

УДК: 534.6
OECD: 01.03.AA

Расчет распространения внешнего шума промышленного предприятия

Буторина М.В.^{1*}, Васильев А.П.², Васильева А.В.³

¹Д.т.н., доцент, профессор кафедры «Экология и производственная безопасность»,

²Старший преподаватель кафедры «Экология и производственная безопасность»,

³К.т.н., доцент кафедры «Экология и производственная безопасность»,

^{1,2,3}Балтийский государственный технический университет «ВОЕНМЕХ»
им. Д.Ф. Устинова, г. Санкт-Петербург, РФ

Аннотация

На стадии проектирования промышленных предприятий необходимо использовать методы, которые наиболее точно позволяют оценить распространение шума в окружающей среде. Действующий в РФ ГОСТ 31295.2 предназначен только для точечных источников, в то время как промышленное предприятие может быть представлено как плоский источник согласно СП 51.13330 и ГОСТ 31297. В работе представлены результаты измерений шума от промышленного предприятия, которые подтверждают теорию трансформации звуковых полей при переходе с увеличением расстояния от плоской волны в цилиндрическую и далее с сферическую. Полученные результаты свидетельствуют, что за размер плоского источника шума следует принимать только ту часть площади предприятия, на которой расположены основные значимые источники шума, при этом размер линейного источника (при переходе из плоского типа волны в цилиндрический) соответствует периметру данного плоского источника. Разработаны расчетные формулы для оценки распространения шума промышленного предприятия, базирующиеся на статистической геометрической теории акустики. Отклонение результатов расчетов от результатов измерений лежит в пределах неопределенности инженерных расчетов.

Ключевые слова: промышленный шум, плоский источник шума, линейный источник шума, звуковая волна, затухание шума

Prediction of external noise propagation from an industrial plant

Butorina M.V.^{1*}, Vasilev A.P.² Vasileva A.V.³

¹D.Sc., Associate Professor, Professor of the Department of Ecology and Industrial Safety,

²Senior lecturer of the Department of Engineering environmental protection,

¹Ph.D., Associate Professor of the Department of Ecology and Industrial Safety,

^{1,2,3}Baltic State Technical University 'VOENMEH', St. Petersburg, Russia

Abstract

At the design stage of industrial enterprises, it is necessary to use methods that most accurately assess the propagation of noise in the environment. GOST 31295.2, which is in force in the Russian Federation, is intended only for point sources, while an industrial enterprise can be represented as a flat source in accordance with SP 51.13330 and GOST 31297. The paper presents the results of noise measurements from an industrial enterprise, which confirm the theory of sound field transformation when moving from a flat wave to a cylindrical

*E-mail: butorina_mv@voenmeh.ru (Буторина М.В.)

wave and then to a spherical wave with increasing distance. The results obtained indicate that the size of a flat noise source should be taken to be only that part of the enterprise area where the main significant noise sources are located, while the size of a linear source (when transitioning from a flat wave type to a cylindrical one) corresponds to the perimeter of this flat source. Calculation formulas have been developed to estimate the propagation of noise from an industrial enterprise, based on the statistical geometric theory of acoustics. The deviation of the calculation results from the measurement results is within the uncertainty of engineering calculations.

Keywords: industrial noise, flat noise source, linear noise source, sound wave, noise attenuation

Введение

Промышленные предприятия зачастую создают повышенные уровни шума в прилегающей к ним жилой застройке [1]. Результаты разработки карты шума г. Санкт-Петербурга показывают, что промышленный шум превалирует на 19% городских территорий [2], что влечет за собой жалобы со стороны населения, штрафы для предприятий вплоть до приостановки деятельности до устранения негативного воздействия. Избежать такой ситуации можно уже на стадии проектирования промышленного предприятия и при разработке проекта его санитарно-защитной зоны в ходе проведения акустических расчетов [3].

Существующий применяемый в РФ метод расчета затухания звука при распространении на местности, изложенный в ГОСТ 31295.2 [4], позволяет проводить расчеты для точечного или группы точечных источников, т.е. любой плоский либо линейный источник шума должен быть аппроксимирован как группа точечных источников для обеспечения возможности применения этого метода. Программное обеспечение, реализующее данную расчетную методику, позволяет осуществлять ввод линейных и плоских источников шума, однако, реализация данного подхода ведет к возникновению ошибок при расчете распространения шума, особенно для плоского источника.

Исходя из вышеизложенного возникает задача разработки новых методов расчета распространения шума, обладающих большей точностью и простотой применения, т.к. существующие методы расчета распространения шума промышленных предприятий с множественными источниками шума, предъявляют повышенные требования к компетентности специалиста, а также требуют построения сложной и детализированной цифровой модели объекта при выполнении расчетов в специализированном программном обеспечении [5]-[7], и практически исключают возможность применения «ручных» расчетов даже для получения приблизительного результата и ориентировочной оценки.

С учетом вышесказанного была выдвинута гипотеза, что промышленное предприятие можно рассмотреть как единый линейный или плоский источник, что соответствует подходу, принятому с СП 51.13330 [8], когда шумовая характеристика предприятия определяется как эквивалентный скорректированный по А уровень звука, дБ, на границе территории предприятия с максимальным линейным размером в плане более 300 м, а также ГОСТ 31297 [9], который регламентирует метод определения уровней звуковой мощности промышленных предприятий с множественными источниками шума.

1 Натурные измерения распространения шума промышленного предприятия

Для проверки предложенной гипотезы был проведен эксперимент на производственном объекте, который имеет на своей территории свыше 100 точечных

источников шума. Эксперимент включал в себя три основных этапа:

1. Проведение инвентаризации источников шума на территории промышленного предприятия;
2. Измерение шумовых характеристик и определение линейных размеров источников шума;
3. Измерение уровней шума в точках измерений, расположенных на удалении от предприятия.

Сетка точек измерений выстраивалась с шагом в 100 метров, что позволило получить закономерности снижения шума при увеличении расстояния.

Измерения производились с помощью поверенной измерительной системы 1 класса точности на базе шумомера-виброметра, анализатора спектра «ЭКОФИЗИКА-110А» с предусилителем Р200 и микрофоном ВМК-205. До и после проведения измерений была выполнена проверка калибровки измерительного тракта с применением акустического калибратора АК-1000.

В каждой точке выполнялась серия, состоящая не менее чем из 3 измерений, продолжительность каждого измерения не менее 5 минут. Измеряемые параметры – уровни звукового давления (УЗД, дБ) в октавных полосах со среднегеометрическими частотами в диапазоне от 31,5 до 8000 Гц, а также уровни звука (УЗ, дБА). Ввиду того, что предприятие работает непрерывно, и оценить вклад фоновых источников шума не представлялось возможным, можно констатировать, что измерялся суммарный шум, однако периоды проведения измерений выбирались в период наименьшей интенсивности фоновых источников шума, а все помехи, преимущественно от движения автотранспортных средств по прилегающим к предприятию дорогам [10], устранялись как на этапе проведения измерений, так и на этапе постобработки. Величина расширенной неопределенности измерений по уровню звука во всех точках по каждой серии не превысила 1,5 дБА.

Результаты измерений приведены на рисунках 1 и 2.

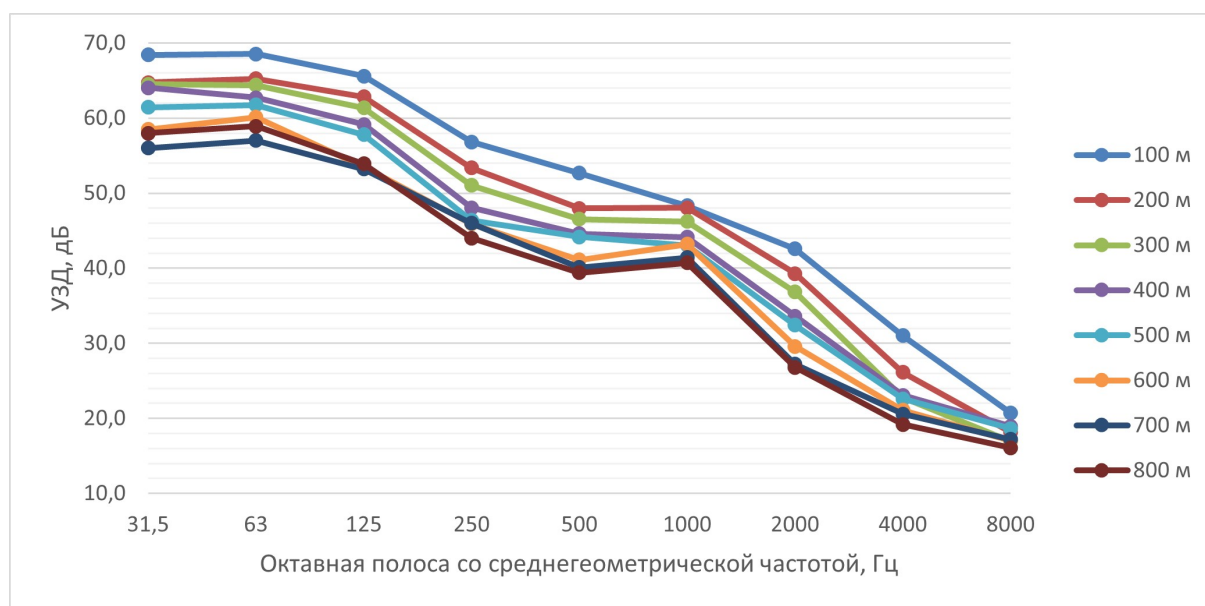


Рисунок 1 – Спектральное распределение УЗД на различных расстояниях от предприятия

Анализируя результаты измерений уровней звукового давления, можно заявить, что измерения проведены достаточно корректно и влияние помех на результаты измерений

минимально, т.к. на графиках отсутствуют явные выбросы и отклонения от тренда.

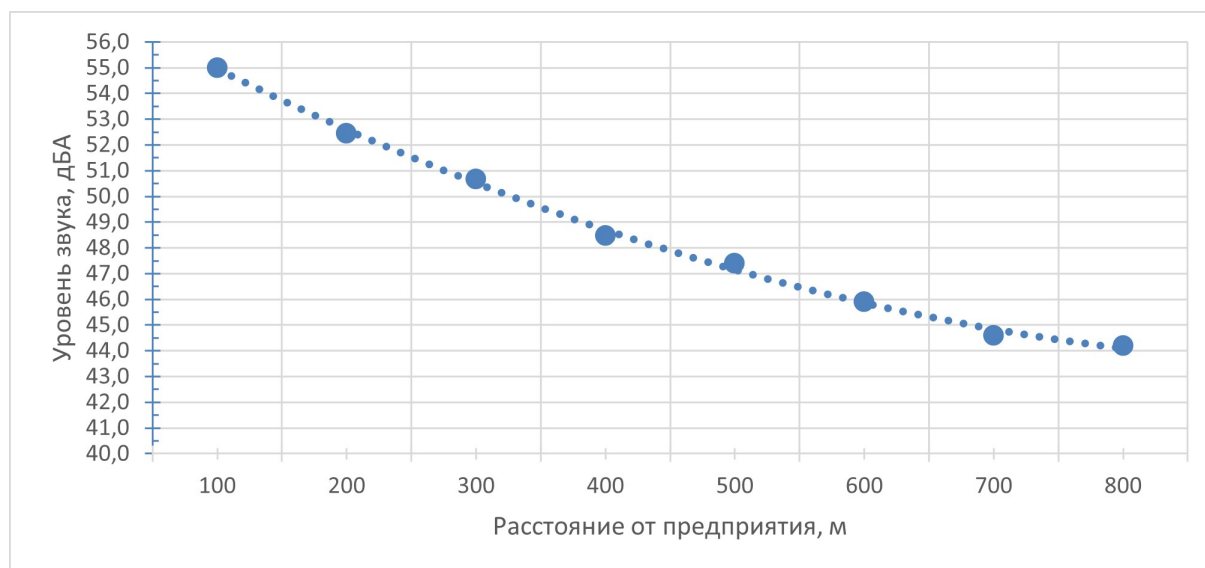


Рисунок 2 – Средние уровни звука на различных расстояниях от предприятия

Следует также отметить, что результаты измерений исключают частотно зависимый вклад, т.е. определялось именно снижение шума в свободном звуковом поле, в большей степени зависящее от дивергенции звука. Характер снижения шума с увеличением расстояния соответствует логарифмическому закону.

Согласно теории трансформации звуковых полей, плоская волна с увеличением расстояния переходит в цилиндрическую и далее с сферическую, при этом границы перехода размыты, здесь возникают переходные типы квази-волн, что может быть описано закономерностями, представленными в таблице 1 согласно [11].

Таблица 1 – Характер звуковой волны и расчетные формулы

Характер звуковой волны	Условия	Формула для расчета
Плоская	$R \leq 0,4\sqrt{S}$	$I_{PT} = \frac{W_{уст}}{\pi l h} \arctg \frac{lh}{2R\sqrt{4R^2 + l^2 + h^2}}$
Квазиплоская	$0,4\sqrt{S} \leq R \leq \frac{l}{\pi}$	
Цилиндрическая	$R \leq \frac{l}{\pi}$	$I_{PT} = \frac{W_{уст}}{2\pi l R} \arctg \frac{l}{2R}$
Квазиплоская	$\frac{l}{\pi} \leq R \leq 2l$	
Сферическая	$R \geq 2l$	$I_{PT} = \frac{W_{уст}}{\Omega R^2}$
R – расстояние от источника шума до расчетной точки, м; h, l – высота и длина излучателя (здания), м; S – площадь излучателя, м ² ; $W_{уст}$ – мощность источника звука, Вт; Ω – угол, в который производится излучение		

Анализ результатов, представленных на рисунках 1 и 2 позволяет оценить величину затухания звука при увеличении расстояния от производственного предприятия до точки наблюдения. Так при сравнении результатов измерений в точках на 100 и на 200 метрах, мы видим величину затухания порядка 2,5 дБА, при распространении с 200 до 400 метров 4,0 дБА, с 300 до 600 метров 4,7 дБА, и с 400 до 800 м 4,2 дБА. Следует отметить, что эти закономерности соответствуют типам волн, описанных формулами, представленными в таблице 1.

Анализ результатов измерений позволил также определить размеры плоского источника шума. Результаты измерений показывают, что граница перехода от квазиплоской волны к квазицилиндрической лежит примерно на расстоянии 225 метров от производственного предприятия, что соответствует размеру источника шума порядка 700 м. Полученная закономерность позволяет предположить, что за размер плоского источника шума следует принимать ту часть площади предприятия, на которой расположены основные значимые источники шума, при этом размер линейного источника (при переходе из плоского типа волны в цилиндрический) соответствует периметру данного плоского источника площадью порядка 25900 кв.м. (рисунок 3).

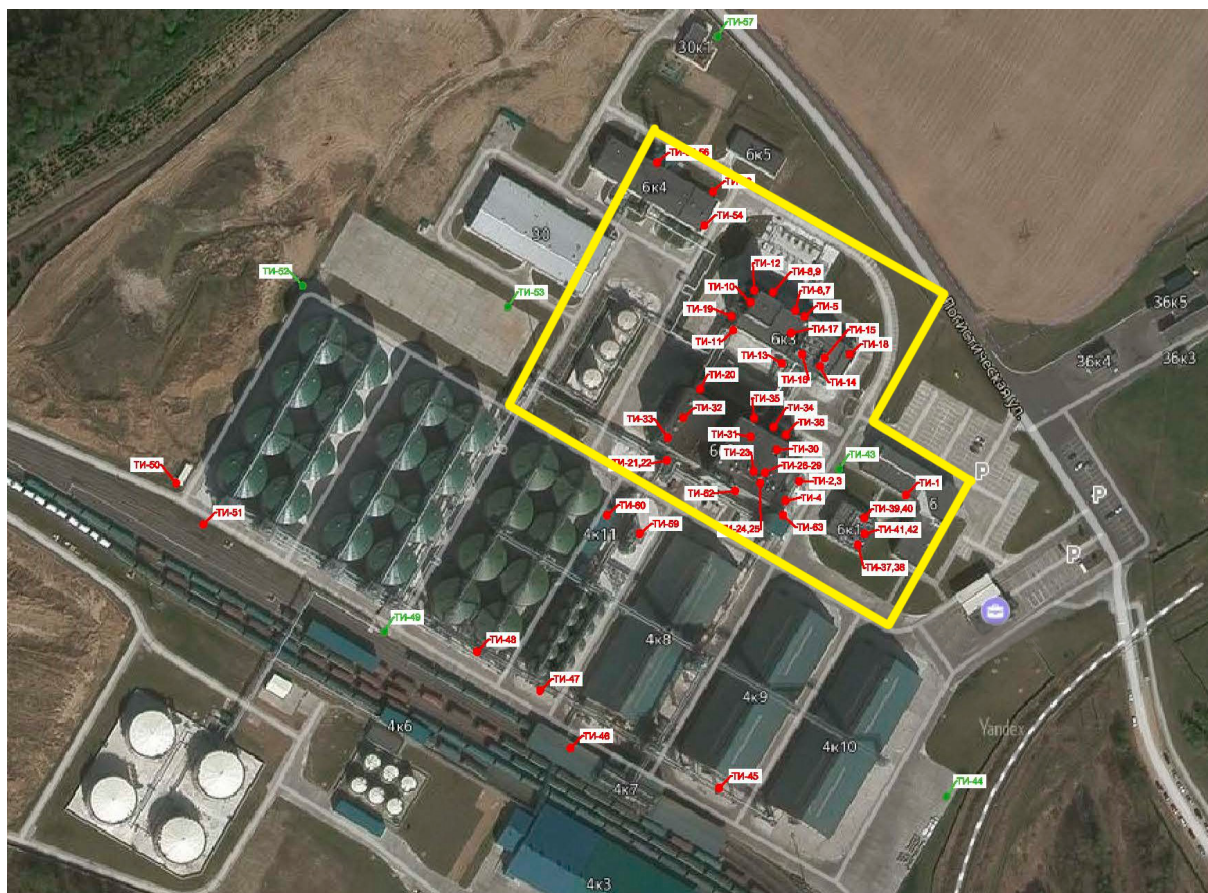


Рисунок 3 – Определение размера плоского и линейного источника шума

С учетом вышеуказанного, рекомендацию СП 51.13330.2011 по определению шумовой характеристики предприятия на его границе следует уточнить с учетом расположения основных значимых источников шума.

2 Разработка расчетного метода оценки распространения шума промышленного предприятия

В основу математических моделей для расчетных формул положена теория оценки снижения шума, базирующаяся на статистической геометрической теории акустики, разработанной Н.И. Ивановым [12], подробно описанная М.В. Буториной в [11].

Согласно данной теории в соответствии с принципом Гюйгенса здания различных форм рассматриваются как вторичные излучатели шума. Вторичные излучатели преобразуют звуковое поле источника шума на пути его распространения до расчетной точки. В ходе преобразования учитываются основные геометрические размеры источников шума, а также звукопоглощающие свойства кровель и фасадов зданий.

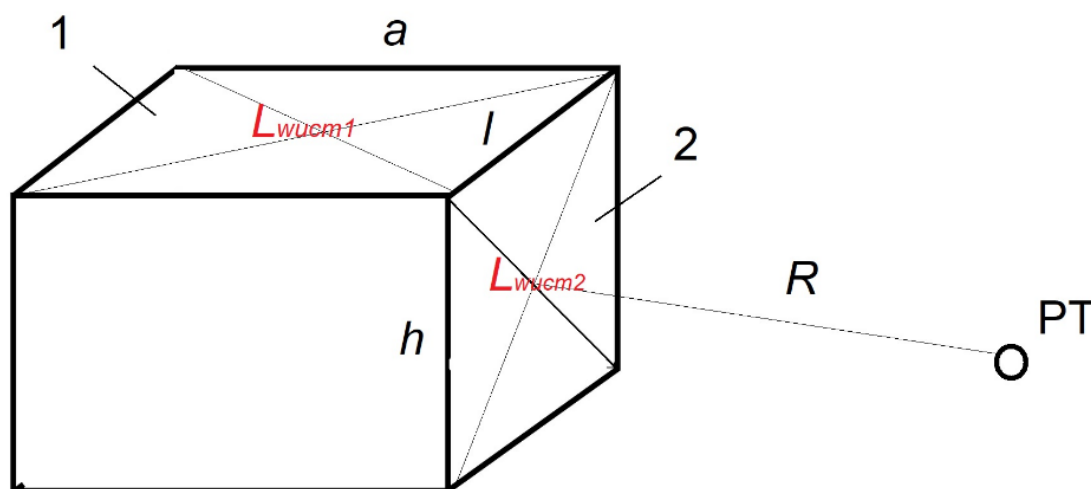
Звуковое поле в точке на территории застройки формируется вкладами вторичных источников шума. Изначально группа точечных источников на территории предприятия аппроксимируется плоским источником шума. Распространение шума на прилегающей территории происходит от вторичного плоского излучателя звука, который по мере увеличения расстояния переходит в линейный, а затем в точечный источник.

Разрабатываемый расчетный метод позволяет оценить снижение шума за счет дивергенции при распространении звука в свободном поле.

В разработанной теории учитывается, что звук изначально равномерно распределяется по площади плоского источника шума, расположенного параллельно поверхности земли (кровли зданий). Однако при оценке дивергенции учитывается вторичный источник шума, расположенный на фасадах зданий, перпендикулярных поверхности земли, обращенных в сторону расчетной точки. Таким образом, происходит трансформация первичного источника во вторичный за счет дифракции звука через кромку зданий.

При этом звук от источника шума сразу попадает к боковому свободному ребру препятствия, и распространяется за него с учетом метода огибания, учитывающего линейное распространение звуковой волны, зависящее от линейных параметров препятствия. Коэффициент дифракции принимается для этого свободного ребра.

Граничные условия расчета определяются видом звуковой волны, описываемой формулами из таблицы 1. Расчетная схема для оценки распространения шума представлена на рисунке 4.



1 – первичный плоский источник шума (кровля), 2 – вторичный плоский источник шума (фасад), РТ – расчетная точка

Рисунок 4 – Схема для расчета распространения шума

Кровля здания, аппроксимируется как первичный плоский источник шума, сформированный совокупностью точечных источников, звуковая энергия которых при распространении в расчетную точку частично экранируется зданием. С учетом принципа Гюйгенса, вторичным излучателем выступает верхнее ребро здания, которое представляет собой вторичный линейный излучатель конечной длины, равной длине здания l (м), с шириной, которую примем условно равной 1 м. С учетом поглощающей способности

кровли здания акустическая мощность излучателя определится как:

$$W_1 = I_1 \times (1 - \alpha_{кр}) \times l \times 1, \text{Вт}, \quad (1)$$

где I_1 – интенсивность звука на кровле здания, Вт/м²;

$\alpha_{кр}$ – коэффициент звукопоглощения кровли здания;

l – длина ребра здания, м.

Интенсивность звука $I_1 = I_2$ равномерно распределяется по фасаду здания. Акустическая мощность вторичного плоского излучателя, расположенного со стороны расчетной точки, с длиной l и высотой h составит:

$$W_2 = I_1 \times l \times h \times \beta_{диф}, \text{Вт}, \quad (2)$$

где диф $\beta_{диф}$ – коэффициент дифракции ($1/\pi$).

Интенсивность звука в расчетной точке, расположенной на расстоянии R от здания, которое не превышает $R \leq 0,4\sqrt{S}$, определится исходя из формулы, разработанной для плоского источника [13], как:

$$I_{РТ} = \frac{W_2}{2\pi lh} \arctg \frac{lh}{2R\sqrt{4R^2 + l^2 + h^2}}, \text{Вт/м}^2 \quad (3)$$

Подставив (1), (2) в (3) и сделав необходимые сокращения и преобразования, получим:

$$I_{РТ} = \frac{W_1 \beta_{диф}}{2\pi l(1 - \alpha_{кр})} \arctg \frac{lh}{2R\sqrt{4R^2 + l^2 + h^2}}, \text{Вт/м}^2 \quad (4)$$

Разделим обе части на стандартный звуковой порог и прологарифмируем полученное выражение, в результате чего получим окончательный уровень звукового давления для расчетной точки:

$$L_{РТ} = L_{W1} - 10lg(1 - \alpha_{кр}) + 10lg\beta_{диф} - 10lg l + \\ + 10lg \left(\arctg \frac{lh}{2R\sqrt{4R^2 + l^2 + h^2}} \right) - 10lg 2\pi, \text{дБ} \quad (5)$$

При увеличении расстояния от здания до расчетной точки звук в расчетную точку будет излучаться линейным источником, с акустической мощностью:

$$W_2 = I_2 \times l \times 1 \times \beta_{диф}, \text{Вт} \quad (6)$$

Интенсивность звука в расчетной точке, расположенной на расстоянии R от здания, которое не превышает $R \leq l/\pi$, определится по формуле:

$$I_{РТ} = \frac{W_2}{2\pi l R} \arctg \frac{l}{2R}, \text{Вт/м}^2 \quad (7)$$

Проведем необходимые преобразования, в результате чего получим окончательный уровень звукового давления для расчетной точки в случае ее удаления от здания на расстояние $R \leq l/\pi$:

$$L_{РТ} = L_{W1} + 10lg\beta_{диф} - 10lg(1 - \alpha_{кр}) - 10lg l - 10lg R + 10lg \arctg \frac{l}{2R} - 10lg 2\pi, \text{дБ} \quad (8)$$

При дальнейшем увеличении расстояния источник шума примет точечный вид, а его акустическая мощность определится как:

$$W_2 = I_2 \times 1 \times 1 \times \beta_{\text{диф}}, \text{ Вт} \quad (9)$$

тогда интенсивность звука в расчетной точке, расположенной на расстоянии R от здания, которое превышает $R > 2l$, определится по формуле:

$$I_{\text{РТ}} = \frac{W_2}{2\pi R^2}, \text{ Вт/м}^2 \quad (10)$$

Проведем необходимые преобразования, в результате чего получим окончательный уровень звукового давления для расчетной точки в случае ее удаления от здания на расстояние R_2 :

$$L_{\text{РТ}} = L_{W1} + 10\lg\beta_{\text{диф}} - 10\lg(1 - \alpha_{\text{кр}}) - 20\lg R - 10\lg 2\pi, \text{ дБ} \quad (11)$$

Сравнение результатов расчета по представленным формулам с результатами имеющихся измерений для рассмотренного выше предприятия приведено в таблице 2. Границы перехода волны для рассматриваемого источника составляют: 65 м для границы плоской волны, 220 м для границы цилиндрической и 1400 м – для границы сферической волны.

Таблица 2 – Сравнение результатов расчетов и измерений

Расстояние, м	Уровень звука, дБА, по результатам измерений	Уровень звука, дБА, по расчетным формулам
100	55,0	57,9
200	52,0	54,0
300	51,0	51,4
400	48,0	49,4
500	47,0	47,7
600	46,0	46,3
700	44,5	45,0
800	44,0	43,9

Как показывает сравнение результатов расчетов и измерений, получена высокая сходимость результатов в зоне цилиндрической волны (отклонение не более 1 дБА), в зоне квазиплоской волны отклонение достигает 3 дБА. Получить достоверные результаты измерений для плоской волны в реальных условиях не представляется возможным, т.к. на значительных расстояниях от предприятия основной вклад будут оказывать фоновые уровни шума.

Заключение

В ходе исследования были выполнены экспериментальные исследования распространения шума от предприятия с множественными источниками шума.

Экспериментально подтверждена гипотеза, что такой тип предприятий можно аппроксимировать как плоский источник шума и считать распространение шума от него по методу, отличному от предложенного в ГОСТ 31295.2, предназначенного для точечных источников.

Экспериментально установлено, что закономерности снижения шума на пути распространения от предприятия соответствуют теории перехода типа волн от плоской к сферической.

Определен размер линейного источника при переходе от квазиплоской к цилиндрической волне. Установлено, что линейным размером источника выступает периметр плоского источника, содержащего все значимые точечные источники шума предприятия.

Разработан расчетный метод, основанный на методе преобразования звуковых полей, позволяющий оценить снижение шума за счет дивергенции на пути его распространения от предприятия с множественными источниками шума.

Сравнение результатов расчетов по предложенной формуле с экспериментальными данными показывает удовлетворительную сходимость, не превышающую точность инженерных расчетов по ГОСТ 31295.2 (± 3 дБА).

Список использованных источников

1. Тупов В.Б. Снижение шума от объектов большой и малой энергетики // Защита от повышенного шума и вибрации : Сборник докладов V Всероссийской научно-практической конференции с международным участием, Санкт-Петербург, 18–20 марта 2015 года под редакцией Н.И. Иванова. – Санкт-Петербург: Общество с ограниченной ответственностью "Айсинг", 2015. – С. 55-64.
2. Буторина М.В. Картирование шума транспорта на территории городской застройки - Санкт-Петербург : БГТУ, 2020. - 224 с. - ISBN 978-5-907324-15-2.
3. Бобылев В.Н., Гребнев П.А., Монич Д.В., Щеголев Д.Л. Снижение уровней шума на территории жилой застройки при работе промышленной установки // Вестник Приволжского территориального отделения Российской академии архитектуры и строительных наук : Сборник научных трудов. Нижегородский государственный архитектурно-строительный университет. Том Выпуск 23. – Нижний Новгород : Нижегородский государственный архитектурно-строительный университет, 2020. – С. 145-148.
4. ГОСТ 31295.2-2005 (ИСО 9613-2:1996) Шум. Затухание звука при распространении на местности. Часть 2. Общий метод расчёта - М.: Стандартинформ, 2006. - 23 с.
5. Тупов В.Б. Снижение шума от оборудования на территории энергетических объектов и в окружающем районе // Защита от повышенного шума и вибрации : сборник трудов конференции IX Всероссийской научно-практической конференции с международным участием, Санкт-Петербург, 26–28 апреля 2023 года. – Санкт-Петербург: Институт акустических конструкций, 2023. – С. 211-219.
6. Шабарова А.В., Буторина М.В., Куклин Д.А. Сравнение методов расчета распространения шума железнодорожного транспорта в различных типах застройки // Noise Theory and Practice. – 2022. – Т. 8, № 3(30). – С. 16-33.
7. Шабарова А.В., Буторина М.В., Куклин Д.А. Влияние степени детализации модели офисного помещения на результаты компьютерного моделирования распространения шума // Noise Theory and Practice. – 2021. – Т. 7, № 1(23). – С. 27-37.
8. Свод правил СП 51.13330.2011 «Защита от шума» Актуализированная редакция СНиП 23-03-2003 // Техэксперт : [Электронный ресурс]. - URL: <https://docs.cntd.ru/document/1200084097> (дата обращения 29.07.2025).

9. ГОСТ 31297-2005 (ИСО 8297:1994) Шум. Технический метод определения уровней звуковой мощности промышленных предприятий с множественными источниками шума для оценки уровней звукового давления в окружающей среде - М.: Стандартиформ, 2006. - 18 с.
10. Пономарев А.Л., Уланова Т.С., Молок О.А., Одегов А.А. Метод измерения шума и оценка вклада крупного промышленного предприятия в шумовую обстановку селитебной территории // // Здоровье населения и среда обитания - ЗНиСО. – 2022. – Т. 30, № 12. – С. 59-65. – DOI 10.35627/2219-5238/2022-30-12-59-65.
11. Буторина М.В. Разработка научных и методических основ картирования шума транспорта на территории городской застройки: дис. ... д-ра техн. наук: 01.04.06 / Буторина Марина Вадимовна. - СПб, 2020. - 429 с.
12. Иванов Н.И. Инженерная акустика. Теория и практика борьбы с шумом: учебник для вузов - Изд. 4-е, перераб. и доп. - М. : Логос, 2015. - 431 с. - ISBN 978-5-98704-659-3.
13. Maekawa Z., Rin-del H., Lord P. Environmental and Architectural Acoustics // Spon Press. - Second edition. – 2011. – 371 p.

References

1. Tupov V.B. Noise reduction from large and small power facilities // Protection from increased noise and vibration : Collection of reports of the V All-Russian Scientific and Practical Conference with international participation, St. Petersburg, March 18-20, 2015 edited by N.I. Ivanov. – St. Petersburg: Limited Liability Company "Aising", 2015. – P. 55-64.
2. Butorina M.V. Mapping of transport noise in urban areas - St. Petersburg : BSTU, 2020. - 224 p. - ISBN 978-5-907324-15-2.
3. Bobylev V.N., Grebnev P.A., Monich D.V., Shchegolev D.L. Noise reduction in residential buildings during operation of an industrial installation // Bulletin of the Volga Territorial Branch of the Russian Academy of Architecture and Building Sciences : Collection of scientific papers. Nizhny Novgorod State University of Architecture and Civil Engineering. Volume Issue 23. Nizhny Novgorod : Nizhny Novgorod State University of Architecture and Civil Engineering, 2020. – P. 145-148.
4. GOST 31295.2-2005 (ISO 9613-2:1996) Noise. Attenuation of sound during propagation outdoors. Part 2. General method of calculation - М.: Standartinform, 2006. – 23 p.
5. Tupov V.B. Noise reduction from equipment on the territory of energy facilities and in the surrounding area // Protection from increased noise and vibration : proceedings of the IX All-Russian Scientific and Practical Conference with International Participation, St. Petersburg, April 26-28, 2023. – St. Petersburg: Institute of Acoustic Structures, 2023. – P. 211-219.
6. Shabarova A.V., Butorina M.V., Kuklin D.A. Comparison of methods for calculating the propagation of railway transport noise in various types of building // Noise Theory and Practice. – 2022. - D. N.. 8, № 3(30). - P. 16-33.
7. Shabarova A.V., Butorina M.V., Kuklin D.A. Influence of the degree of detail of the office premises model on the results of computer modeling of noise propagation // Noise Theory and Practice. – 2021. - D. N.. 7, № 1(23). - P. 27-37.
8. Code of rules SP 51.13330.2011 'Noise protection' Updated version of SNiP 23-03-2003 // Techexpert : [Electronic resource]. - URL: <https://docs.cntd.ru/document/1200084097> (date of reference 29.07.2025).

-
9. GOST 31297-2005 (ISO 8297:1994) Noise. Engineering method of determination of sound power levels of multisource industrial plants for evaluation of sound pressure levels in the environment - М.: Standartinform, 2006. – 18 p.
 10. Ponomarev A.L., Ulanova T.S., Molok O.A., Odegov A.A. A method for measuring noise and assessing the contribution of a large industrial enterprise to the noise environment of a residential area // Population health and habitat - ZNiSO. – 2022. – Vol. 30, No. 12. – P. 59-65. – DOI 10.35627/2219-5238/2022-30-12-59-65.
 11. Butorina M.V. Development of scientific and methodological foundations for mapping transport noise in urban areas: the dissertation of the Doctor of Technical Sciences: 01.04.06 / Butorina Marina Vadimovna. - St. Petersburg, 2020. - 429 p.
 12. Ivanov N.I. Engineering acoustics. Theory and practice of noise abatement: textbook for Universities - 4th Ed., revised. and add. - М. : Logos, 2015. - 431 p. - ISBN 978-5-98704-659-3.
 13. Maekawa Z., Rin-del H., Lord P. Environmental and Architectural Acoustics // Spon Press. - Second edition. – 2011. – 371 p.