звукоизоляции воздушного шума R_w, а параметры динамический модуль упругости материала заполнения $E_д$, относительное сжатие материала звукоизоляционного слоя под нагрузкой e;

6. Определяем поверхностные плотности элементов перекрытия:

$$m = p \times \delta, \quad (4)$$

где $p -$ объемный вес материала ограждающей конструкции, кг/м3;

$m -$ поверхностные плотности элементов перекрытия, кг;

$\delta -$ толщина конструкции, м.

Также находим поверхностную плотность для плиты перекрытия:

$$m_1 = p_1 \times \delta_1, \quad (5)$$

где $p_1 -$ объемный вес материала плиты перекрытия, кг/м3;

$m_1 -$ поверхностные плотности плиты перекрытия, кг;

$\delta_1 -$ толщина плиты перекрытия, м.

7. По значению плотности плиты перекрытия определяем коэффициент K (см. раздел 3.1, пункт 8).

Определяем величину R_{w0} для плиты перекрытия:

$$R_{w0} = 37lgm_1 + 55lgK - 43 \quad (6)$$

где $m_1 -$ поверхностная плотность для плиты перекрытия, кг;

$K -$ коэффициент, учитывающий относительное увеличение изгибной жесткости ограждения из бетонов на легких заполнителях, поризованных бетонов и т.п. по отношению к конструкциям из тяжелого бетона с той же поверхностной плотностью. При плотности конструкции 1800 кг/м3 и более K = 1, при плотности менее 1800 кг/м3, определяется по таблице 10 [2];

$R_{w0} -$ индекс изоляции воздушного шума, дБ.

8. Определяем поверхностную плотность отделки пола для количества n слоев;

$$\sum_{i=1}^{n} m = p \times \delta\,; \quad (7)$$

где $p -$ объемный вес материала ограждающей конструкции, кг/м3;

$m -$ поверхностные плотности элементов перекрытия, кг;

$\delta -$ толщина конструкции, м.

9. Вычисляем частоту резонанса конструкции по формуле:

$$f_p = 0{,}16\sqrt{\frac{E_д(m_1 + m_2)}{dm_1m_2}}, \quad (8)$$

где $E_д -$ динамический модуль упругости материала заполнения, Па. Вводится с клавиатуры пользователем;

$d -$ толщина звукоизоляционного слоя в обжатом состоянии, м, определяемая по формуле $d = d_0 \times (1 - e)$

d_0- соответствует толщине звукоизоляционного слоя в метрах,

e – также вводится с клавиатуры.

10. Определяем индекс изоляции воздушного шума R_w данным междуэтажным перекрытием согласно таблице 15 [2] интерполяцией основываясь на значения f_p, R_{w0},$E_д$;

11. Полученное значение из пункта 7 сравниваем со значением R_W (нормируемое значение индекса звукоизоляции воздушного шума) из пункта 4.

Расчетное значение должно превышать нормативное, в обратном случае программа выдает предупреждение пользователю.

3.2.1 Расчет звукоизоляции конструкции междуэтажного перекрытия от ударного шума

Расчет ударного шума строится полностью на основе пункта 3.2 «Расчет звукоизоляции конструкции междуэтажного перекрытия»

1. Определяем значение нормативного уровня ударного шума по таблице 1 [2]. Наименование и расположение ограждающей конструкции назначаются из расчета 2;

2. Вычисляем частоту резонанса конструкции по формуле:

$$f_0 = 0{,}16\sqrt{\frac{E_д}{dm_2}}, \quad (9)$$

где $E_д -$ динамический модуль упругости материала заполнения, Па. Вводится с клавиатуры пользователем;

$d -$ толщина звукоизоляционного слоя в обжатом состоянии, м, определяемая по формуле $d = d_0 \times (1 - e)$

d_0- соответствует толщине звукоизоляционного слоя в метрах, е – также вводится с клавиатуры.

3. Определяем значение $L_{nW0,}$дБ по таблице 18 [2], согласно поверхностной плотности плиты перекрытия m_1 из расчета 2;

4. Определяем индекс приведенного ударного шума данным междуэтажным перекрытием согласно таблице 15 [2] интерполяцией основываясь на значения f_0, $L_{nW0,}$, $E_д$;

5. Полученное значение из пункта 4 сравниваем с со значением $L_{nW,}$ (Нормативный уровень ударного шума) из пункта 1. Расчетное значение должно превышать нормативное, в обратном случае программа выдает предупреждение пользователю.

Пример отчета см. приложение Б.

3.3 Расчет ожидаемого уровня шума в офисных помещениях, расположенных над инженерным оборудованием

1. В пространство ПК подгружаются 3D – виды из информационной модели, процесс создания описан в пункте 4.2;

2. Пользователю необходимо выбрать источники шума и расчетную точку.

3. Источниками шума в данном расчете являются инженерные оборудования, поэтому в семействе оборудования должен быть задан октавный уровень звуковой мощности $L_{W,}$дБ. Расчетная точка должна иметь параметр смещения относительно уровня;

4. Далее программа выводит список источников шума для уточнения нормируемого уровня звука $L_{\text{Аэкв}}$,дБА (эквивалентный уровень звука) и максимального уровня звука $L_{\text{Амах}}$дБА. При этом предлагая свои значения $L_{\text{Аэкв}} = 50$ дБА, $L_{\text{Амах}} = 65$ дБА , но с возможностью редактирования с клавиатуры;

5. Далее пользователь выбирает из предложенного списка «наименование и расположение ограждающей конструкции», для этого в ПК должна быть встроена таблица 1 [2]. По выбранному типу конструкции назначается R_w (нормируемое значение индекса звукоизоляции воздушного шума);

6. Вычисляем суммарный уровень звука по формуле:

$$L_{\text{сум}} = 10\lg\left(\sum_{i=1}^{m}\frac{10^{0,1L_{wi}}\chi_i\phi_i}{\Omega r_i^2} + \frac{4}{kB}\sum_{i=1}^{n}10^{0,1L_{wi}}\right), \qquad (10)$$

где $L_{wi}-$ октавный уровень звуковой мощности i-го источника, дБ;

$\chi_i -$ коэффициент, учитывающий влияние ближнего поля в тех случаях, когда расстояние r меньше удвоенного максимального габарита источника (r < $2l_{max}$);

Вводится пользователем с клавиатуры;

$\phi_i -$ фактор направленности источника шума (для источников с равномерным излучением $\phi = 1$;

По умолчанию принимается равным 1, но с возможностью редактирования пользователем;

$\Omega -$ пространственный угол излучения источника, рад.;

По умолчания равен 360 градусам, что равно 2хπ рад. Если пользователем меняет градусную меру, то программа сама переводит её в радианы;

r– расстояние от источника шума до расчетной точки в метрах, берется из модели;

m– число источников шума;

$n -$ общее число источников шума в помещении

$k -$ коэффициент, учитывающий нарушение диффузности звукового поля в помещении;
вводится с клавиатуры;

$B -$ акустическая постоянная помещения, м^2.
Вводится пользователем с клавиатуры.

7. В отчет выводится полученное значение $L_{\text{сум}}$.
Пример отчета см. приложение В.

3.4 Расчет уровня звука в жилой застройке

1. В пространство ПК подгружаются 3D – виды из информационной модели с нанесенными источниками шума от улиц, расчетными точками и лучами, соединяющими их, а также защитные экраны при наличии. Алгоритм расчета см. рисунок 3;
2. Пользователю необходимо выбрать источники шума (ИШ) и расчетную точку (РТ). ИШ необходимо иметь параметр $L_{\text{Аэкв}}$ (эквивалентный уровень звука), абсолютную отметку и высоту над поверхностью земли. РТ также должна иметь абсолютную отметку и высоту над поверхностью земли. Если в модели выбран защитный экран, то необходимо получить параметры абсолютной отметки акустического центра экрана $H_{\text{иш}}$, абсолютной отметки верхней кромки экрана $H_{\text{экр}}$, также программа должна измерить расстояние от ИШ до верхней кромки экрана a и её проекцию a', расстояние от верхней кромки экрана до РТ b и её проекцию b';
3. После выбора пользователем ИШ и РТ программа выводит список всех параметров, описанных в пункте 2, для уточнения пользователем. А также параметры для уточнения; параметр α (см. пункт 6), снижение уровня звука, в зависимости от расстояния между источником шума и расчетной точкой $\Delta L_{\text{Арас}}$, снижение уровня звука полосами зеленых насаждений $\Delta L_{\text{Азел}}$ (см. пункт 7);

4. Вычисляем снижение уровня звука $\Delta L_{\text{Апок}}$ вследствие влияния покрытия территории. Пользователю необходимо выбрать формулу, для этого предоставляется на выбор 2 опции:

– снижение уровня звука вследствие влияния акустически мягкого покрытия территории (рыхлый грунт, трава и др.):

$$\sigma = \frac{0{,}1 \times d_n}{h_{\text{тр}} \times 10^{0{,}3(h_{\text{иш}} - 0{,}5)}} \qquad (11)$$

где $h_{\text{тр}} -$ высота расчетной точки над поверхностью земли см. пункт 2, м;

$d_n -$ расчетное расстояние, м, вычисляемое по формуле:

$$d_n = 1{,}4 \times l_n$$

$l_n -$ длина проекции расстояния от источника шума до расчетной точки, м. ПК необходимо посмотреть на модель сверху и измерить длину луча в проекции;

$h_{\text{иш}} -$ высота источника шума над поверхностью земли см. пункт 2, м.

– снижение уровня звука для потоков средств автомобильного и железнодорожного транспорта в случаях, когда проезжая часть улицы или дорога расположена на одном уровне с поверхностью территории, защищаемого от шума объекта:

$$\sigma = \frac{0{,}1 \times d_n}{h_{\text{тр}}} \qquad (12)$$

где $h_{\text{тр}} -$ высота расчетной точки над поверхностью земли см. пункт 2, м;

$d_n -$ расчетное расстояние, м, вычисляемое по формуле:

$$d_n = 1{,}4 \times l_n$$

$l_n -$ длина проекции расстояния от источника шума до расчетной точки, м. ПК необходимо посмотреть на модель сверху и измерить длину луча в проекции;

$h_{\text{иш}}$ – высота источника шума над поверхностью земли см. пункт 2, м.

По таблице 25 справочника проектировщика «Защита от шума в градостроительстве» методом интерполяции определяется значение $\Delta L_{\text{Апок}}$.

5. Вычисляем снижение уровня звука $\Delta L_{\text{воз}}$ вследствие затухания звука в воздухе интерполяцией в зависимости от параметра r_n(длина луча см. пункт 2) по рисунку 4 справочника проектировщика «Защита от шума в градостроительстве»;

6. Вычисляем снижение уровня звука $\Delta L_{\text{A}\alpha}$ вследствие ограничения угла видимости улицы или дороги из расчетной точки интерполяцией в зависимости от параметра α (вводится с клавиатуры) по таблице 30 справочника проектировщика «Защита от шума в градостроительстве»;

7. Вычисляем эквивалентный уровень звука от транспортных средств для каждого источника шума в расчетной точке на селитебной территории:

$$L_{\text{Атер}} = L_{\text{Аэкв}} - \Delta L_{\text{Арас}} - \Delta L_{\text{Апок}} - \Delta L_{\text{воз}} - \Delta L_{\text{Азел}} - \Delta L_{\text{A}\alpha}, \qquad (13)$$

где $L_{\text{Аэкв}}$ – шумовая характеристика транспортного потока принимается по данным источника шума, дБА;

$\Delta L_{\text{Арас}}$ – снижение уровня звука, дБА, в зависимости от расстояния между источником шума и расчетной точкой. Вводится пользователем с клавиатуры;

$\Delta L_{\text{Апок}}$ – снижение уровня звука, дБА, вследствие влияния покрытия территории см. пункт 4;

$\Delta L_{\text{воз}}$ – снижение уровня звука, дБА, вследствие затухания звука в воздухе см. пункт 5;

$\Delta L_{\text{Азел}}$ – снижение уровня звука, дБА, полосами зеленых насаждений. Принимается равным нулю по умолчанию, но с возможностью редактирования;

$\Delta L_{A\alpha}$ – снижение уровня звука, дБА, вследствие ограничения угла видимости улицы или дороги из расчетной точки, см. пункт 6.

8. Если в модели отсутствует шумозащитный экран, то расчет переходит к пункту 9, или программа предлагает ввести характеристики шумозащитного экрана с клавиатуры, и рассчитать его (см. пункты 8.1-8.4.). Если экран есть, то выполняется его расчет (см. пункты 8.1-8.4.);

8.1. Определяем расстояния a, b, c по формулам:

$$a = \sqrt{(a')^2 + (H_{\text{экр}} - H_{\text{иш}})^2}; \quad (14)$$

$$b = \sqrt{(b')^2 + (H_{\text{экр}} - H_{\text{рт}})^2}; \quad (15)$$

$$c = \sqrt{(a' + b')^2 + (H_{\text{рт}} - H_{\text{иш}})^2}, \quad (16)$$

где a – кратчайшее расстояние, м, между акустическим центом источника шума и верхней кромкой экрана;

b – кратчайшее расстояние, м, между расчетной точкой и верхней кромкой экрана;

c – кратчайшее расстояние, м, между акустическим центром источника шума и расчетной точкой.

a', b' – длина проекции расстояния соответственно $a, b,$ на горизонтальную плоскость, м (см. пункт 2);

$H_{\text{экр}}$ – отметка уровня верхней кромки экрана, м (см. пункт 2);

$H_{\text{иш}}, H_{\text{рт}}$ – отметки уровня акустического центра соответственно источника шума и расчетной точкой, м (см. пункт 2).

8.2. Рассчитывается чисто Френеля:

$$N = \frac{2\delta}{\lambda}, \quad (17)$$

где δ – разность длин путей звукового луча, м;

$\delta = (a + b) - c$ (см. пункт 8.1)

$\lambda -$ длина звуковой волны, м.

8.3. С клавиатуры вводится значение $\Delta L_{\text{А экр ст}}$, дБА, которое зависит от значения N(см. пункт 8.2);

8.4. Значение параметра $L_{\text{Атер}}$, полученное в пункте 6, уменьшается на величину $\Delta L_{\text{А экр ст}}$ (см. пункт 8.3);

9. Далее пользователю необходимо выбрать допустимый уровень звука в зависимости от местоположения расчетной точки по таблице 7 [5];

10. Полученное значение из пункта 7 сравнивается с допустимым уровнем звука из пункта 9.

Пример отчета см. приложение Г.

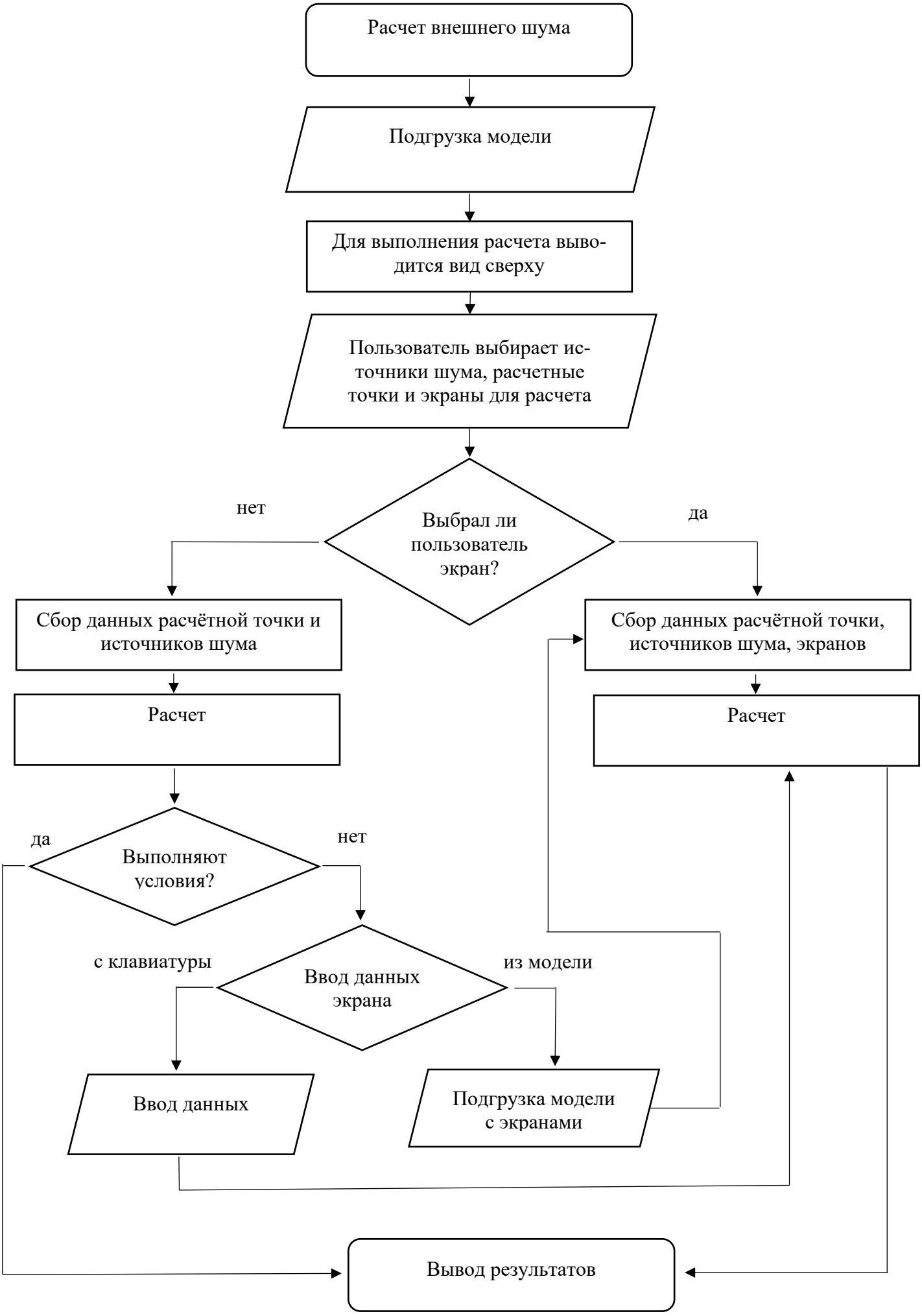


Рисунок 3 – Блок-схема

РАЗДЕЛ 4 РАСЧЕТ ШУМА В ПК «FORMIT»

4.1 Требования к информационной модели

Настоящий раздел описывает процедуры и инструменты, применяемые для обеспечения качества процесса расчета и конечного продукта, а также для снижения технических рисков в рамках информационной модели.

В состав информационной модели входит:

– планировочные, архитектурные, конструктивные, инженерные решения, разрабатываемые в объеме, необходимом для формирования ведомостей, спецификаций оборудования и материалов;

– для каждого объекта создается только один базовый файл, и его основная роль – пространственная координация всех разделов ТИМ-модели. В координационном файле определяется сетка осей, набор уровней и базовая точка проекта из ГП. Базовая точка проекта и точка съёмки настраиваются до начала моделирования и не изменяются в процессе без согласования с заказчиком;

– все необходимые спецификации и ведомости, динамически связанные с геометрической и атрибутивной проработкой информационной модели, формируются в сводной информационной модели для дальнейшей выгрузки необходимых данных в соответствующих форматах. Подсчет технико-экономических показателей и формирование спецификаций и таблиц по всему объекту/по уровням должно автоматически выполняться и автоматически изменяться при внесении изменений в информационную модель.

Моделирование всех объектов должно проводиться в соответствии с их истинными размерами в масштабе 1:1, в метрической системе измерений (мм, $м^2$, $м^3$).

Все элементы ИМ должны быть классифицированы по типам и категориям объектов на основе библиотечных элементов. Каждый элемент ИМ,

независимо от принадлежности к конкретному разделу проекта, должен находиться в соответствующей его свойствам категории и иметь соответствующие свойства.

Элементы модели должны содержать корректное наименование элемента, отражающее всю необходимую информацию, по которой можно однозначно идентифицировать и классифицировать элемент.

Все основные элементы и объекты информационной модели должны иметь габаритные размеры, соответствующие фактическим строительным элементам.

Структура информационной модели должна иметь разбиение (группировку) на функциональные части: разделы проекта, этажи, секции, функциональные зоны, уровни и пр. Разделы ТИМ-модели выполнены в единой системе координат.

Для корректной работы программы необходимо, чтобы информационная модель содержала основные конструктивные и архитектурные элемента здания, а также инженерное оборудование, влияющие на расчет.

Пользователю необходимо настроить 3D вид таким образом, чтобы в область видимости попадали все элементы необходимые для расчета. Предпочтительная настройка уровня детализации в Revit – «Средний». Данное требование необходимо для упрощения экспорта, в связи с возможным наличием в пространстве модели высокодетализированных элементов. Для ускорения работы ПК необходимо скрыть все лишние конструкции, приборы и другие элементы, утяжеляющие модель.

Требования к семейству «Стена»:

– наличие заполненного параметра «Плотность» у материалов (см. рисунок 4);

– если конструкция многослойная, то корректное заполнение толщин материалов в составе стены (см. рисунок 5).

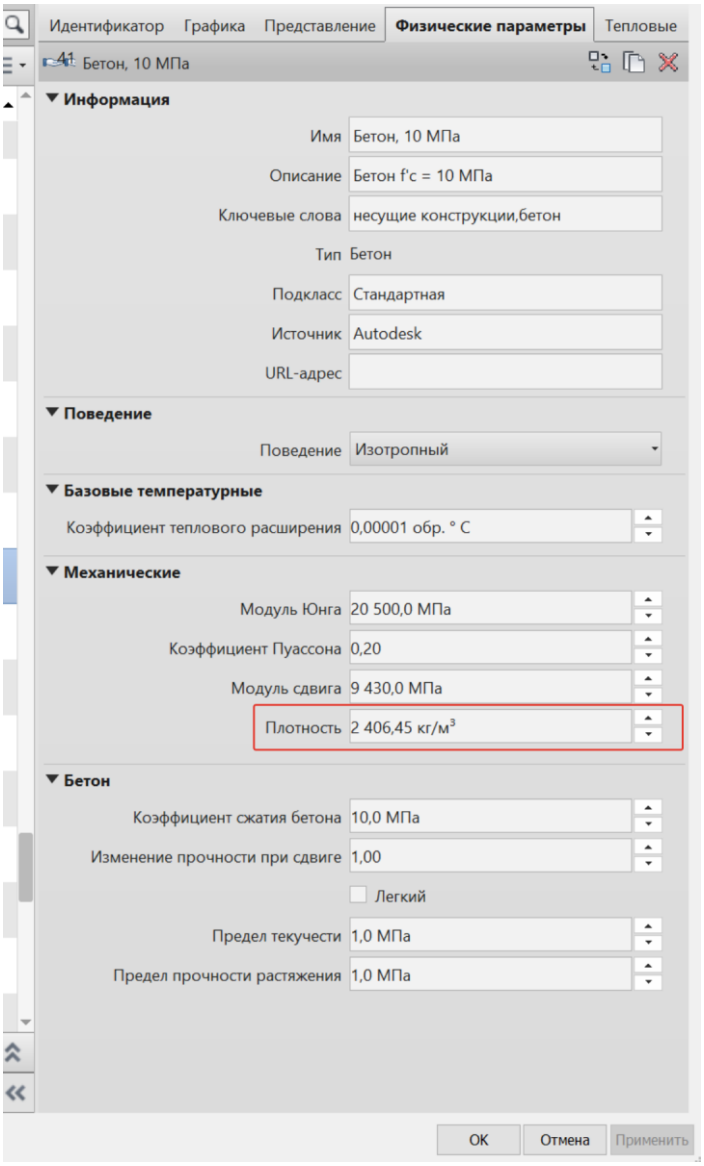


Рисунок 4 – Параметр «Плотность»

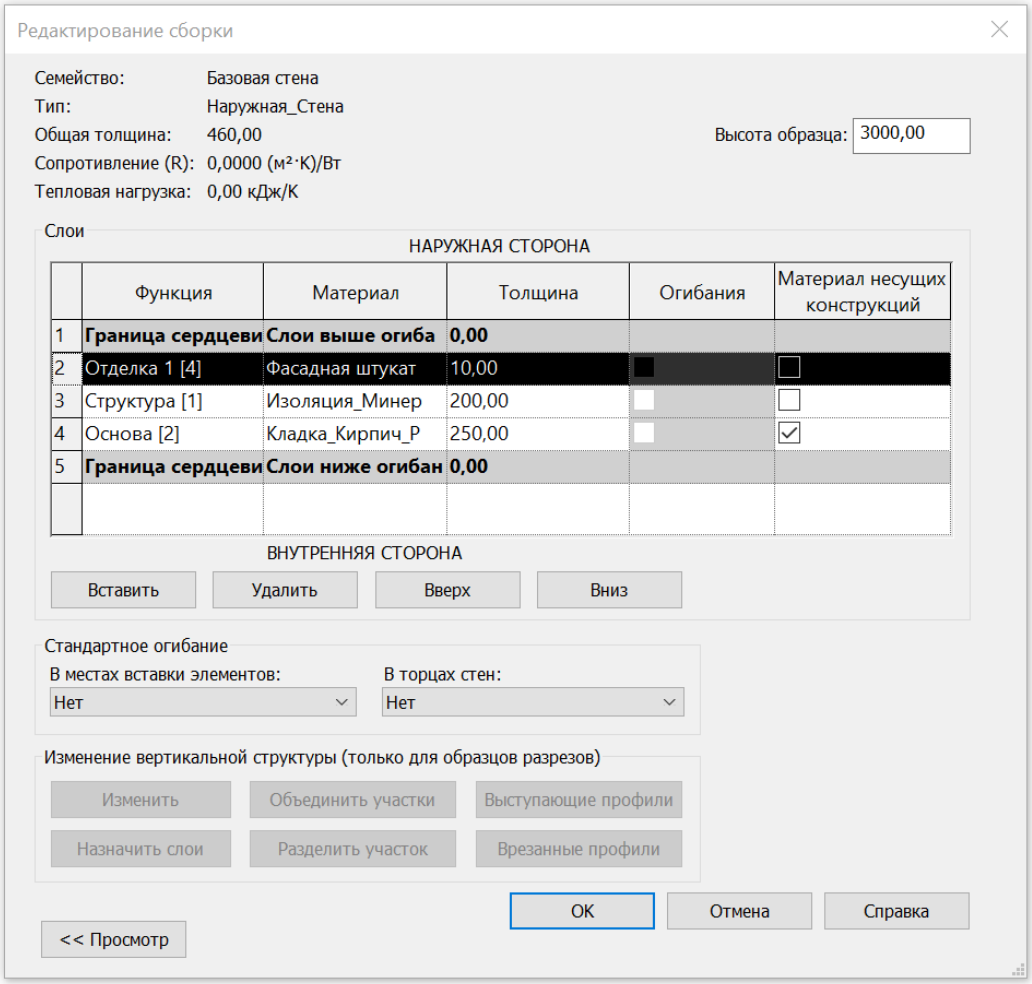


Рисунок 5 – Состав стены

Требования к семейству «Перекрытие»:

– наличие заполненного параметра «Плотность» у материалов (см. рисунок 3);

– если конструкция многослойная, то корректное заполнение толщин материалов в составе перекрытие (см. рисунок 5).

Требования к семейству «Расчетная точка»:

– наличие заполненного параметра «Абсолютная отметка»;

– наличие заполненного параметра «Высота над поверхностью земли».

Требования к семейству «Источник шума» для расчета внешнего шума:

– наличие заполненного параметра «Абсолютная отметка»;

– наличие заполненного параметра «$L_{\text{Аэкв}}$ (Эквивалентный уровень звука)»;

– наличие заполненного параметра «Высота над поверхностью земли».

Требования к семейству «Защитный экран»:

– наличие заполненного параметра «Абсолютная отметка акустического центра экрана $H_{\text{иш}}$»;

– наличие заполненного параметра «Абсолютная отметка верхней кромки экрана $H_{\text{экр}}$».

4.2 Экспорт ТИМ-модели

Для расчета шума в программном комплексе необходимо конвертировать модель в формат glb с помощью ПК Revit Export.

Построение модели и её корректировка выполняется в Revit, программным комплексом «FORMIT» предусмотрен только ввод дополнительных данных необходимых для расчета.

Обязательными элементами к экспорту являются:

– витражные системы;

– импосты витража;

– каркас несущий;

– колонны;

– крыши;

– несущие колонны;

– окна;

– панели витража;

– перекрытия;

– потолки;

– стены;

– фермы;
– части;
– инженерное оборудование;
– расчетные точки;
– источники шума;
– соединение несущих конструкций.

Для экспорта модели необходимо воспользоваться AltecSystems Exporter. Пред экспортированием необходимо настроить 3D вид, подлежащий расчету, воспользовавшись инструментом «Создать вид» на вкладке ПК AltecSystems Exporter. Данный инструмент автоматически применяет к виду фильтры, оставляя для экспорта только необходимые элементы модели. Далее в диспетчере проекта автоматически создается новый 3D вид – AS_ExsportView, после чего ПК позволяет создать новый проект, нажатием клавиши «Создать проект».

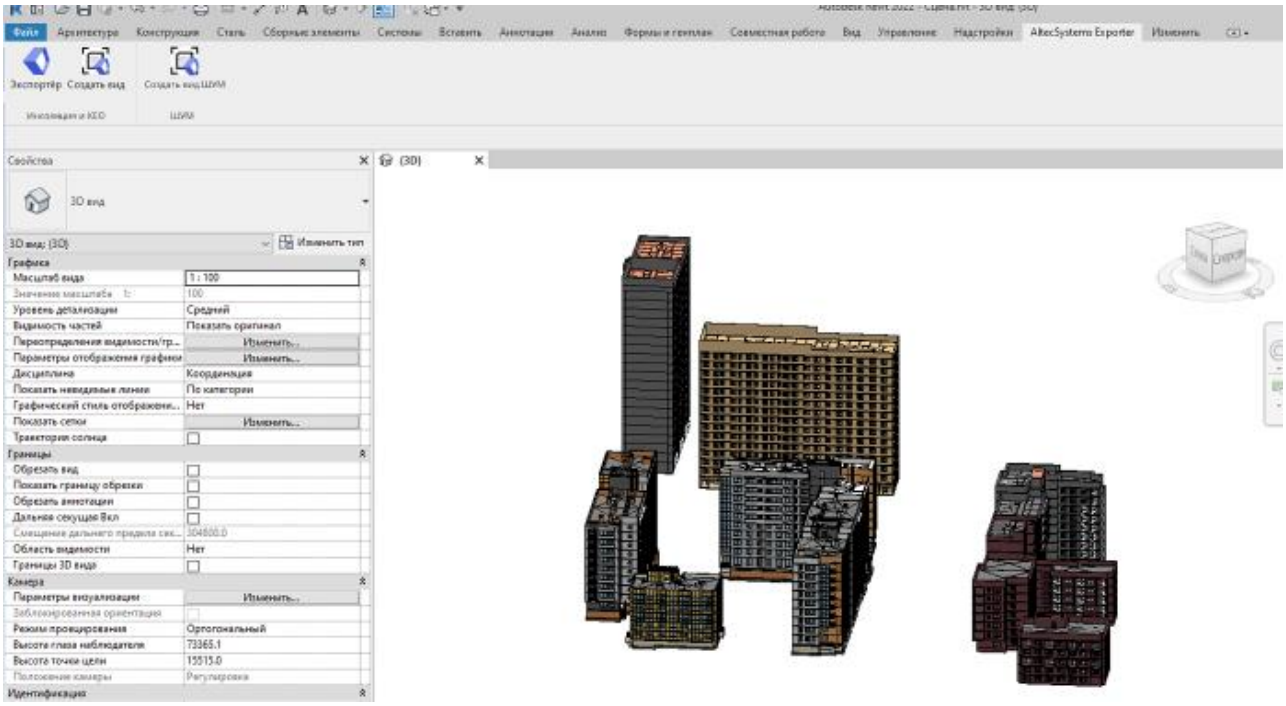


Рисунок 6 – Панель ПК AltecSystems Exporter

Во вкладке «Проекты» находятся все загруженные в систему 3D виды, сгруппированные по объектам (см. рисунок 7). При нажатии на объект пользователь переходит на вкладку «Формирование 3D видов», где отображается

список сформированных 3D видов. Пользователь выбирает 3D виды, подлежащие расчету и экспортирует их в ПК.

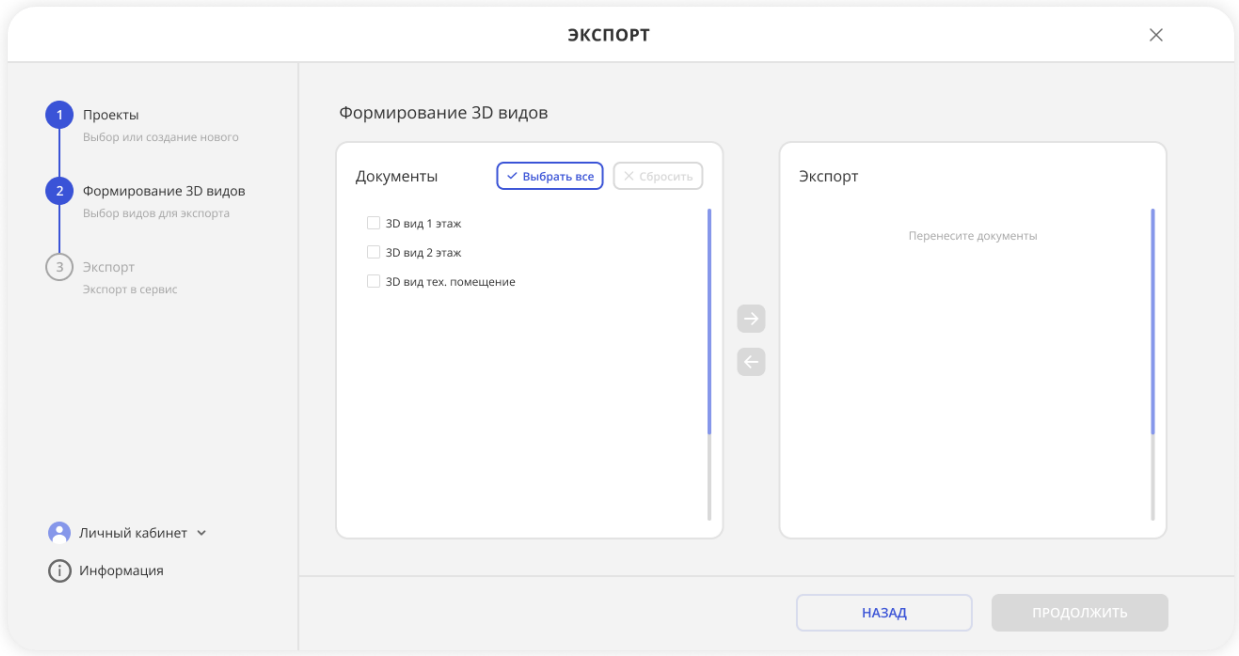


Рисунок 7 – Окно экспорта

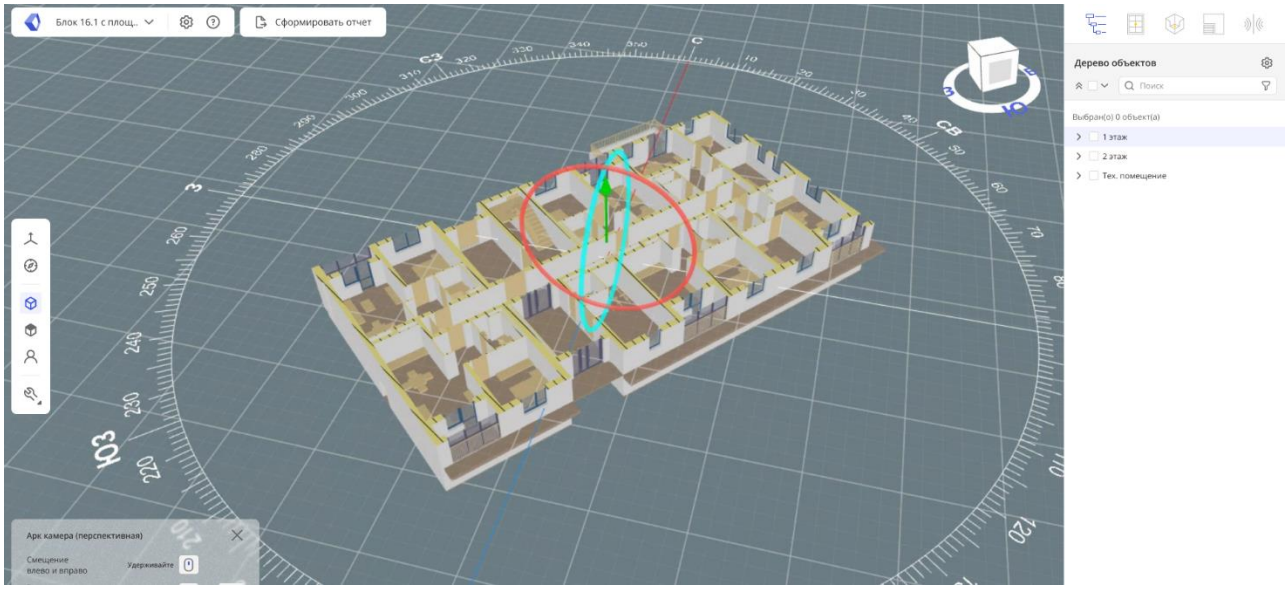


Рисунок 8 – Модель здания в сервисе

Главное окно сервиса состоит из 3D пространства и панели меню. На рисунке 8 представлена вкладка «дерево видов», на которой пользователь выбирает интересующий его вид для расчета.

4.3 Порядок выполнения расчета в ПК «FORMIT»

Программный комплекс «FORMIT» выполняет следующие расчеты: расчет инсоляции и КЕО, расчет шума. Перейдя на вкладку «ШУМ» пользователю доступен список расчетов на выбор.

На данный момент в ПК реализовано 2 типа расчета:

– расчет звукоизоляции перегородки;

– расчет звукоизоляции конструкции междуэтажного перекрытия.

Рассмотрим подробнее каждый из них.

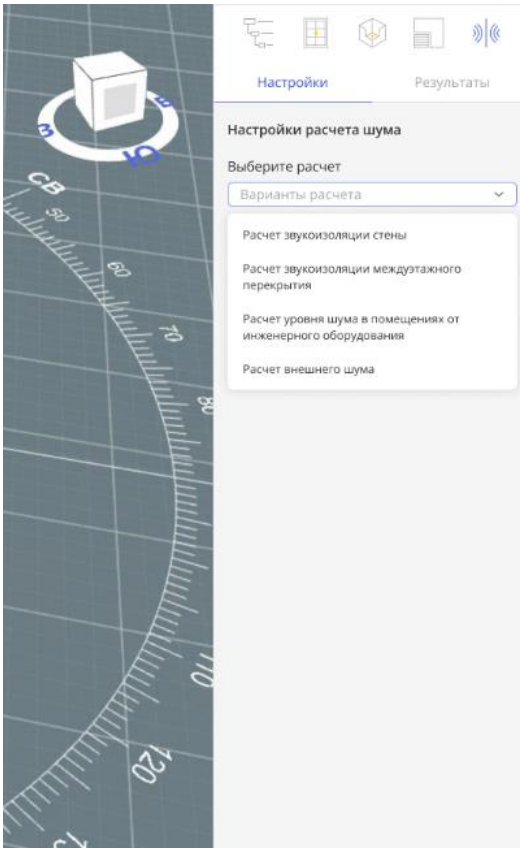


Рисунок 9– Выборка расчетов в ПК «FORMIT»

4.3.1 Расчет звукоизоляции перегородки в ПК «FORMIT»

При выборе расчета звукоизоляции перегородки программа предлагает пользователю стены подлежащие расчету. Для выбора стены необходимо произвести нажатие на неё, после завершения выбора нажать «готово».

На вкладке «Настройки» происходит автоматическая проверка заполненности параметра «плотность». После окончания выбора, справой стороны пользователю виден список всех отмеченных стен. Далее пользователю необходимо выбрать тип каждой стены из раскрывающегося окна. В зависимости от выбранного типа стены выводится значение R_w. Также доступно редактирование параметров «средняя плотность» и «К» (коэффициент, учитывающий относительное увеличение изгибной жесткости ограждения), так как на данном этапе эти параметры требуют уточнения пользователем.

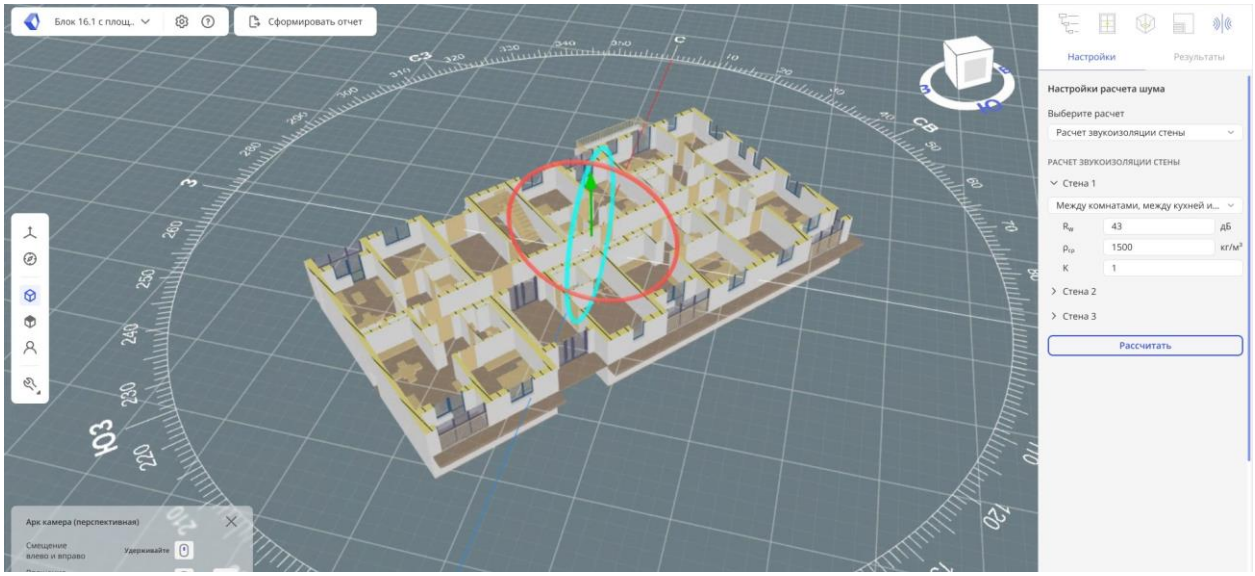


Рисунок 10– Расчет звукоизоляции перегородки

После проверки всех параметров на вкладке «Настройки» необходимо нажать кнопку «Рассчитать» и перейти к «Результатам».

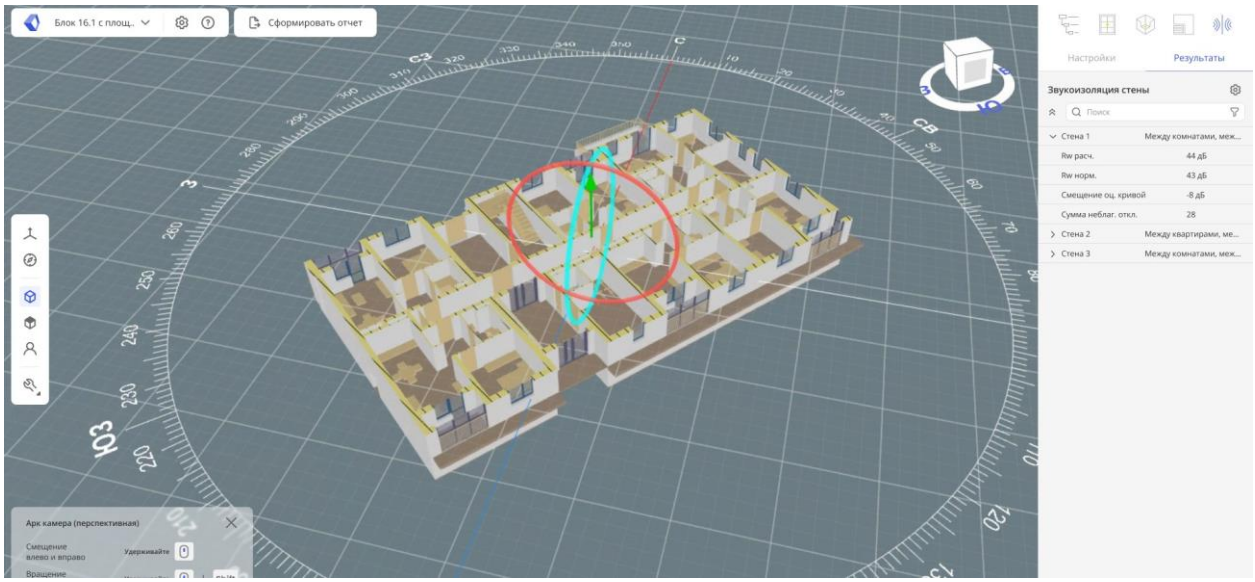


Рисунок 11– Результаты расчета звукоизоляции перегородки

В открывшемся окне «Результаты» выводятся получившиеся числовые характеристики для каждой стены. Пользователю необходимо проанализировать результат на корректность, в случае неудовлетворительного результата вернуться на вкладку «Настройки» и изменить необходимые данные, далее повторить расчет. В случае, если требуются корректировки в модели, необходимо закрыть программу, внести все необходимые коррективы в проект Revit и подгрузить модель в сервис повторно.

4.3.2 Расчет звукоизоляции конструкции междуэтажного перекрытия в ПК «FORMIT»

При выборе расчета звукоизоляции конструкции междуэтажного перекрытия программа предлагает пользователю перекрытия подлежащие расчету. Для выбора перекрытия необходимо произвести нажатие на него, после завершения выбора нажать «готово».

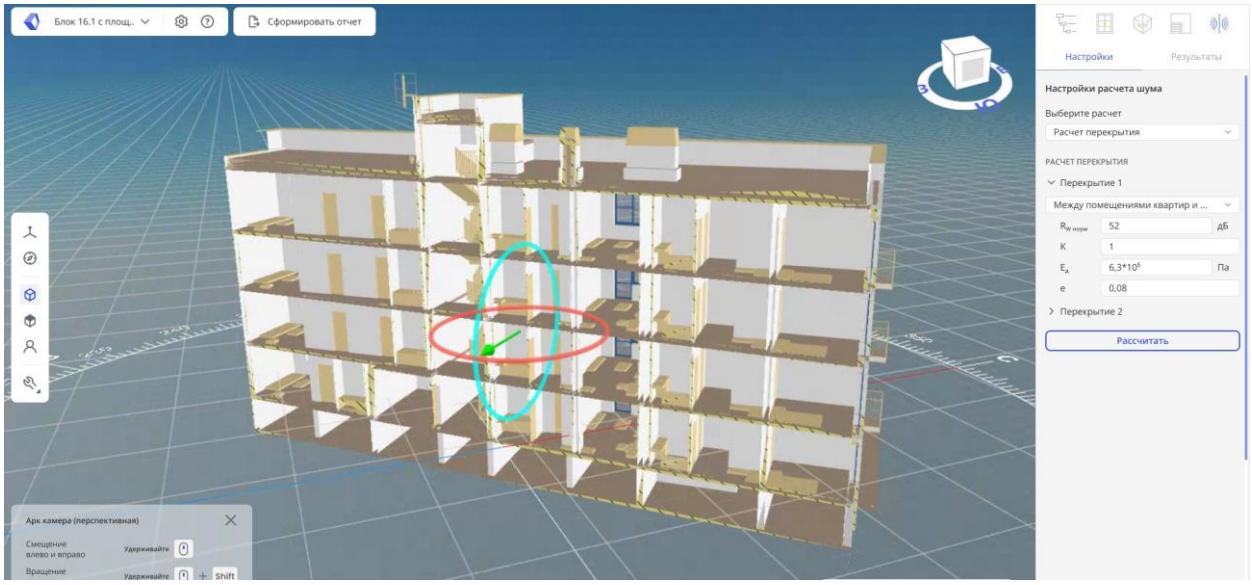


Рисунок 12– Расчет звукоизоляции конструкции междуэтажного перекрытия

На вкладке «Настройки» происходит автоматическая проверка заполненности параметра «плотность». После окончания выбора, справой стороны пользователю виден список всех отмеченных перекрытий. Далее

пользователю необходимо выбрать тип каждого перекрытия из раскрывающегося окна. В зависимости от выбранного типа перекрытия выводится значение R_w. Также доступно редактирование параметров «$E_д$» (динамический модуль упругости материала заполнения), «e» (относительное сжатие материала звукоизоляционного слоя под нагрузкой) и «К» (коэффициент, учитывающий относительное увеличение изгибной жесткости ограждения), так как на данном этапе эти параметры требуют уточнения пользователем.

После проверки всех параметров на вкладке «Настройки» необходимо нажать кнопку «Рассчитать» и перейти к «Результатам».

Рисунок 13– Результаты расчета звукоизоляции конструкции междуэтажного перекрытия

В открывшемся окне «Результаты» выводятся получившиеся числовые характеристики для каждого перекрытия. Пользователю необходимо проанализировать результат на корректность, в случае неудовлетворительного результата вернуться на вкладку «Настройки» и изменить необходимые данные, далее повторить расчет. В случае, если требуются корректировки в модели, необходимо закрыть программу, внести все необходимые коррективы в проект Revit и подгрузить модель в сервис повторно.

РАЗДЕЛ 5 ГЕНЕРАЦИЯ ОТЧЕТА В ПК «FORMIT»

5.1 Формирование отчета в ПК «FORMIT»

После проведения всех необходимых расчетов для создания отчета пользователю необходимо нажать на кнопку «Сформировать отчет», расположенную в верхней части экрана. Программа позволят предварительно выбрать 3D виды необходимые пользователю для расчета.

После выполнения данной команды открывается окно, позволяющее выбрать шаблон отчета (см. рисунок 14).

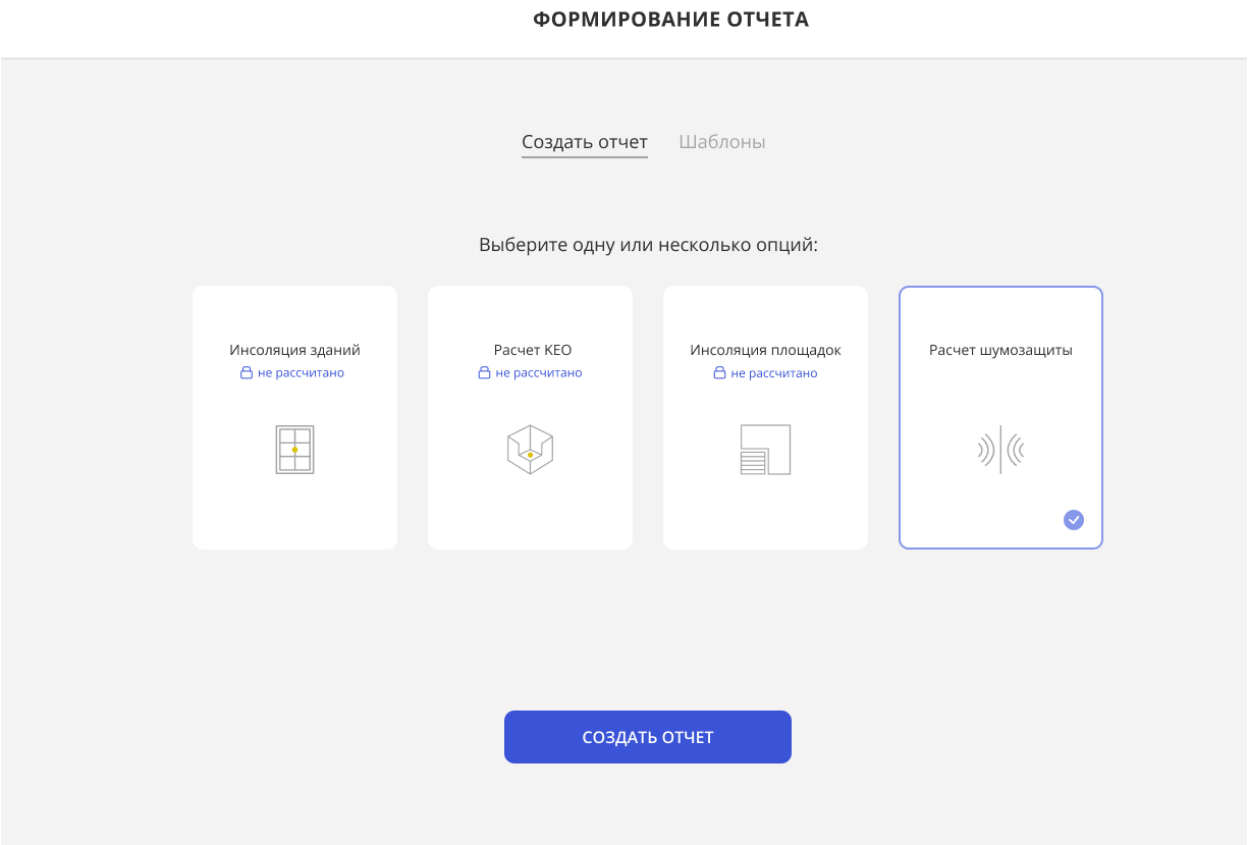


Рисунок 14 – Начальная страница формирования отчета

Вкладка «Формирование отчета» состоит из главного окна, которое показывает сами элементы отчета, и меню, содержащее разделы будущего отчета (см. рисунок 15).

Вкладка меню состоит из следующих пунктов:

– титульная страница;
– введение;
– расчет шума;
– выводы;
– приложения;
– готово.

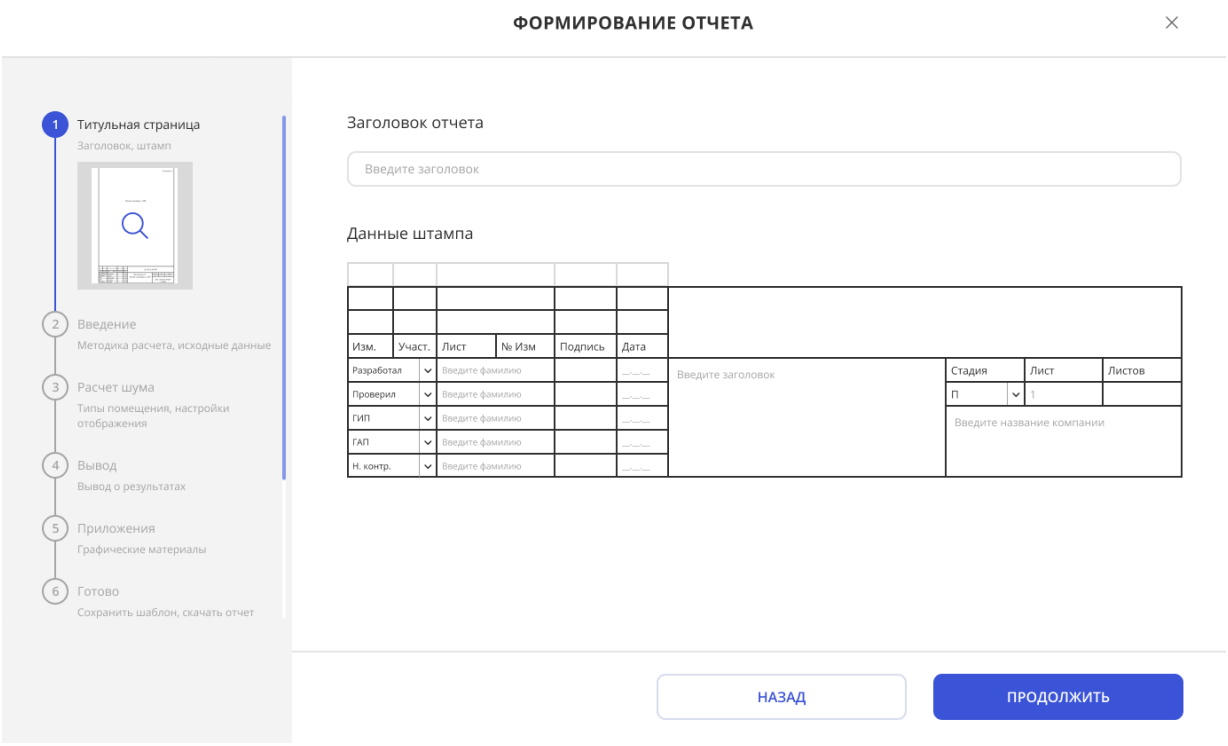


Рисунок 15 – Окно формирования отчета

На первой вкладке пользователю необходимо заполнить поле «Заголовок отчета», а также штамп, который допускается редактировать, добавляя и удаляя строки. После завершения всех действий необходимо нажать кнопку «Продолжить».

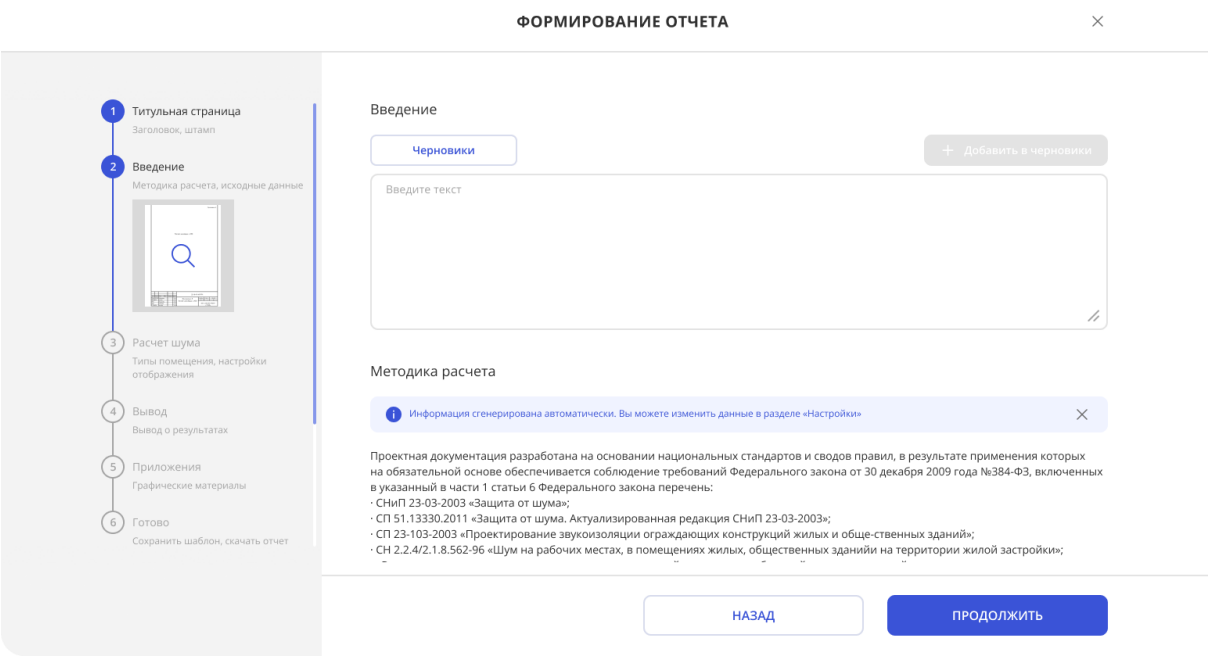
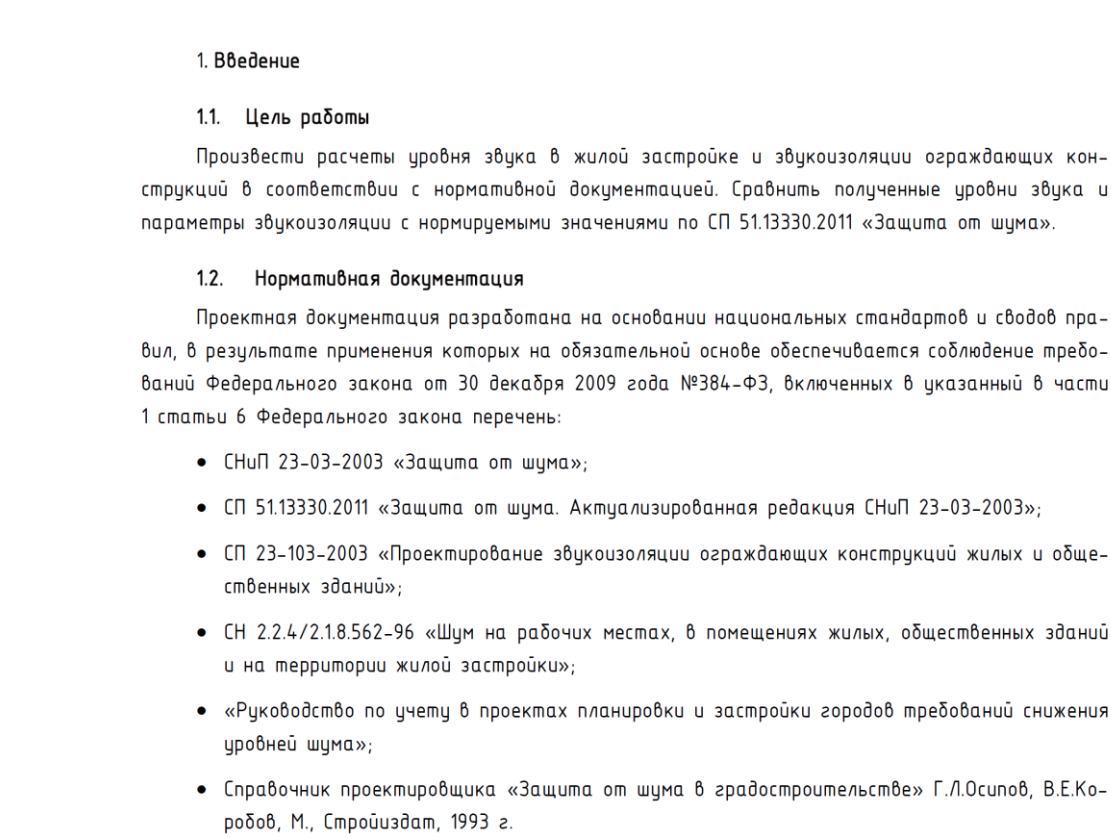


Рисунок 16 – Формирование отчета

Перейдя к разделу «Введение» пользователю, необходимо ввести текст, который можно будет впоследствии сохранить как шаблон, или использовать уже существующий шаблон.



1. Введение

1.1. Цель работы

Произвести расчеты уровня звука в жилой застройке и звукоизоляции ограждающих конструкций в соответствии с нормативной документацией. Сравнить полученные уровни звука и параметры звукоизоляции с нормируемыми значениями по СП 51.13330.2011 «Защита от шума».

1.2. Нормативная документация

Проектная документация разработана на основании национальных стандартов и сводов правил, в результате применения которых на обязательной основе обеспечивается соблюдение требований Федерального закона от 30 декабря 2009 года №384-ФЗ, включенных в указанный в части 1 статьи 6 Федерального закона перечень:

- СНиП 23-03-2003 «Защита от шума»;
- СП 51.13330.2011 «Защита от шума. Актуализированная редакция СНиП 23-03-2003»;
- СП 23-103-2003 «Проектирование звукоизоляции ограждающих конструкций жилых и общественных зданий»;
- СН 2.2.4/2.1.8.562-96 «Шум на рабочих местах, в помещениях жилых, общественных зданий и на территории жилой застройки»;
- «Руководство по учету в проектах планировки и застройки городов требований снижения уровней шума»;
- Справочник проектировщика «Защита от шума в градостроительстве» Г.Л.Осипов, В.Е.Коробов, М., Стройиздат, 1993 г.

Рисунок 17 – Фрагмент отчета

Следующая вкладка «Расчет шума». На данном этапе пользователь выбирает из списка конструкции, для которых необходимо сформировать отчет. Также доступа функция выбора отображения отчета: возможность добавить таблицы, помечать цветом рассчитанные величины.

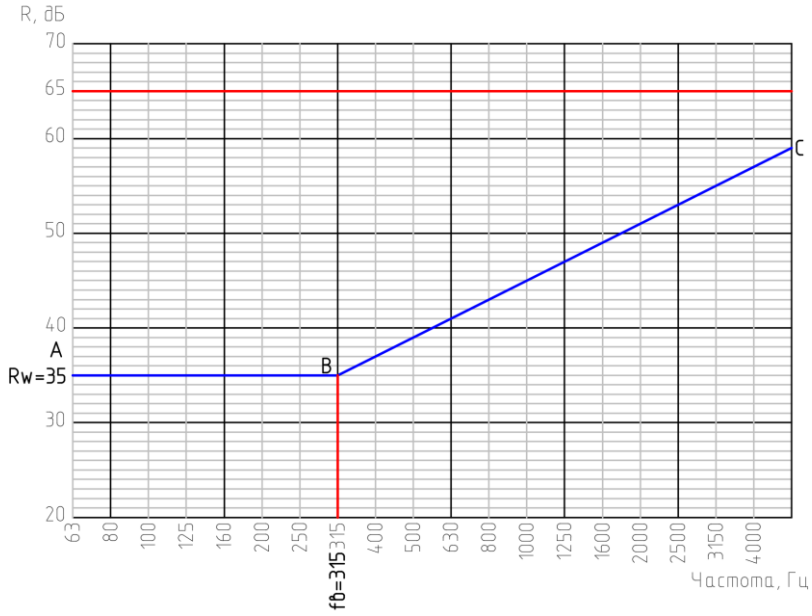


Рисунок 18 – Пример графика, сформированного ПК «FORMIT»

Далее формируется «вывод результатов».

Во вкладке «Приложения» формируется графическая часть расчета по запросу пользователя. Данная вкладка является актуальной при выполнении внешнего расчета шума. Пользователю будет доступен выбор источников шума и расчетных точек, через которые необходимо построить сечение (см. рисунок 19).

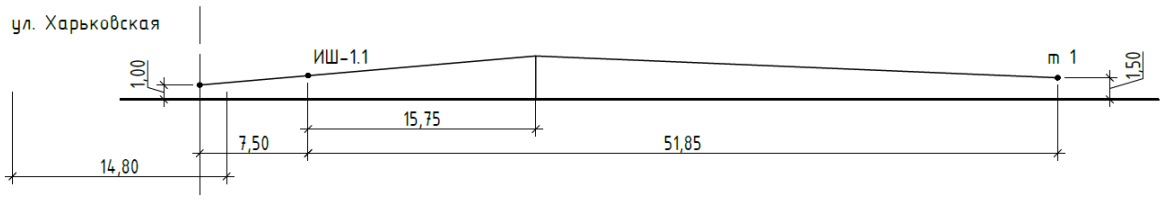


Рисунок 19 – Пример сечения

На текущем этапе данный пункт является конечной точкой расчета. Сформированный отчет хранится в памяти системы. Отчет можно сохранить в формате PDF.

5.2 Результаты тестирования ПК «FORMIT»

После разработки модулей расчетов звукоизоляции перегородки и конструкции междуэтажного перекрытия было произведено тестирование ПК «FORMIT».

Тестирование пробной версии расчетного модуля не показало расхождение результатов расчета шума с ручным. Выполнение расчеты соответствуют нормативной документации, а также готовый отчет оформлен по стандартам ГОСТ. Также ПК помогло выявить ошибки, совершенные проектировщиком в ручной версии расчета. Программа самостоятельно не производит сравнение, для того чтобы пользователь мог включится в ход расчета.

Таким образом, использование данного ПК имеет ряд преимуществ:

– увеличение производительности и эффективности. Автоматизация может ускорить выполнение задач и снизить количество ошибок, что приводит к увеличению производительности и эффективности работы;

– улучшение качества расчетов. Использование ПК может улучшить качество расчетов путем снижения количества ошибок, ускорения процессов и повышения точности.

– улучшение условий работы. ПК «FORMIT» может сократить количество рутинных и монотонных задач, что позволяет сотрудникам сосредоточиться на более творческих и интересных задачах.

В целом, автоматизация позволяет оптимизировать процесс расчета, что приводит к повышению эффективности, снижению затрат и улучшению качества.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В рамках исследования был произведён анализ существующих программных продуктов по расчету шума, который помог выявить необходимость и актуальность создания нового ПК, позволяющего производить все виды акустических расчетов, необходимых для выполнения проектной документации. По результатам анализа можно сделать вывод о том, что сейчас в России отсутствует ПК по расчету шума, способный удовлетворять все запросы проектировщика.

В ходе работы было составлено техническое задания для расчета как внешнего, так и внутреннего шума на основе изученной нормативной базы. Сформированное техническое задание учитывало все минусы существующих программных продуктов.

Основным новшеством разработанного продукта является наличие связи с информационной моделью, которая позволяет проектировщику выполнить расчет только на основании ТИМ-модели, что значительно упрощает и сокращает время работы.

ПК «FORMIT» был протестирован на соответствие СП 51.13330.2011 «Защита от шума. Актуализированная редакция СНиП 23-03-2003» и СП 23-103-2003 «Проектирование звукоизоляции ограждающих конструкций жилых и общественных зданий». Тестирование показало соответствие результатов расчета нормативным документам.

На данном этапе программный комплекс «FORMIT» легко справляется с расчетом внутреннего шума: расчет звукоизоляции стен и перегородок, расчет звукоизоляции конструкции междуэтажного перекрытия. Что касается расчета внешнего шума, на текущий момент программный комплекс находится в разработке.

Работа и совершенствование программного комплекса «FORMIT» не закончена, конечной целью является минимизация участия человека за счет автоматизированной работы расчетного модуля.

В перспективе данная программа позволит выполнять не только расчет от точечных источников шума, но и от линейных, и от объемных. Следовательно, можно сделать предположение, что она будет востребована на рынке.

На данный момент запущен процесс внедрения разработанных модулей ПК «FORMIT» в проектной компании «Altec Systems». В планах осуществления выхода на рынок готового программного комплекса.

Таким образом, в рамках исследовательской работы были реализованы поставленные задачи и достигнута цель исследования – формирование технического задания для создания программного комплекса для акустического расчета внешнего и внутреннего шума, с дальнейшим тестированием полученных расчётных модулей.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. СП 51.13330.2011 «Защита от шума. Актуализированная редакция СНиП 23-03-2003».

2. СП 23-103-2003 «Проектирование звукоизоляции ограждающих конструкций жилых и общественных зданий».

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

4. Руководство по учету в проектах планировки и застройки городов требований снижения уровней шума/ ЦНИИП Градостроительства. - М., Стройиздат, 1984 г.- 56 с.

5. Г.Л.Осипов. Справочник проектировщика «Защита от шума в градостроительстве» / Г.Л.Осипов, В.Е.Коробов. - М., Стройиздат, 1993 г.- 96 с.

6. Буторина М.В., Берндт А., Шаль Й. Контроль шума с помощью новейшей сертифицированной программы для расчета шума SOUNDPLAN // Сборник докладов Всероссийской научно-практической конференции с международным участием. 2015. С. 66-76.

7. Воскобойников Ю.Е., Крысов Д.А. Оценивание характеристик шума измерения в модели "СИГНАЛ+ШУМ" // Автоматика и программная инженерия. 2018. № 3 (25). С. 54-61.

8. Глазунов В.И., Магид А.Б., Ахмадиева Э.Р. Опыт освоения программы "ЭКОЛОГ-ШУМ" // Химия и технология топлив и масел. 2011. № 2 (564). С. 14-16.

9. Мальцев А.С., Нисина О.Е. Транспортный шум. защита от шума // Молодежная наука в развитии регионов. 2021. Т. 1. С. 281-282.

10. Korica S.Lj., Popovic K.D. Noise, sources of noise and its influence on the quality of work and living environment // Military Technical Courier. 2017. Т. 65. № 4. С. 1017-1026.

11. Sevostyanov M., Arzamastsev E.A. Studying traffic noise in the city of Tambov // В сборнике: Мир науки без границ. Материалы 8-й Всероссийской

научно-практической конференции молодых учёных с международным участием. Тамбов, 2021. С. 60-62.

12. Lokhande S.K., Jain M.C., Rayalu S., Garg N. Evaluation and analysis of firecrackers noise: measurement uncertainty, legal noise regulations and noise induced hearing loss // Applied Acoustics. 2022. Т. 186. С. 108462.

13. Li H., Chen K., Wang X., Gao Y., Yu W. A sound quality model for the range hood noise and its application in noise control // В сборнике: INTER-NOISE 2017 - 46th International Congress and Exposition on Noise Control Engineering: Taming Noise and Moving Quiet. 46, Taming Noise and Moving Quiet. 2017.

14. Suponina N.Yu. Investigation of the influence of a protective screen on the distribution of transport noise // In the collection: FAR EASTERN SPRING - 2021. Proceedings of the 19th International Scientific and Practical Conference on Ecology and Safety. Komsomolsk-on-Amur, 2021, pp. 280-283 .

15. Schoisswohl S., Arnds J., Schecklmann M., Langguth B., Schlee W., Neff P. Amplitude modulated noise for tinnitus suppression in tonal and noise-like tinnitus // Audiology and Neurotology. 2020. Т. 24. № 6. С. 309-321.

16. Goeppel S.A. Protection of residential buildings from external noise sources by special noise-proof structures // Engineering Bulletin of the Don. 2021. No. 12 (84). pp. 382-39.

17. Безгодов М.А., Бобров И.А., Шенкман Р.И. Использование компьютерного моделирования при определении уровня шума на городских территориях // Вестник Пермского национального исследовательского политехнического университета. Урбанистика. 2011. № 3 (3). С. 25-29.

18. Butorina M., Drozdova L., Kuklin D. Implementation of noise data into building information model for transport and industrial noise reduction // Akustika. 2019. Т. 34. С. 9-14.

19. Tsukernikov I.E., Tikhomirov L.A., Shchurova N.E., Nevenchannaya T.O. Evaluation of the effectiveness of noise screens in protecting high-rise buildings from traffic noise // Construction and reconstruction. 2019. No. 3 (83). pp. 41-46.

20. Игнатова Е.В., Визер П.А. Расширение функциональных возможностей программы REVIT на основе дополнительных ПКов // В сборнике: Системотехника строительства. Киберфизические строительные системы - 2019. Сборник материалов Всероссийской научно-практической конференции. 2019. С. 214-216.

21. Жороев Б.У., Северина К.О. Информационное моделирование зданий и инженерных систем в строительстве // Инновации. Наука. Образование. 2021. № 48. С. 1377-1382.

22. Полин Н.В., Сабитова П.М., Арышева А.Г., Фалеева Е.В. Проблемы внедрения bim-технологий // В сборнике: Цифровая трансформация экономики: Вопросы теории и практики. материалы Всероссийской научно-практической конференции с международным участием. Хабаровск, 2021. С. 144-146.

23. Николаева А.И. Bim-технологии, как элемент современного строительства // Евразийский Союз Ученых. Серия: технические и физико-математические науки. 2021. № 11 (92). С. 27-31.

24. Mirisaev Abdurakhman Abdulahatovich, Tursunzoda Jasmina Imomnazar, Polvonov Dovud Saparboy, Sobirov Jasurbek Farxod Analysis of international experience in assessing the efficiency of bim technologies in construction // Theoretical & Applied Science. 2023. № 1 (117). С. 439-445.

25. Ермакова В.А., Саламатина А.С. Исследования возможностей bim-моделирования в области проектирования систем вентиляции // Инженерный вестник Дона. 2022. № 8 (92). С. 314-326.

26. Программное обеспечение имитации шума SoundPLANessential [Электронный ресурс]. – URL: https://www.directindustry.com.ru /prod/soundplan/product-236365-2382645.html (дата обращения: 14.04.2023).

27. Uplab Digital and Design [Электронный ресурс]. - URL: https://www.uplab.ru/blog/customer-journey-map/# (дата обращения: 26.04.2023).

28. Программа Эколог шум | Интеграл [Электронный ресурс]. - URL: https://integral.ru/shop/1/1122/ (дата обращения: 26.04.2023).

29. ПОИВС.ШУМ [Электронный ресурс]. - URL: http://poivs.tsput.ru/ru/Math/ProbabilityAndStatistics/ProbabilityTheory/RandomProcesses/Noise (дата обращения: 26.03.2023).

30. Обзор программ для уровня шума и ГИС [Электронный ресурс]. - URL: http://dimann86.narod.ru/OPUSG.htm (дата обращения: 1.05.2023).

31. Программный комплекс ШУМ [Электронный ресурс]. - URL: http://www.logus.ru/catalog/info136.htm (дата обращения: 26.04.2023).

32. Физические основы строительной акустики [Электронный ресурс]. - URL: https://elbook.github.io/page35.html (дата обращения: 1.05.2023).

33. Шум. Методы расчета уровней внешнего шума, излучаемого железнодорожным транспортом – РТС-тендер [Электронный ресурс]. - URL: https://www.rts-tender.ru/poisk/gost/33325-2015 (дата обращения: 1.05.2023).

ПРИЛОЖЕНИЕ А

(справочное)

ПРИМЕР РАСЧЕТА ЗВУКОИЗОЛЯЦИИ ПЕРЕГОРОДКИ РАЗДЕЛЯЮЩЕЙ КОМНАТЫ В КВАРТИРЕ

Нормируемое значение индекса изоляции воздушного шума – R_w = 43 дБ – (Перегородки без дверей между комнатами, между кухней и комнатой в квартире) по табл. 2 СП 51.13330.2011.

Требуется определить индекс изоляции воздушного шума R_w перегородки из керамзитобетонных блоков толщиной 90мм (ГОСТ 33126-2014).

Плотность материала конструкции: $\rho = 1200$ кг/м^3;

Толщина слоя конструкции: $\delta = 90$мм.

Отделка перегородки гипсовой штукатуркой с каждой стороны, толщиной $\delta = 10$ мм, плотностью $\rho = 1800$ кг/м^3.

Средняя плотность $\rho = 1500$ кг/м^3.

Для получения фактического индекса звукоизоляции R_w необходимо получить расчетную частотную характеристику конструкции. Расчет сводится к построению ломаной ABCD в системе прямоугольных координат с абсциссой f, Гц и ординатой R, дБ (п. 3.2 СП 23-103-2003). Прямые AB и CD параллельны оси абсцисс, прямая CD проходит на расстоянии 65 дБ от оси абсцисс.

Определяем координаты точки B. Координаты точек B и C определяются в зависимости от плотности материала и толщины конструкции.

Находим интерполяцией частоту, соответствующую точке B, по таблице 8 СП 23-103-2003:

$$f_B = \frac{32000}{h} = \frac{32000}{110} = 290 \approx 315 \text{ Гц округляем среднегеометрической}$$

частоты 1/3 октавной полосы, в пределах которой находится f_B (табл. 9 СП 23-103-2003),

где h – толщина ограждения, мм.

Определяем ординату точки B по формуле:

$$R_B = 20 \lg m_э - 12, \text{ дБ}$$

где $m_э = m \times K$, кг/м^2, где m – поверхностная плотность, кг/м^2;

$K -$ поправочный коэффициент, учитывающий отличие звукоизоляционных свойств разных материалов по отношению к тяжелому бетону при одинаковой величине поверхностной плотности конструкции, К = 1,3 (табл. 10 СП 23-103-2003).

Определяем поверхностную плотность слоев рассчитываемой конструкции:

$m = \rho \cdot \delta = 1200 \cdot 0{,}09 + 1800 \cdot 0{,}02 = 165 \text{ кг/м}^2$

$m_э = 165 \cdot 1{,}3 = 215 \text{ кг/м}^2$

$R_B = 20 \lg 215 - 12 = 34{,}63 \approx 35 \text{дБ}$

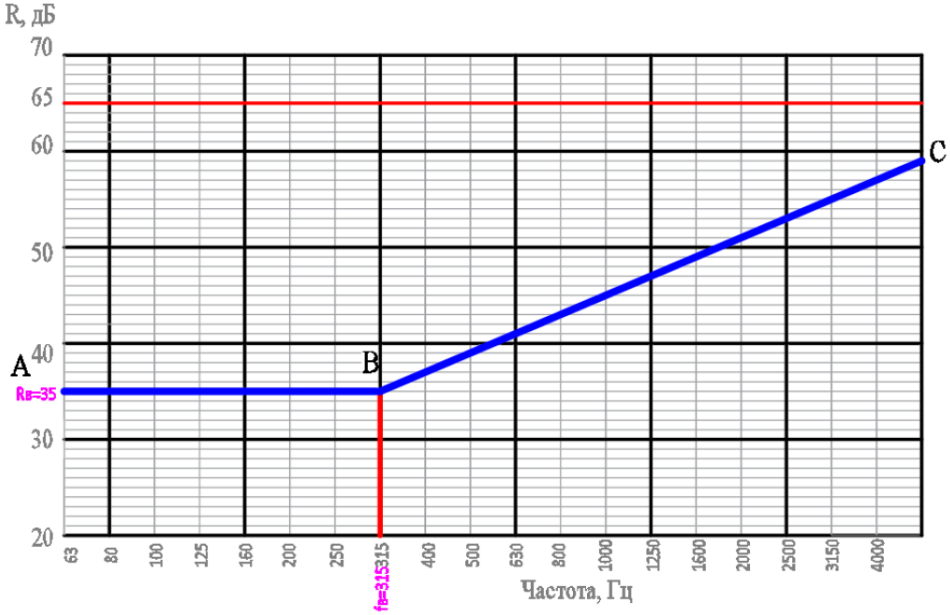


Рисунок А.1 – График ломаной ABCD

Из точки В влево проводим горизонтальный отрезок ВА, вправо от точки В – отрезок ВС с наклоном 6 дБ на октаву до точки С с ординатой 65 дБ. Точка С лежит за пределами нормируемого диапазона частот, отрезок СД отсутствует. Рассчитанная частотная характеристика приведена на рисунке А.1.

Сопоставляем значения графика расчетной частотной характеристики со значениями графика оценочной кривой, отражающими нормативную частотную характеристику (табл. 5 СП 23-103-2003), после чего по данным графика находим зону неблагоприятных отклонений в таблице А.1.

Таблица А.1 – Нахождения зоны неблагоприятных отклонений

№	Параметры	Среднегеометрическая частота 1/3- октавной полосы, Гц																
		100	125	160	200	250	315	400	500	630	800	1000	1250	1600	2000	2500	3150	∑
1.	Расчетная частотная характеристика R, дБ	35	35	35	35	35	35	37	39	41	43	45	47	49	51	53	55	
2.	Оценочная кривая, дБ	33	36	39	42	45	48	51	52	53	54	55	56	56	56	56	56	
3.	Неблаго-приятные отклонения, дБ		1	4	7	10	13	14	13	12	11	10	9	7	5	3	1	120
4.	Оценочная кривая, смещенная вниз на 8дБ	25	28	31	34	37	40	43	44	45	46	47	48	48	48	48	48	
5	Неблаго-приятные отклонения от смещенной оценочной кривой, дБ					2	5	6	5	4	3	2	1					28
6.	Индекс изоляции воздушного шума, дБ								44									

Сумма неблагоприятных отклонений составила 120 дБ, что превышает 32 дБ. Смещаем оценочную кривую вниз на 8 дБ и находим сумму неблагоприятных отклонений уже со смещенной оценочной кривой. На этот раз она составляет 28 дБ, что мене 32 дБ. За величину индекса изоляции воздушного шума принимаем значение смещенной оценочной кривой 1/3 – октавной полосе 500 Гц, т.е. R_w=44 дБ.

Вывод: Расчетный индекс изоляции воздушного шума перегородки из керамзитобетонных блоков, оштукатуренной гипсовой штукатуркой с двух сторон, общей толщиной 110 мм, средней плотностью 1500 кг/м^3, которая является перегородкой, разделяющей комнаты в квартире, составляет R_w = 44 дБ, что соответствует требованиям табл. 2 СП 51.13330.2011: $R_{w(\text{расчетный})}$ > 43 дБ = $R_{w\ (\text{нормативный})}$ 43 дБ.

ПРИЛОЖЕНИЕ Б

(справочное)

ПРИМЕР РАСЧЕТА ЗВУКОИЗОЛЯЦИИ ПЕРЕКРЫТИЯ МЕЖДУ ПОДЗЕМНЫМ ЭТАЖОМ И 1 ЭТАЖОМ:

Состав перекрытия:

– Железобетонная плита перекрытия 200 мм, плотность материала ρ= 2500 кг/м^3;

– Пароизоляция полиэтиленовая пленка 100 мкм, плотность материала ρ = 120 кг/м^3;

– Экструзионный пенополистирол Технониколь Carbon Prof 50 мм, плотность материала ρ = 85 кг/м^3;

– Цементно-песчаная стяжка, армированная сеткой 60 мм, плотность материала ρ = 1800 кг/м^3;

– Керамогранитная плитка на клее 20 мм, плотность материала ρ = 2200 кг/м^3.

Полезная нагрузка 2000 Па определяем по табл. 8.3 СП 20.13330.2011 «Нагрузки и воздействия». Актуализированная редакция СНиП 2.01.07-85*.

Определяем поверхностные плотности элементов перекрытия (состав см. выше) по формуле

$m = p \cdot \delta$, кг/м^2,

где $p -$ объемный вес материала ограждающей конструкции, кг/м3;

$\delta -$ толщина конструкции, м.

т.к. $m = 2500 \cdot 0{,}2 = 500$ кг/м^2

$К = 1{,}0$

Определяем величину R_{w0} для плиты перекрытия:

$R_{w0} = 37lgm_1 + 55lgК - 43$, дБ (формула 8), СП 23-103-2003 «Проектирование звукоизоляции ограждающих конструкций жилых и общественных зданий».

$R_{w0} = 37lg500 + 55lg1{,}0 - 43 = 56{,}86 \approx 57$ дБ

$m_2 = 120 \cdot 0{,}0001(\text{пароизоляция}) + 1800 \cdot 0{,}06\,(\text{стяжка}) + 2200 \cdot$

$\cdot\ 0{,}02(\text{плитка}) = 0{,}012 + 108 + 44 = 152$ кг/м^2

Нагрузка на звукоизоляционный слой 2000+1520=3520 Па.

Вычисляем частоту резонанса конструкции по формуле 11 СП 23-103-2003

$$f_p = 0{,}16\sqrt{\frac{E_д(m_1 + m_2)}{dm_1m_2}}, \text{Гц}$$

где $m_2 -$ поверхностная плотность пола (без звукоизоляционного слоя), кг/м^2;

$E_д -$ динамический модуль упругости материала заполнения, Па, принимается по табл. 16 СП 23-103-2003;

$d -$ толщина звукоизоляционного слоя в обжатом состоянии, м, определяемая по формуле $d = d_0 \cdot (1 - e)$

d_0 – толщина звукоизоляционного слоя в не обжатом состоянии, м;

e – относительное сжатие материала звукоизоляционного слоя под нагрузкой, Па, принимается по табл. 16 СП 23-103-2003.

Методом интерполяции вычисляем: $E_д = 1{,}8 \cdot 10^5$ Па, $e = 0{,}19$ (таблица 16) $d = 0{,}05 \cdot (1\text{-}0{,}19) = 0{,}04$ м:

$$f_p = 0{,}16\sqrt{\frac{E_д(m_1 + m_2)}{dm_1m_2}} = 0{,}16\sqrt{\frac{1{,}8 \cdot 10^5(500 + 152)}{0{,}04 \cdot 500 \cdot 152}} = 31{,}44 \approx 63 \text{ Гц}$$

Вывод: Расчетный индекс изоляции воздушного шума монолитным перекрытием составляет $R_w = 32{,}07$ дБ (расчетный), что меньше нормируемого уровня звука $L_{Аэкв} = 50$ дБА.

Посчитаем ударный шум:

Lnw=60 дБ (для перекрытий между квартирами);

Lnw=63 дБ (для перекрытий между помещениями квартиры и расположенными под ними административными помещениями, офисами).

Вычисляем частоту резонанса контракции по формуле 13 СП 23-103-2003:

$$f_0 = 0{,}16\sqrt{\frac{E_д}{dm_2}},\ Гц$$

При $E_д = 6{,}3 \cdot 10^5$ Па (таблица 16) и d=0,011(1-0,08) = 0,01 м:

$$f_0 = 0{,}16\sqrt{\frac{6{,}3 \cdot 10^5}{0{,}01 \cdot 144}} = 105{,}11 \approx 100\ ГЦ$$

По таблице 17 (СП 23-103-2003) находим индекс изоляции приведенного уровня ударного шума под междуэтажным перекрытием Lnw= 54 дБ.

Расчетный индекс приведенного уровня ударного шума перекрытием составляет Lnw= 54 дБ (расчетный) <Lnw= 63 дБ (нормативное), что удовлетворяет необходимым требованиям табл. 2 п. 6 СП 51.13330.2011.

ПРИЛОЖЕНИЕ В

(справочное)

ПРИМЕР РАСЧЕТА ОЖИДАЕМОГО УРОВНЯ ШУМА В ОФИСНЫХ ПОМЕЩЕНИЯХ, РАСПОЛОЖЕННЫХ НАД ИНЖЕНЕРНЫМ ОБОРУДОВАНИЕМ:

В соответствии с планировочными решениями над инженерными помещениями с источниками шума в подземном этаже запроектированы помещения общественного назначения с нормируемыми показателями уровней звука в расчетных точках.

Нормируемое значение индекса изоляции воздушного шума – Rw = 54 дБ – (Перекрытия, отделяющие рабочие комнаты, кабинеты от помещений с источниками шума) по табл. 2 СП 51.13330.2011.

Нормируемым уровнем звука (эквивалентный уровень звука), дБА в офисных помещениях является $L_{Аэкв}$=50 дБА (постоянно). Максимальным уровнем звука в офисных помещениях является $L_{Амах}$=65 дБА (постоянно). Допустимый уровень шума от инженерных установок следует принимать на 5 дБА ниже заявленных значений.

Определяем уровень шума в смежных помещениях от работы оборудования в ИТП:

Заданное значение уровня звукового давления в помещении с источниками шума:

Lw1 = 64 дБ (Stratos_MAXO_30_0,5-14_PN10);

Lw2 = 64 дБ (IL_50_120-2,2_2);

Lw3 = 58 дБ (MHIL_104-E-1-230-50-2);

Lw_4 = 52 дБ (Yonos_MAXO-Z_25_0,5-10).

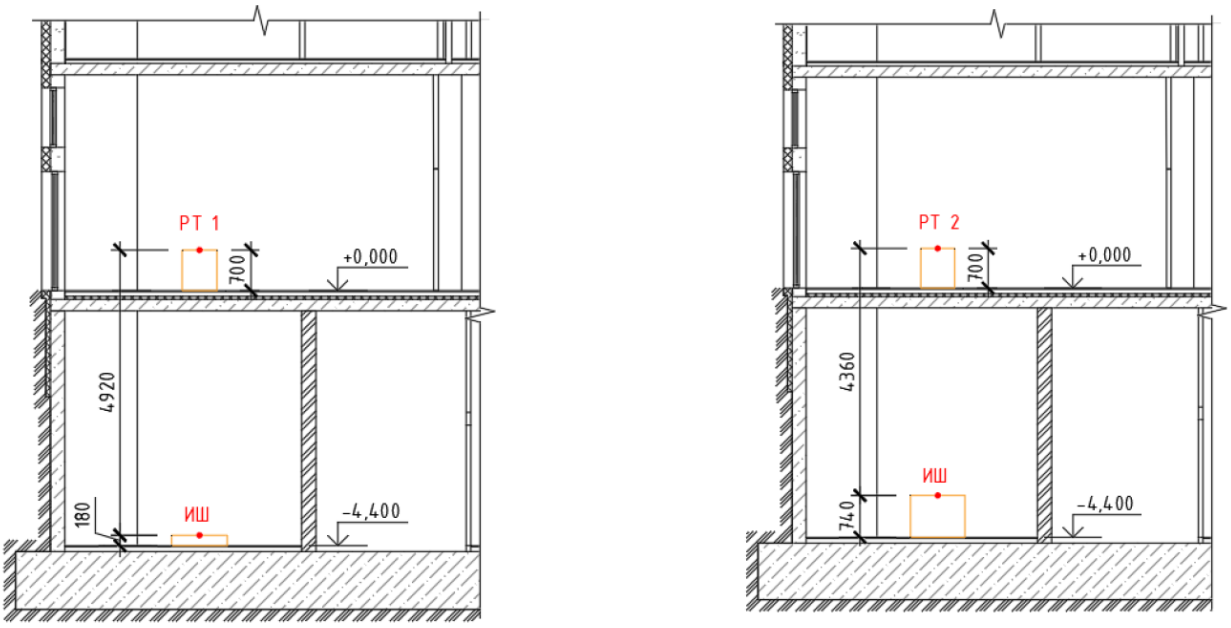


Рисунок А.2 – Расположение ИШ и РТ

$$L_{\text{сум}} = 10\lg\left(\sum_{i=1}^{m}\frac{10^{0,1L_{wi}}\chi_i\phi_i}{\Omega r_i^2} + \frac{4}{kB}\sum_{i=1}^{n}10^{0,1L_{wi}}\right),$$

где L_{wi} – октавный уровень звуковой мощности i-го источника, дБ;

χ_i – коэффициент, учитывающий влияние ближнего поля в тех случаях, когда расстояние r меньше удвоенного максимального габарита источника (r <$2l_{max}$);

Вводится пользователем с клавиатуры;

ϕ_i – фактор направленности источника шума (для источников с равномерным излучением $\phi = 1$;

Ω – пространственный угол излучения источника, рад.;

r– расстояние от источника шума до расчетной точки в метрах, берется из модели;

m– число источников шума;

n – общее число источников шума в помещении;

k – коэффициент, учитывающий нарушение диффузности звукового поля в помещении;

B – акустическая постоянная помещения, м^2.

$$L_{\text{сум}} = 10\lg((\frac{10^{0,1\cdot 64}\cdot 4\cdot 1}{2\cdot 3,14\cdot 4,92^2}+\frac{10^{0,1\cdot 64}\cdot 3,9\cdot 1}{2\cdot 3,14\cdot 4,91^2}+\frac{10^{0,1\cdot 58}\cdot 4\cdot 1}{2\cdot 3,14\cdot 4,91^2}+\frac{10^{0,1\cdot 52}\cdot 4\cdot 1}{2\cdot 3,14\cdot 4,92^2}$$
$$+\frac{4\cdot 0,83}{12,8}(10^{0,1\cdot 64}+10^{0,1\cdot 64}+10^{0,1\cdot 58}+10^{0,1\cdot 52})) = 62 \text{ Дб}$$

Непосредственно над помещением ИТП с источниками шума находится офисное помещение с постоянным нахождением людей. На рабочих местах, на которых работы выполняются сидя, расчетная точка располагается на высоте (0,80±0,05) м над поверхностью сиденья (СП 254.1325800)

Нормируемым уровнем звука (эквивалентный уровень звука), дБА в офисных помещениях является $L_{Аэкв}$=50 дБА (постоянно). Максимальным уровнем звука в офисных помещениях является $L_{Амах}$=65 дБА (постоянно). Допустимый уровень шума от инженерных установок следует принимать на 5 дБА ниже заявленных значений.

ПРИЛОЖЕНИЕ Г

(справочное)

ПРИМЕР РАСЧЕТ УРОВНЯ ЗВУКА В ЖИЛОЙ ЗАСТРОЙКЕ:

В соответствии с п.12.5 СП 51.13330.2011 расчетные точки (РТ) приняты:

– m 1 – на детской площадке, ближайшей к источнику шума на высоте 1,5 метра от поверхности земли;

– m 2 – на площадке отдыха, ближайшей к источнику шума на высоте 1,5 метра от поверхности земли.

Источник шума (ИШ) приняты по оси ближней к расчетной точке полосы (пути) движения на высоте 1м от уровня поверхности проезжей части дороги.

Шумовая характеристика источников внешнего шума принята на расстоянии 7,5 м от оси первой полосы движения автомобильного транспорта (п. 5.4. СП 51.13330.2011).

Расчет по шуму на настоящее время на территории детской площадки (точка m 1)

– улица Харьковская $L_{A\,экв}$=75 дБА;

– улица Минская $L_{A\,экв}$=73 дБА;

– улица Холодильная $L_{A\,экв}$=73 дБА;

– улица Харьковская $L_{A\,экв}$=73 дБА.

Эквивалентный уровень звука от транспортных средств в расчетной точке на селитебной территории определяем по формуле (4) Справочника:

$$L_{\text{Атер}} = L_{\text{Аэкв}} - \Delta L_{\text{Арас}} - \Delta L_{\text{Апок}} - \Delta L_{\text{воз}} - \Delta L_{\text{Азел}} - \Delta L_{\text{A}\alpha}$$

$L_{\text{Аэкв}}$ – шумовая характеристика транспортного потока, дБА;

$\Delta L_{\text{Арас}}$– снижение уровня звука, дБА, в зависимости от расстояния между источником шумаи расчетной точкой;

$\Delta L_{\text{Апок}}$– снижение уровня звука, дБА, вследствие влияния покрытия территории;

$\Delta L_{\text{воз}}$ – снижение уровня звука, дБА, вследствие затухания звука в воздухе;

$\Delta L_{\text{Азел}}$ – снижение уровня звука, дБА, полосами зеленых насаждений;

$\Delta L_{\text{A}\alpha}$ – снижение уровня звука, дБА, вследствие ограничения угла видимости улицы или дороги из расчетной точки.

Снижение уровня звука транспортного потока в зависимости от расстояния между ИШ и РТ и числа полос движения (по рис.3 Справочника):

ИШ – 1.1	$r_l = 51{,}85$ м	$\Delta L_{\text{Араст.1}} = 9{,}5$ дБА
ИШ – 1.2	$r_l = 137{,}60$ м	$\Delta L_{\text{Араст.2}} = 19$ дБА
ИШ – 1.3	$r_l = 85{,}75$ м	$\Delta L_{\text{Араст.3}} = 19$ дБА
ИШ – 1.4	$r_l = 102{,}50$ м	$\Delta L_{\text{Араст.4}} = 9{,}5$ дБА

Снижение уровня шума вследствие его поглощения в воздухе (по номограмме рис.7 Справочника).

ИШ – 1.1	$r_l = 51{,}85$ м	$\Delta L_{\text{А воз.1}} = 0{,}25$ дБА
ИШ – 1.2	$r_l = 137{,}60$ м	$\Delta L_{\text{А воз.2}} = 0{,}7$ дБА
ИШ – 1.3	$r_l = 85{,}75$ м	$\Delta L_{\text{А воз.3}} = 0{,}425$ дБА
ИШ – 1.4	$r_l = 102{,}50$ м	$\Delta L_{\text{А воз.4}} = 0{,}5$ дБА

Снижение уровня звука вследствие влияния покрытия территории.

Для потоков средств автомобильного транспорта в случаях, когда проезжая часть дороги расположена на одном уровне с поверхностью территории защищаемого от шума объекта для ИШ-1.1:

$$\sigma = \frac{0{,}07 \cdot d_n}{h_{\text{рт}}}$$

$$d_n = 1{,}4 \cdot l_{\text{п}}$$

d_n – расчетное расстояние, м

$l_{\text{п}}$ – длина, м, проекции расстояния rn на условную плоскость территории защищаемого от шума объекта.

$h_{\text{рт}} = 1{,}5$ м

$d_n = 1{,}4 \cdot 51{,}85 = 72{,}59$

$$\sigma = \frac{0{,}07 \cdot 72{,}59}{1{,}5} = 3{,}4$$

По табл. 25 Справочника методом интерполяции вычисляем $\Delta L_{\text{А покр.1}} = 6{,}13$ дБА

для ИШ-1.2:

$$\sigma = \frac{0{,}1 \cdot d_n}{h_{\text{тр}} \cdot 10^{0{,}3(h_{\text{иш}} - 0{,}5)}}$$

$$d_n = 1{,}4 \cdot 137{,}60 = 192{,}64$$

$$h_{\text{рт}} = 1{,}5 \text{ м}$$

$h_{\text{иш}}$ – высота, м, условного акустического центра источника шума над условной плоскостью территории защищаемого от шума объекта.

$$h_{\text{иш}} = 1{,}10 \text{ м}$$

$$\sigma = \frac{0{,}1 \cdot 192{,}64}{1{,}5 \cdot 10^{0{,}3(1{,}1 - 0{,}5)}} = 8{,}48$$

По табл. 25 Справочника методом интерполяции вычисляем $\Delta L_{\text{А покр.2}} = 9{,}67$ дБА

для ИШ-1.3:

$$h_{\text{рт}} = 1{,}5 \text{ м}$$

$$d_n = 1{,}4 \cdot 85{,}75 = 120{,}05$$

$$\sigma = \frac{0{,}07 \cdot 120{,}05}{1{,}5} = 5{,}6$$

По табл. 25 Справочника методом интерполяции вычисляем $\Delta L_{\text{А покр.3}} = 8{,}25$ дБА

для ИШ-1.4:

$$h_{\text{рт}} = 1{,}5 \text{ м}$$

$$d_n = 1{,}4 \cdot 102{,}5 = 143{,}5$$

$$\sigma = \frac{0{,}07 \cdot 143{,}5}{1{,}5} = 6{,}69$$

По табл. 25 Справочника методом интерполяции вычисляем $\Delta L_{\text{А покр.4}} = 8{,}83$ дБА

Снижение уровня звука $\Delta L_{A\alpha}$ дБА, вследствие ограничения угла видимости улицы из расчетной точки определяем по табл.30 Справочника:

ИШ – 1.1	$\alpha = 20°$	$\Delta L_{A\alpha 1} = 9{,}5$ дБА
ИШ – 1.2	$\alpha = 4°$	$\Delta L_{A\alpha 2} = 17$ дБА
ИШ – 1.3	$\alpha = 26°$	$\Delta L_{A\alpha 3} = 8{,}5$ дБА
ИШ – 1.4	$\alpha = 20°$	$\Delta L_{A\alpha 4} = 9{,}5$ дБА

Вычисляем суммарный уровень звука в расчетной точке m1

Для ИШ-1.1: $L_{A\ \text{застр.}1} = 75 - 9{,}5 - 6{,}13 - 0{,}25 - 9{,}5 = 49{,}62$дБА

Для ИШ-1.2: $L_{A\ \text{застр.}2} = 73 - 19 - 9{,}67 - 0{,}7 - 17 = 26{,}63$ дБА

Для ИШ-1.3: $L_{A\ \text{застр.}3} = 73 - 19 - 8{,}25 - 0{,}425 - 8{,}5 = 36{,}825$ дБА

Для ИШ-1.4: $L_{A\ \text{застр.}4} = 73 - 9{,}5 - 8{,}83 - 0{,}5 - 9{,}5 = 44{,}67$ дБА

LАотр′ принимаем по таблице 31 Справочника = 1,5 дБА

$L_{A\ \text{тер}\ 1} = L_{A\ \text{тер}} + L_{A\ \text{отр}'} + 49{,}62 + 1{,}5 = 51{,}12$ дБА

$L_{A\ \text{тер}\ 2} = L_{A\ \text{тер}} + L_{A\ \text{отр}'} = 26{,}63 + 1{,}5 = 28{,}13$ дБА

$L_{A\ \text{тер}\ 3} = L_{A\ \text{тер}} + L_{A\ \text{отр}'} = 36{,}825 + 1{,}5 = 38{,}325$ дБА

$L_{A\ \text{тер}\ 4} = L_{A\ \text{тер}} + L_{A\ \text{отр}'} = 44{,}67 + 1{,}5 = 46{,}17$ дБА

$L_{A\ \text{экв тер}} = 10\lg(10^{0{,}1 \cdot 51{,}12} + 10^{0{,}1 \cdot 28{,}13} + 10^{0{,}1 \cdot 38{,}325} + 10^{0{,}1 \cdot 46{,}17}) = 52{,}51$дБА

Допустимый уровень звука на детской площадке по таблице 7 Справочника $L_{A\ \text{экв доп}} = 45$дБА.

Расчетное значение уровня звука на настоящее время в расчетной точке m.1 превышает допустимое 52,51дБА >45дБА.